

## ÖZET

Sanayi Devrimi sonrası teknolojik gelişime bağlı olarak, artan ekonomik etkinlikler sonucuna doğal kaynaklar, kendilerini yenileyebilme gücünün ötesinde tüketilmiş ve böylece cevher ve enerji kaynaklarında azalma ve kalıcı çevresel hasarlar oluşmuştur. Bu süreç sürdürülebilir kalkınma bağlamında ikincil metal üretiminin gelişmesinde itici güç olmaktadır. Özellikle alüminyum ve alaşımları, ikincil üretimin getirdiği teknik ve ekonomik avantajlar nedeni ile, ikincil metal sektöründe çok önemli bir konuma sahiptir. Bugün ikincil alüminyum üretiminin toplam alüminyum üretimi içindeki payı % 30'ları bulmuştur.

İkincil metal üretimi, birincil alüminyum üretim prosesine göre daha dinamik ve içinde çok fazla değişken barındıran bir süreçtir. Bu sürecin doğru yönetimi için, yani hem üretim, hem yeni ürün tasarımı aşamalarında, doğru "malzeme ve proses seçimi" için, geleneksel mühendislik anlayışı yanında, ilave tekno-ekonomik donanımlar, farklı çevre anlayışı ve diğer mühendislik dalları ile daha yakın ilişki kurma zorunluluklarını gerektirmektedir.

Anahtar kelimeler: sürdürülebilir kalkınma, metal yeniden üretim (geridönüşüm), metalurji mühendisliği.

## ABSTRACT

After Industrial Revolution natural resources has been consumed more than self-generation capacity depends on increasing economical activity. Thus natural resources reserves already decreased and environment damaged permanently. This is driving force for secondary metal production related to sustainable development concept. Especially aluminium recycling has a special position in general metal recycling due to technical and economical advantages. Today secondary aluminum production is almost 30% of total aluminium production.

Secondary aluminium production is more dynamic and complex processes compare with primary aluminium smelting. Engineers require further techno-economical

knowledge, different environment approach and communication with other engineering disciplines in addition to classical engineering concept to manage secondary metal production efficiently.

Key words: sustainable development, recycling, metallurgical engineering.

## BİLİM VE TEKNOLOJİ

Bilim, doğayı ve evreni bütünüyle algılama çabasıdır. Teknolojinin temel amacı ise doğayı kavramak değil, doğayı değiştirmek ve ardından "yeni olanı üretmektir". Yeni olan önce, düşünce düzleminde kavramsal olarak üretilir. Daha sonra kavramdan tasarıma geçilir. Tasarımdan sonraki aşama, eğer söz konusu olan bir "üretim yöntemi" ise, bu yeni yöntemin bir pilot tesiste denenmesidir; tasarımı yapılan yeni bir "ürün" ise, bunun prototipinin yapılarak denenmesidir. Denemelerin başarıya ulaşmasıyla birlikte, o konuya özgü "teknolojik üretim süreci" de genel olarak sona erer (4).

Bilimsel çalışma salt "insan odaklı" değildir. Yani içinde insan olsun ya da olmasın, doğada ve evrende olan biten olayları açıklamaya çalışır. Teknoloji ise "insan odaklı" bir kavramdır ve teknolojinin her aşamasında insan vardır. Teknoloji tarihi insanlık tarihi ile birlikte başlar.

İki milyon yıl önce silah, araç ve gereçlerin yapılmaya başlandığı taş devri ile başlayan teknoloji evrimi, bronz ve demir çağlarının ardından, Sanayi Devrimi ile yeni bir anlam kazanmıştır. Sanayi Devrimi aynı zamanda, daha sonra açıklamaya çalışacağımız "mühendislik" disiplininin de -bugün anladığımız tanımlarıyla- ortaya çıktığı dönemdir (7,16).

Ahmet İnam, teknolojik gelişimi şöyle tarif ediyor:

"Dünya dediğimiz bu gezegende insan "bilgi" ve "hüneri" ile var olmakta. Eski Yunanlılar insan hünerine "tekhne" diyorlardı. Topraktan ürün alma, hayvan yetiştirme, yol, köprü, bina yapımı, ev eşyası imali, silah üretimi, tıp ve bugünkü anlamıyla mühendislik tümüyle "tekhne" kavramı altında toplanıyordu. Çağımızda kullanılan "teknik" ve "teknoloji" sözcükleri bu kavramdan türetilmişti. Batı kültürünün bilim ve felsefede beşiği sayılan Eski Yunan toplumunda o zamanın bilim adamları filozoflar, bilgileriyle hakikati arıyorlar; evrende olup biteni anlama, açıklama çabası içinde, çıkarsız bir saf bilgiyi elde edebilme amacıyla, bilgeliğin sevgisi (philo-sophia, felsefe) taşıyarak, ona ulaşma yolunda kendilerini bilim hayatına adıyorlardı. Teknoloji kendi iç işleyişi içinde, ustadan çırağına aktararak sürdürülüyor, insan kullanımına bir araç olarak sunuluyordu. Thales gibi kimi filozofların,

bugünkü anlamıyla mühendislik becerileri varsa da, bilgi ve hüner, dünyayı olduğu gibi çıkarsız anlama, kavrama, olayları önceden kestirme ve teknolojik bilgilerle beceriler olarak ayrı ayrı gelişimlerini sürdürüyordu" (9).

Son yüzyıla kadar, hakikatı arayan ve saf bilgiye ulaşmaya çalışan, çıkarsız anlama ve kavrama çabası ile gelişen bilimsel anlayış ile bilime dayalı olarak gelişen, bilimden etkilenen ve birbirini destekleyen bilim-teknoloji ilişkisi ya da bütünlüğü, teknoloji lehine bozulmuştur. Bunun anlamı, teknolojik çalışmalarda önceliğin, bilimin temsil ettiği evrensel ve kamusal yarardan önce sanayicinin çıkarlarına evrilmesidir. Sanayici konumu gereği "kar etmek" üzerine odaklanmıştır ve uyguladığı teknolojiyi, kar etmesine olanak verdiği ölçüde geliştirme çabasıdır. Bu süreç üç temel sorunu yaratmıştır:

- Endüstriyel üretim süreçlerinde oluşacak olan "çevresel zararın" ihmali: Sanayici için çevre kirliliği, hammadde olarak kullanılmasının ekonomik bir getirisi olmayan, üretim dışı malzeme ya da enerji akımıdır (34). Oysa toplum için "çevresel bozunum anlamına gelen kirlilik", yaşam olanaklarını sınırlayan, doğa ile ilişkisini bozan, gelecek kuşakların yaşamını tehdit eden, doğrudan etkilendiği ve zarara uğradığı bir olgudur,
- Hammadde ve enerji kaynaklarının plansız ve hesapsız kullanımı: azalan doğal kaynaklar nedeni ile cevher ve enerji maliyetlerindeki büyük dalgalanmalar yaşanmakta ve küresel ekonomik krizler daha sık görülmektedir.
- Bütün bunların sonucunda ise toplumsal refah azalmakta, ortalama insanların yaşam kalitesi bozulmakta ve ekonomik gelir dengesizliği sürekli büyümektedir.

Bu gelinen durum, ana amacı toplumun refah ve mutluluğu için üretmek olan mühendisler için yaşamsal bir sorundur ve mühendislere yeni sorumluluklar yüklemektedir.

## TEKNOLOJİ-MÜHENDİS İLİŞKİSİ

Mühendisin İngilizce karşılığı olan "engineer" sözcüğünün kökeni, icat eden kişi anlamına gelen Latince "ingeniatorem" dan gelmektedir. "Teknoloji" ile "mühendislik" –hatta bazı sözlüklerde eş anlamlandırılacak kadar- iç içe geçmiş kavramlardır.

Arapça'nın en eski sözlüğü olarak bilinen Kitab-ul Ayn'da "mühendis" sözcüğü için "su kanallarının yolunu belirleyen" diye söz eder. Yine Arapça sözlüklerden bu kelimenin Farsça'da bir uzunluk ölçüsü birimi ve aynı

zamanda ölçü/oran anlamına gelen "endaze" ya da "su kemerlerini/kanallarını ölçen veya planlayan kişi anlamına gelen "abendaz" dan geldiğini, ilk önce "hendaz", daha sonra "hindaz" şeklinde Arapçalaştığını ve buradan "hendese" ve "mühendiz" kelimelerinin türeyip nihayet "mühendis"e dönüştüğünü öğreniyoruz (18).

Mühendis, doğu kültüründe ölçüp, biçen ve çizen kişidir. Batıda ise akıl edip, zekasını kullanan kişi, dahi, mucittir. Bu iki bakış açısı arasındaki fark, insan beyninin olaylara bakış açısını, algılamasını ve mühendisin kimliğini değiştirir (19).

Albert Einstein "Bilim insanları var olanı inceler, mühendisler var olmayanı yaratır" ifadesi, mühendisliği adeta tanrısal bir mertebeye yüceltir. Ancak Sanayi Devrimi'ne kadar düşük bir sosyal statüye sahip olan mühendislik mesleği, Sanayi Devrimi sonrasında bilimsel buluşların teknolojiye uygulanması ile yeni bir kimlik kazanmıştır. Çağdaş anlamda mühendislik, Sanayi Devrimi'nin bir ürünüdür.

Mühendisliği, "eğitim, deneyim ve uygulama ile, matematik, doğa ve mühendislik bilgileri sonucu elde edilen formasyonun insanlık yararına bir gereksinime yanıt vermek üzere, ekonomiklik öğelerini de dikkate alarak, teknik ağırlıklı makine ve ekipmanların, ürünlerin, proseslerin, sistemlerin ya da hizmetlerin tasarımı, üretimi, imalatı, işletilmesi, bakımı, dağıtımı, teknik satışı ya da danışmanlık ve denetiminin yapılması ve bu amaçla araştırma-geliştirme etkinliklerinde kullanılması işlevi" olarak tanımlayabiliriz (11).

### **Mühendislik Formasyonu**

Ülkelerin gelişmesinde teknoloji ne kadar önemliyse, teknolojinin gelişmesinde de mühendis o kadar önemlidir. Mühendis bilimle toplum arasında bir köprüdür (21).

Mühendis, mesleğini yaparken, ona sunulan bilgileri eleştirebilir ya da bu bilgiler arasından seçim yapabilir. Teknolojik gelişimin sunduğu seçenekler ya da çözümler arasında tercih yapmak zorunda kalabilir. Bu nedenlerle, mühendisin bilimsel ve toplumsal açıdan en uygun değerlendirmeyi yaparak, insanlık, toplum ve çevre yararını da dikkate alarak en uygun çözümü seçebilmesi için bağımsız düşünme ve sorgulama yeteneği temelinde şekillenmiş bir bilimsel ve toplumsal "formasyona" sahip olması gereklidir (11).

Mühendis, beceri ve kuramsal bilgi alanlarının örtüştüğü yerde durur. Beceri bilgisi, kuramda olmayı uygulamada çözmesini sağlar. Kuramsal bilgisini beceri bilgisiyle sağlamlaştırabilir. Ancak mühendislik bilgisi, beceri ve kuramsal bilginin toplamı değil sentezidir. Yani onların

toplamından fazla, kendine özgü bir bilgidir. Sonuç olarak mühendis, sorunları çözüm olanaklarıyla görebilen, hangi bilgiyi nerede nasıl kullanacağını bilen; amacına varmak için en uygun olanakları, en akılcı, en ekonomik ve etik olacak şekilde en verimli biçimde kullanabilen insandır (21).

Teknolojinin sürekli gelişmesine koşut olarak, mühendislik bilgilerinin sürekli yenilenmesi zorunluluğu nedeni ile, mühendisler meslek yaşamları boyunca öğrenmeye devam ederler. Bu noktada bilginin niteliği önem kazanmaktadır. Günümüzde, bilgideki artış hızı ve enformasyon ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerin bilgiye ulaşımı kolaylaştırdığı yanılığısı yaşanmaktadır. Oysa kolayca ulaşılan "bilgi" değil, "enformasyon" ya da "haber"dir. Enformasyonu, işlenmemiş ya da kodlanmamış bilgi olarak tanımlanabilir. Enformasyonun bilgiye dönüşebilmesi için, yorumlanması ve işlenmesi gerekmektedir. Öte yandan mühendisin amacı enformasyon ve bilgiden çok, bir sisteme göre düzenlenmiş olarak hazır bulunmayan ve herkese açık olmayan örtük bilgiye ya da ustalık bilgisine (know-how) ulaşmak olmalıdır. Bu örtük bilgiye ulaşmak ya da örtük bilgiyi üretmek için işlenmemiş bilgiler ile mesleki deneyimi birleştirerek yorumlamak ve sentezlemek gerekir. Bunun anahtarı mühendislik formasyonuna sahip olmaktır. Bu formasyon, mühendisçe düşünerek üretmek için mühendisliğin temel ilkelerini benimsemiş olmanın yanı sıra toplumsal ve çevre bilinci taşımayı da kapsmalıdır. Diğer bir deyişle, mühendis üretim ve yenilikleri yaratma sürecindeki temel konumunda nihai amacının insanların mutluluğu ve refahı için üretmek olduğunu bilmek zorundadır.

### Metalurji Mühendisliği

Klasik anlamda metalurjinin kökeni olan "madencilik" uğraşı, insanlık tarihi kadar eskidir. Almanca'da madenciye "Bergman (dağ adamı)" denir; çünkü bir zamanlar yeraltı zenginliklerinin yalnızca dağlarda bulunduğu inanılıyordu. "Metal" sözcüğü, anlamı "aramak" olan eski Yunanca "metallao" sözcüğünden türeyerek Latince'ye "metallum" şeklinde geçmiştir ve hem metallerin az bulunur olduklarını hem de ilk çağlarda kullanılan metallerin doğada katıksız ve saf olarak bulunabildiklerini ifade eder. Tarihin uzun dönemleri boyunca maden cevherlerinin Toprak Ana'nın kutsallığını paylaştığına ve madenlerin tıpkı embriyolar gibi Toprak Ana'nın rahminde büyüyen ve gelişen ve metal işçiliğinin "doğum" ile ilgili olduğu düşüncesine inanılmıştır (22).

Prof. Dr. Fuat Yavuz Bor ise, metalurjiyi şöyle tanımlıyor:

"Bugünkü teknik lisanda "metalurji" konusu itibarı ile endüstri ve teknikte " malzeme olarak kullanılan metalik maddeleri" kapsar. Kısacası metalurjiyi, ana konusu metaller olan bir bilim ve teknik dalı olarak tarif etmek mümkündür. Metalurji, metallerin bileşiklerinden kazanılması, rafinasyonu, elde edilen metal veya alaşımın çeşitli özelliklerinin tespit ve incelenmesi ile bunların metal endüstrisinin istifadesine arz edilmesi hususlarını kapsayan bir bilim ve teknoloji dalıdır (49).

Ancak gelişen teknolojilere paralel olarak, işlevi, etkinliği ve güvenilirliği geliştirilmiş fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri daha üstün, daha düşük yoğunluğa sahip, daha ucuz ve yeni tasarımlara daha uygun, üstün performans gösteren, katma değeri yüksek malzeme ihtiyacı sürekli artmaktadır (23). Bu talep, metalurji mühendisliği disiplini yanında, metalurji ve maden bilimlerinden türeyen yeni bir alanın açılmasına neden olmuştur: "malzeme mühendisliği". 1960 yılından sonra Batı üniversitelerinde, metalurji mühendisliği bölümlerinin adı "metalurji ve malzeme mühendisliği" ya da "malzeme mühendisliği" olarak anılmaya başlanmıştır (35).

Prof. Dr. Yılmaz Taptık, Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinin etkileşimde olduğu mühendislik alanlarını aşağıdaki gibi listelemiştir: işletme, elektroteknik, kalite güvence 5 sistemleri, birleştirme/kaynak teknolojileri, demir-çelik endüstrisi, kimya endüstrileri, demirdışı metal endüstrileri, tahribatsız muayene, biomalzemeler, inşaat endüstrisi, imalat yöntemleri, ilaç endüstrisi, havacılık ve uzay endüstrileri, bilgisayar ve mikroçip endüstrileri, yarı-iletken teknolojileri, yeniden üretim (geridönüşüm), seramik ve refrakter endüstrileri, yüzey işlem teknolojileri, denizcilik endüstrisi, cam endüstrisi, metal üretimi, araştırma kurumları, mühendislik, formasyon ve eğitim kurumları, hasar analizi, patent kurumları, alüminyum endüstrisi, danışmanlık, gözetim ve kontrol servisleri (27).

Gelişen teknoloji ile birlikte mühendislik disiplinleri arasındaki sınırlar belirsizleşmiş ve metalurji mühendisliği, geleneksel tanımının ötesinde, kuramsal ve uygulama boyutlarında yeni işlevler kazanmıştır.

### SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA

Bilim ve teknoloji arasındaki, sanayi çıkarlarına ağırlık veren ve teknoloji lehine bozulan denge ile, Sanayi Devrimi sonrası teknolojik gelişmeye koşut olarak, ekonomik kalkınma ve büyüme stratejileri nedeni ile doğal kaynakların azalması, çevrenin kalıcı olarak

kirletilmesi ve toplumsal gelişmişlik düzeyleri arasındaki farkın çok büyük oranda açılması gerçekleri ile yüzleşmiş durumdayız.

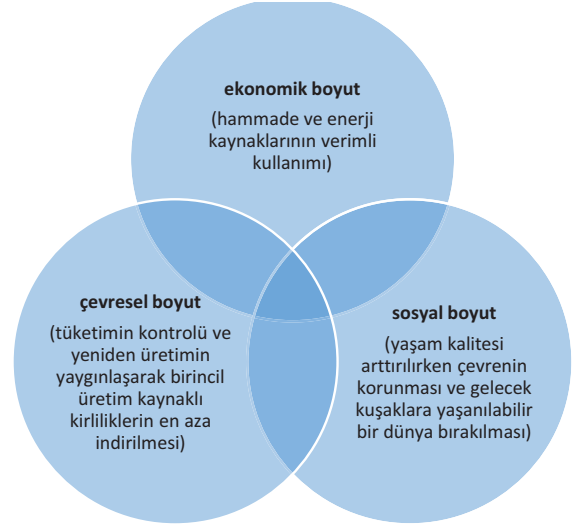
Bugün geldiğimiz nokta da;

- Ortalama olarak dünya nüfusu yılda % 1,4 oranında artmaktadır. Dünya nüfusunun 2040 yılında 9 milyarın üzerinde olması beklenmektedir,
- 1 milyardan fazla insan temiz su bulamamaktadır,
- Gelişmekte olan ülkelerde yaşayan nüfusun yaklaşık % 70'inin evlerinde, okullarında ya da hastanelerinde elektrik yoktur,
- Dünya nüfusunun yarısı günlük 2\$'in altında kazanarak, yaşamaya çalışmaktadır. Daha da acısı her 6 kişiden biri, yani yaklaşık 1,1 milyar insan günlük 1\$'in altında kazanç ile yaşamak zorundadır,
- Yaklaşık 885 milyon insan okuma-yazma bilmemektedir. Bunun üçte ikisi kadındır.

Buna ek olarak, dünya enerji tüketimi her yıl ortalama %1,7 oranında artmaktadır (nüfus artışından daha fazla). Bugün dünya enerji tüketimi yaklaşık 15 TeraWatt (1TW=1012Watt) civarındadır. Bu enerjinin yaklaşık % 80'i fosil yakıtlardan (% 34'ü petrol, % 25'i kömür, % 21'i doğal gaz), % 8'i bioenerji, % 6,5'u nükleer, % 2'si su kaynakları ve kalanı diğer kaynaklardan (jeotermal, güneş, rüzgar vs.) sağlanmaktadır. Bu tüketimin 2050 yılında 30 TW civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Sürdürülebilir kalkınma kavramının temelinde, çevre, ekonomik gelişme ve toplumsal yarar arasındaki çelişkileri ortadan kaldırarak, bir dengenin kurulması gereksinimi yatmaktadır ve bu proje, bugünkü kuşakların gereksinimlerini, gelecek kuşakların kendi gereksinimlerini karşılayabilmelerini tehlikeye sokmadan karşılayabilmeyi hedefleyen bir kalkınma modelidir.

Sürdürülebilir Kalkınma'nın üretim bileşeni "endüstriyel ekoloji" olarak tanımlanır. Endüstriyel ekoloji, hammaddeden işlenmiş maddeye, yarı üründen son ürüne, yan ürünlere, atık ve bunların çevreye zarar vermeden yok edilmesine kadar, toplam madde döngüsünün optimizasyonunu içeren bir sistemdir (34).



Şekil 1: Sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutu

Endüstriyel ekoloji ile tasarım ve üretim aşamaları farklı bir anlayış ile değerlendirilmelidir:

- Çevreye uyumlu ürün ve proses tasarımı ile alternatif üretim teknolojileri, daha az enerji yoğunluğuna sahip, yenilenebilir ve yeniden üretilebilir (geridönüştürülebilir) alternatif malzeme seçimi, hammadde tasarrufu ve enerji korunumunu sağlayan üretim döngüleri tercih edilmelidir,
- Tasarımlarda hem ürün kalitesi hem de çevre kalitesi dikkate alınmalıdır,
- Tüm atıkların ve yan ürünlerin endüstriyel etkinliğin başka bir bölümünde hammadde olarak kullanımı ile endüstrinin hiçbir aşamasında atık çıkmaması öngörülmalıdır,
- Ürün ve proseslerin yeniden üretime, daha az miktarda malzeme kullanımına (demateryalizasyon) ve yeniden kullanıma yönelik olarak tasarlanmalıdır,
- Daha az tehlikeli kimyasalların kullanımını teşvik edecek yeni sistemler araştırılmalıdır,
- Beşikten mezara (Yaşam Döngüsü Analizi, YDA) yaklaşımının tasarımda ve üretimde esas alınmalıdır.

Burada çok ilginç bir noktanın altına çizmekte yarar var. Sürdürülebilirlik, Sanayi Devrimi'nden bu yana, sanayi güdümünde gelişen teknoloji ile evrensel ve kamu ağırlığını temsil eden bilimsel çalışmalarla gelişen teknoloji olgularının "karşılıklı çıkarlarının - tamamen olmasa bile büyük ölçüde- örtüştüğü bir ara noktadır.

Çevresel yatırımları ölü yatırımlar olarak gören geleneksel sanayi anlayışı, bu yaklaşımla çevre ile beraber aynı zamanda ekonomik çıkarlarının da korunduğunu görür.

### Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)

YDA, bir ürün ya da hizmetin üretiminde kullanılan hammadde ve enerjinin eldesinden başlayarak, ilgili bütün taşımacılık, üretim, yan ürünlerin değerlendirilmesi, kullanımı ve kullanım sonrası oluşan atıkların yok edilmesini de kapsayan yaşam döngüsünün farklı aşamalarındaki çevresel etkilerini belirlemek, raporlamak ve yönetmek için kullanılan bir mühendislik yöntemidir (31). YDA yaklaşımı, insan eliyle yapılabilecek değişimlerin yaratacağı çevresel değişim değerlendirilmesine yarar.

Son yıllarda yükselen çevre duyarlılığına paralel olarak teknoloji ve yaşam düzeylerindeki gelişmeler sonucunda her tür projenin maliyeti ve performansı gibi geleneksel parametrelerin yanı sıra doğal kaynakların kullanımı ve küresel çevre sorunlarına yol açma olasılığı gibi bileşenler de karar verme süreçlerinde gittikçe daha çok göz önünde bulundurulmaya başlanmıştır (31).

YDA bir ürün ya da hizmetin tüm yaşam döngülerini ve bunların birbiriyle bağlantılarını bütünsel olarak değerlendirir. Bunun sonucunda değerlendirilmekte olan ürün ya da hizmetin "beşikten mezara" tüm süreçlerinde ortaya çıkabilecek her tür çevresel etki kümülatif olarak ortaya konmuş olur.

YDA, halen kullanılmakta olan sistemlerin analizinde, ürün ve proses geliştirme ve iyileştirme çalışmalarında ve yeni yatırım süreçlerinde, diğer fizibilite bileşenleri ile birlikte dikkate alınmalıdır. Aynı zamanda strateji planlamalarında, toplumsal ve çevre korumaya yönelik yasaların ve yönergelerin hazırlanmasında ve pazarlama etkinliklerinde önemlidir.

Örneğin, karar verme aşamasında yeniden üretilebilir (geridönüştürülebilir) bir malzeme çevresel performansı ve maliyeti olumlu yönde etkilerken, proses sürecinde yoğun enerji kullanımı gerektiren malzemeler olumsuz yönde etkileyebilir.

## İKİNCİL METAL ÜRETİMİ

Ekonomik kalkınma ile metalik malzemelerin kullanımı arasında doğrusal bir ilişki vardır. İnşaatlardan, bilgisayar parçaları üretimine, uçaklardan spor malzemelerine kadar, hayatın her alanında metalik malzemelere ihtiyaç duyulur. Metalik malzemelere olan talep, ister gelişmiş ister az gelişmiş ekonomilerde artarak devam etmektedir. O zaman bu kadar geniş alanda ve fazla miktarda gereksinim duyulan metalik malzemeler için yeterli hammadde, enerji ve üretim süreçlerinde oluşan çevresel kirlilik ile nasıl başa çıkılacağı sorusu gündeme gelecektir.

Doğal cevher ve enerji kaynaklarının ve rezervlerinin azalması, madencilik, cevher hazırlama ve üretim süreçlerinin maliyetleri ve bu süreçlerde oluşan çevresel kirlilik, alternatif hammadde kaynakları arayışını zorunlu kılmaktadır. Ancak bu yeni hammadde kaynakları çok uzakta değil, hemen yanı başımızdadır. Sıradan insanların "çöp" olarak tanımladığı atıklar, öncelikle günümüz teknolojinin izin verdiği ölçüde ikincil hammadde, teknolojinin malzeme olarak değerlendiremediği atıklar ise enerji kaynağı olarak kullanılabilir. İkincil üretim, yeniden üretim (geridönüşüm), kaynak yönetimi ve atık yönetimi kavramları yeni bir mühendislik alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Artık "kentlerde" üretilen atıklar, endüstri için çok önemli "hammadde" kaynağıdır. Yeni madenlerimiz artık kentlerdedir (kent madenciliği).

UNEP'in 2011 yılında hazırladığı bir rapora göre, periyodik tabloda yer alan elementler için; toplam üretimde ikincil hammaddelerin payı aşağıdaki tabloda verilmiştir (37).

**Tablo1:** Bazı metaller için ikincil metal üretiminin toplam üretim içindeki payı:

> % 50	% 25-50	% 10-25	% 1-10	< % 1
Nb, Ru, Pb	Al, Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Ge, Rh, Pd, Mo, Ag, In, W, Pt, Hg	Be, Cr, Ti, Cu, Ga, Zn, Cd, Sn, Sb, Ta, Re, Ir	Se, La, Cu, Pr, Nd, Gd, Dy	Li, As, Y, Ba, Tl, Sm, Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

Burada ilginç bir örnek magnezyum metalidir. Avrupa Birliği magnezyum metalini kritik hammaddeler sınıfında değerlendirmektedir ve magnezyum ya da alaşımlarının yerine başka malzeme kullanımı güçtür. 2012 yılında AB ülkeleri yalnızca magnezyum ihtiyaçlarının % 14'ünü ikincil kaynaklardan karşılayabilmiştir (47).

İkincil hammadde kullanım oranları incelendiğinde, başta alüminyum, magnezyum ve nadir toprak elementleri olmak üzere çok ciddi bir potansiyel olduğu görülmektedir.

### Alüminyum

Alüminyum, düşük özgül ağırlığı ve buna karşın alaşımlandırılarak yüksek dayanım değerlerine ulaştırılabilmesi nedeni ile mühendisler kadar tasarımcıların da gözdesi olan bir metaldir. Bu özelliği ile öncelikle motorlu taşıt endüstrisinde, gündün 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 yaklaşık 20 ton daha az CO<sub>2</sub> salmasına neden olur.

Alüminyum, esnek, çok yönlü ve yeniden üretilebilme (geridönüşüm) yeteneğinden ötürü enerji tüketen değil enerji depolayan bir metaldir. Bu özellikleri işlevselliği, ekonomikliği ve kolay işlenebilirliği ile birleştirildiğinde, bugün ve gelecek için birçok ürün alüminyum metalinden ve alüminyum alaşımlarından üretilmesi mümkündür ve eğilim bu yöndedir.

Bugün çelikten sonra en çok tüketilen ikinci metal alüminyumdur. Sürdürülebilir Kalkınma anlayışı içinde, alüminyum metali, çözümün önemli bir parçasıdır. Alüminyum Üretim Yöntemleri Günümüzde metalik alüminyum ve alaşımları iki yöntem ile üretilebilmektedir:

### Alüminyum Üretim Yöntemleri

Günümüzde metalik alüminyum ve alaşımları iki yöntem ile üretilebilmektedir:

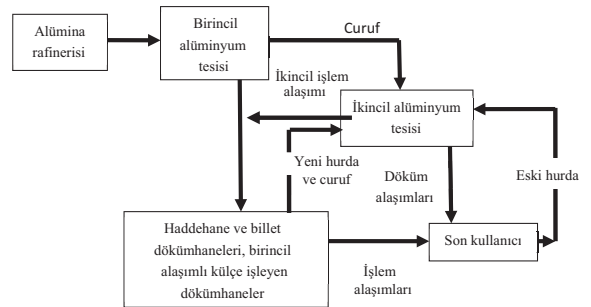


Şekil 2: 350 kA ön-pişirilmiş hücre.

**Birincil üretim:** Boksit cevherlerinin Bayer Prosesi ile işlenmesi sonucu metalurjik kalite alümina elde edilir ve alüminadan ergimiş tuz elektrolizi yöntemiyle birincil metalik alüminyum üretilir. Birincil alüminyum üretimi enerji yoğun bir üretimdir. Sadece elektroliz aşamasında, kullanılan teknolojiye bağlı olarak ton birincil alüminyum başına 12 500 ile 16 500 kWh arasında enerji tüketilir. Uluslararası Alüminyum Enstitüsü (IAI) 2013 rakamlarına göre 2013 yılında dünya ortalaması 14 555 kWh (AC) olarak gerçekleşmiştir.

**İkincil üretim:** Cevherden elde edilen birincil alüminyum, kullanım ömrünü doldurduktan sonra hurdaya çıkar. Bu hurdalar ile birlikte alüminyumun işlenmesi sırasında oluşan proses hurdaları ve alüminyum curufu toplanır, temizlenir, diğer metal ve metal-dışı safsızlıklardan ayrıştırılarak yeniden ergitilir ve ikincil metal üretilir.

Yeniden üretim (geridönüşüm) işleminin uygulandığı endüstri "ikincil alüminyum endüstrisi" olarak tanımlanır.



Şekil 3: Birincil ve ikincil alüminyum üretimi.



Şekil 4: Hurdadan külçeye ikincil alüminyum.

### Alüminyum Üretim Süreçleri ve Çevre

Teknik olarak birincil alüminyum üretim teknolojisi enerji tüketiminin ve gaz salınımlarının azaltılmasına odaklanmıştır. Böylece hem proses sırasında salınımları azaltırken hem de daha düşük enerji ihtiyacı nedeni ile dolaylı olarak, enerji üretimi sırasındaki salınımların da düşürülmesi hedeflenmektedir.

Proses sırasında oluşan salınımlar, elektroliz teknolojisine büyük ölçüde bağlıdır ve doğal olarak modern ön-pişirilmiş hücrelerde hem gaz toplama verimi hem de anot etkisi frekansı ve süresinin düşük olmasından dolayı daha azdır.

Tablo 2: Alüminyum elektroliz hücrelerinde tipik sera gazı salınım değerleri (30).

Hücre tipi	CO <sub>2</sub> (kg/kg Al)	CF <sub>4</sub> ve C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> (kg CO <sub>2</sub> eşdeğeri/kg Al)	Anot etkisi sıklığı (sayı/gün)
Nokta beslemeli Soderberg	1.7	1.3 – 3.0	0.5 – 1.0
Nokta beslemeli Pre-baked	1.6	0.07	0.02 – 0.10

Tablo 3: Alüminyum elektroliz hücrelerinde, tüketilen enerjinin kaynağına göre CO<sub>2</sub> salınımları (ton CO<sub>2</sub>/ton Al) (30):

CO <sub>2</sub> Salınımı	Hydro kökenli Enerji	Doğal gaz kökenli Enerji	Kömür kökenli Enerji
Elektroliz sırasında CO <sub>2</sub> salınımı (anot etkisi dahil)	1.8	1.8	1.8
Enerji üretimi sırasında CO <sub>2</sub> salınımı	0	6.2	15.4
Toplam CO <sub>2</sub> salınımı (t/t Al)	1.8	8.0	17.2

Kabuller:

- Kg alüminyum başına enerji tüketimim 13.5 kWh ve anot tüketimi 420 kg,
- Doğal gaz bazlı elektrik tesislerinde salınım 0.4 kg CO<sub>2</sub>/kWh,
- Kömür bazlı elektrik tesislerinde salınım 1.0 kg CO<sub>2</sub>/kWh

İkincil alüminyum üretiminde ise salınan kirli gaz miktarı, birinci alüminyum üretimine göre % 95 daha düşüktür.

Tablo 4: İkincil alüminyum üretim sürecinde CO<sub>2</sub> üretimi (30):

	CO <sub>2</sub> üretimi (ortalama) ton CO <sub>2</sub> /ton Al
Ergitme	0.54
Döküm	0.06
Toplam	0.6

### Alüminyum Üretim Süreçlerinde Enerji Tüketimi

Birinci alüminyum üretimi enerji yoğun bir prosedir. Dünya da toplam üretilen elektrik enerjisinin % 2'si birinci alüminyum endüstrisi tarafından tüketilir.

**Tablo 5:** Farklı kaynaklara göre enerji tüketimi (alümina dahil) (30):

Kaynak	Enerji tüketimi (MJ/kg Al)	Notlar (elektrik enerjisine dönüşüm verimi %)
Norgate	211	Kömür % 35
Norgate	150	Doğal gaz % 54
Norgate	120	Su % 89
Cambridge	260	Kömür % 35
Avustralya Alüminyum Birliği	182-212	Kömür % 35
Grant	207	Kömür % 35
Choate ve Green	133	Amerika için ortalama değer

Tüketilen bu enerjinin yaklaşık olarak yarısı hidro-elektrik, % 35'i kömür, % 9'u doğal gaz, % 5'i nükleer ve % 0.5'i fuel oil kaynaklıdır.

İkincil alüminyum üretimi için gerekli olan enerji, birincil üretiminin yalnızca % 5'i kadardır.

**Tablo 6:** İkincil üretim sürecinde enerji ihtiyacı (30):

İşlem	Enerji tüketimi (MJ/kg Al)	Ölçüt enerji tüketimi (MJ/kg)
Ergitme	4.5	2.1
Döküm	0.5	0.3
Toplam	5.0	2.4

### Alüminyum Üretimi İçin Hammaddeler

Birinci alüminyum üretimi için hammadde boksit iken, ikincil alüminyum, proses hurdası (yeni hurda), kullanım ömrünü doldurmuş hurda (eski hurda) ve curuftan üretilir.

En önemli maliyet bileşeni taşımacılık maliyetleridir. Bu nedenle alümina tesisleri genellikle boksit madenlerinin yakınlarına kurulur. Birinci alüminyuma olan talep arttıkça, boksit talebi de artmaktadır.

UNEP'in 2011 yılında hazırladığı bir rapora göre, eğer birinci alüminyum üretimi yıllık % 2 artarsa, dünya boksit rezervlerinin ömrü 81 yıl, % 5 artar ise 48 yıldır (48).

Avrupa Alüminyum Birliği'nin tahminlerine göre, alüminyum metalinin endüstriyel olarak kullanımına başlandığı 1880 yılından günümüze kadar, yaklaşık 900 milyon ton alüminyum üretilmiştir. Bunun yaklaşık % 35'i, inşaatlarda, % 30'u elektrik iletimi ve makine imalatında ve % 30'u ise ulaşım araçlarında kullanılmıştır. Bu miktarın yaklaşık % 75'i yani 675 milyon ton alüminyum hala dolaşımdadır. Bu metal, ikincil hammadde kaynağı olarak düşünüldüğünde, dünyanın 17 yıllık birinci alüminyum gereksinimine eşdeğer miktardadır.

## ALÜMİNYUM VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

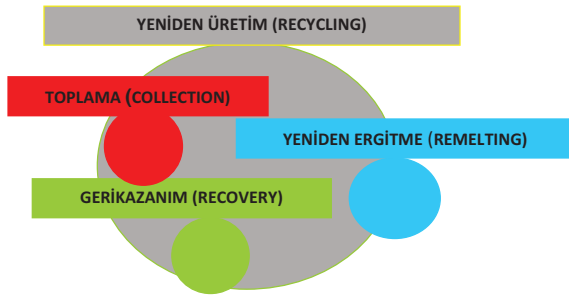
Alüminyum endüstrisi açısından, sürdürülebilir kalkınma kavramı içinde 5 temel nokta üzerinde çalışmalar odaklanmıştır:

- 1- Birinci alüminyum üretimi sürecinde oluşan sera gazı salınımlarının azaltılması,
- 2- Enerji yoğun bir üretim olan birinci alüminyum üretiminde enerji verimliliğinin artırılması,
- 3 Enerji tüketimi ve salınım açısından birinci üretime göre çok ciddi avantajlar sağlayan "yeniden üretimin (geridönüşüm) toplam alüminyum üretimi içindeki payının artırılması,



- 4- Taşıtlarda ve binalarda çok önemli yakıt tasarrufu sağlayan ve sera gazı salınımını azaltan alüminyum kullanımının artırılması,
- 5- Güneş panelleri ve rüzgar enerjisi santrallerinde alüminyum kullanımı kullanımı.

Yeniden üretim (recycling), malzemenin yeni-eski-yeni dönüşüm çevrimidir ve bir prosestir. Yani yeni üretilir, ömrünü doldurur eski olur, diğer malzemelerle birlikte toplanır, gruplandırılır, ayrılır ve ergiticilere geri döner. Ergitme sonrası ikincil yeni olarak tekrar çevrime katılır. Diğer bir deyişle malzeme çevrimini son aşamasını, hurdadan geri kazanıldığında tamamlar. Sonuçta yeniden üretim (recycling), toplama, ayırma ve 12 zenginleştirme, geri-kazanım (recovery) ve yeniden ergitme (remelting) işlemlerini kapsayan bir süreçtir.



Şekil 5: Yeniden üretim (geridönüşüm) kapsamı

Birincil alüminyum üretiminde enerji bulunabilirliği ve temini ne kadar öncelikli ise, ikincil alüminyum üretiminde de hurda bulunabilirliği ve temini en önemli sorundur. Alüminyum metalinin ve alaşımlarının çok geniş olan kullanım alanları, beraberinde, diğer metal ya da metal dışı malzemelerle kombine halde hurda çeşitliliğini de getirmektedir. Ancak gelişen teknoloji ile her geçen gün daha düşük alüminyum içeren yani yüksek oranda fiziksel (ve kimyasal) kirliliğe sahip hurdaların işlenebilmesi mümkün olmaktadır.

### İkincil Alüminyum Üretimine Sağladığı Yararlar

Ekonomik yararlar,

- Yeniden değerlendirme ile rasyonel hammadde kullanımı ve buna bağlı olarak doğal kaynakların korunması söz konusudur,
- Alüminyum hurda değerli bir ticari malzemedir ve kazanç sağlanabilecek bir işkoludur,
- İkincil üretim ile ikincil hammaddelerden de alaşım elementleri ürüne dahil olacağı için, daha az alaşım elementi kullanılır ve aynı zamanda alaşım elementlerinin de yeniden üretimi gerçekleşir,

- İkincil alüminyum üretimi sırasında çok daha az enerji tüketilir. Günümüzde yaklaşık 12 milyon ton ikincil alüminyum üretimi ile 120 000 GWh'ten fazla elektrik enerjisi tasarruf edilebilmektedir. Bu değer Hollanda'nın yıllık elektrik enerjisi tüketimi kadardır,
- 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,
- Boksit madenciliği, alümina ve alüminyum üretim süreçlerinde oluşan zararlı atıklar ve yüksek su kullanımı, ikincil süreçte oluşmaz.

Çevresel yararlar,

- Birincil alüminyum üretimi, insan kaynaklı toplam sera gazı üretiminin % 1'ini tek 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,
- Günümüzde, yaklaşık 12 milyon ton ikincil alüminyum üretimi ile yılda 100 milyon tondan fazla CO<sub>2</sub> salınımı azaltılabilmektedir. Bu rakam 20 milyon adet binek arabasının ürettiği sera gazı miktarına eşittir,
- Atık malzeme depolama için yapılan doğa tahribatı ve bunun yarattığı çevresel sorunlar azalır. Örneğin alüminyum içecek kutuları ya da aerosol kutularının doğada kaybolması için 500 yıl gerekir,
- Boksit madenciliği ve alümina üretim süreçlerinde oluşan zararlı atıklar ve yüksek su kullanımı, ikincil süreçte oluşmaz.

Sosyal yararlar,

- İkincil alüminyum üretimi bir endüstridir ve hurda toplayıcılarından ergiticilere ve bunları destekleyen diğer yan sektörlerle 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.

## SONUÇ

Sürdürülebilir ve güvenli bir dünya için uzun vadeli planlama gereğinin çok kritik olduğu bir dönemi yaşıyoruz. Teknolojinin geliştirilmesine ve kalkınmaya olan gereksinimin devam edeceği açıktır. Ancak bazıları ekonomik büyümeyi sürdürülebilir bir toplum için vazgeçilmez görürken, bazıları da, ekonomik büyümenin kendisini sorun olarak görmektedir. Her ne kadar politik kararların birincil önceliğinin, çevre sorunlarını çözecek bir zenginlik yaratacak sağlıklı bir ekonomik büyümenin olduğu görülse de, var olan çevresel yıkımın onarım maliyetinin çok daha büyük olacağı açıktır (26). Dolayısıyla önümüzdeki dönem de yapılacak olan tüm yatırımlarda, iyileştirme projelerinde, yeni ürün ve malzeme tasarımlarında “sürdürülebilirlik koşulları” önemini arttıracaktır. Teknolojik eğilim, yenilenebilir enerji sistemleri, daha hafif taşımacılık araçları, düşük karbon salınımları ve sera gazının kontrolü ve ikincil metal üretimlerinin artırılması konuları üzerinde odaklanılacağını göstermektedir.

Teknik konularda karar verme sürecinde yer alan herkesin, başta mühendisler olmak üzere çeşitli teknolojik alternatifler arasında seçim yaparken, her alternatifin avantajları ve dezavantajlarını düşünürken, sadece teknik kriterlere göre değil, uzun dönemli sürdürülebilir, arzu edilebilir ve nitelikli yaşam kriterleri çerçevesinde karar vermesi, yani teknolojik tercihlerin sosyal, politik, ekonomik, çevresel hatta psikolojik tüm etkilerini göz önünde bulundurması gerekmektedir. Çünkü, tekrar etmek gerekirse, teknolojik tercihler sadece ekonomiyi değil, tüm geleceği şekillendirmektedir (26).

Bu bağlamda endüstriyel tasarım, girdi ve proseslerde değişimler olması kaçınılmazdır. Sanayinin ana girdilerinden olan ve hem üretim hem de kullanım aşamalarında ciddi salınımlar üreten fosil kökenli enerjilerin yerine, enerji tasarrufunu önceleyen ürün, hizmet ve proseslerin ile alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması kısa vade de olabilecek bir süreç değildir. Kuşkusuz enerji türü değişince, sistemler ve kurallar değişecektir. Yeni kaynaklardan enerji üretmeye başlayınca, sanayi üretiminin de altyapısı değişmek zorundadır. Bu şimdiki kadar alışlageldiği gibi yeni teknolojiler satın alınarak çözülemez, bu değişimleri yerine getirecek bilimsel etkinlikler gereklidir (12). Bu bağlamda sürdürülebilir kalkınma modeli ile, var olan sanayi altyapısına değişim için fırsat ve zaman yaratılmaktadır.

21. yüzyılın hemen başlarında yani yakın gelecekte kullanılacak teknolojilerin % 70'inin henüz bilinmediği, buna karşılık bu dönemde bugün çalışan nüfusun % 70'inin çalışmaya devam edeceği belirtilmektedir. Diğer mühendislik dallarında olduğu gibi metalurji ve malzeme mühendisleri de, gelecekteki bu bilinmeyi anlamak için, yerel değil evrensel ölçütte mesleklerini sürdürebilecek donanım, özgüven, iletişim ve takım çalışması anlayışına sahip olmalıdır. Bunun ilk koşulu yaşam boyu öğrenme gereksinimi ilkesini içselleştirmeleridir.

“Bilgi çağı” olarak tanımlanan bu yeni ve karmaşık süreç de “karar verme” ve “seçim yapma” iki sihirli sözcük olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğru karar verebilmek ve seçim yapabilmek için ve kuramsal bilgi ile mühendislik becerilerini sentez edebilecek temel mühendislik formasyonu değerlerine sahip olmak ilk koşuldur. Karar verme süreçlerinde, ekonomiklik kadar insanlık ve toplum yararı ve çevre koruma kriterleri dikkate alınmalıdır. Unutmamak gerekir ki, mühendislerin ana amacı insanlık ve toplum refahını arttıracak yenilikleri uygulamaktır.

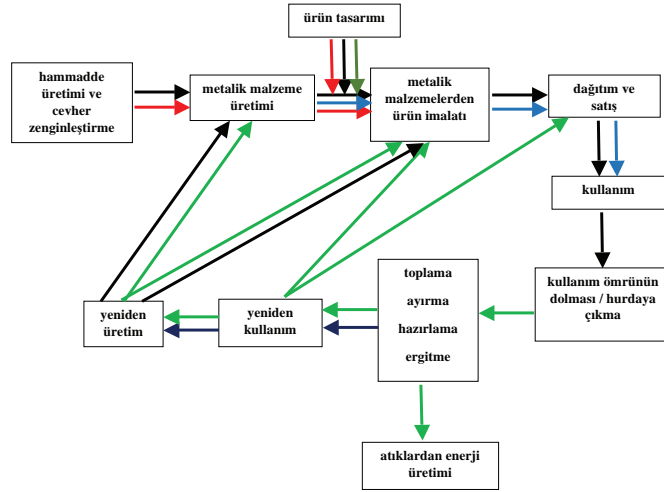
Prof. Dr. İsmail Duman ve Prof. Dr. Yılmaz Taptık, mühendislik etiğini açıklarken temel ahlak ilkelerinden olan sorumluluk ilkesinin konusunu şu şekilde tanımlıyor (22):

- Yakınındakiler ve toplum için kaygı, özen. Hedef: insanlığın iyiliği ve mutluluğu için hizmet.
- Çevrenin ve doğanın korunması. Hedef: yaşam temellerinin korunması.
- Ekonomik başarının güvence altına alınması. Hedef: işletme ve toplumun meşru gereksinimlerinin karşılanması.

Mühendislerin işlevsel sorumluluğunu ise aşağıdaki gibi detaylandırıyor:

İnsan olarak, ahlaki sorumluluk; rol oynayıcı olarak, mesleki sorumluluk; uzman olarak, özel sorumluluk, bakım hizmet sorumluluğu; üye olarak, paylaşma sorumluluğu ve kurum olarak, kurumsal sorumluluk (28).

İkincil metal üretiminin getirdiği ekonomik, toplumsal ve çevresel yararlar dikkate alındığında, ikincil üretimin aynı zamanda etik bir mühendislik uğraşı olduğu açıkça görülmektedir.



Enerji tüketiminin azaltılması **Ürünün yaşam döngüsünün kapatılması** Demateriyalizasyon  
**Asal malzeme yerine aynı performansta daha çevreci malzeme kullanımı**

**Şekil 3:** Metalik malzemeler için çağdaş yaşam döngüsü

Artık "sürdürülebilir kalkınma", "endüstriyel ekoloji" ve "yaşam döngüsü analizi ve türevleri metodolojisi", metalürjik tesislerin doğası gereği, metalurji mühendisliğinin doğrudan gündemindedir. Bu açıdan bakıldığında ise aşağıda sıralanmış dört ana konu üzerinde yoğunlaşmaktadır:

- Metalürjik tesislerde, üretimin her aşamasında enerji tüketiminin azaltılması (birincil teknolojilerde iyileştirmeler) ve birincil malzemelerin ikincil malzemelerle ikame edilmesi,
- Metalik ürünlerin yaşam döngülerinin kapalı döngü haline getirilmesi, yani kullanım ömrünü doldurmuş ürünlerin yeniden kullanım ya da yeniden üretim ile aynı işleve sahip "yeni ürün" formuna getirilmesi, yan ürünlerin başka endüstrilerde hammadde olarak kullanım olanaklarının araştırılması ve kullanılmayan yan ürün ya da atıklardan enerji üretimi,
- Tasarım aşamasında daha hafif alternatif malzemeler seçilerek ya da yeni alaşımlar üretilerek, malzeme miktarlarının azaltılması (demateriyalizasyon),
- Aynı işlevi görecek daha çevreci malzeme ve proseslerin seçimi.

Demografik hareketler ve özellikle Uzak Doğu'da yaşanan hızlı kentleşme, kentleşmeye bağlı olarak zenginliklerin yaygınlaşması ve tüketim artışı metal talebinin daha uzun süre canlı kalacağına işaretler. En önemli uygulama alanı olarak taşımacılık endüstrileri görülmektedir.

İkincil alüminyum üretim süreci, birincil alüminyum üretim sürecine göre daha karmaşık ve özgün bir üretim sürecidir. Metalürjik prosesler arasında "örtük bilgiye" en çok gereksinim duyulan endüstrilerden birisidir. Alüminyum ve alaşımlarının kullanım alanının artması aynı zamanda ikincil alüminyum kaynaklarının çeşitlenmesi anlamına gelir. Bu bağlamda, ikincil alüminyum üretimi standart bir proses değildir. Farklı hurdalar farklı ergitme sistemlerinde farklı verimlilik ve kalite sonuçları verir. Her bir durum için sorunu analiz etme ve çözüm bulma yetisi gerekir. Aynı zamanda verimli bir üretim süreci için diğer mühendislik disiplinleri ile yakın ilişki ve etkileşim gerekmektedir.

İkincil tesislerin ana hammaddesi "kent madenleri" olduğu için, kent merkezine yakın yerlerde kururlar. Bu nedenle tesisin kendi teknolojisinin de çevreye dost olması gerekir.

Alüminyum metali aşağı yukarı bütün sektör ve endüstrilerde kullanım alanı bulan bir malzemedir. Doğal olarak her uygulama farklı özellikler getirir 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 farklılık "hurda hazırlama", "ergitme" ve "metal rafinasyonu" işlemlerinin de karmaşıklaşmasına yol açar.

Elektrik uygulamaları ve alüminyum içecek kutularından gelen hurdalar, çok büyük oranda, ikincil olarak işlenip,

yeniden aynı ürünlere dönüştürülür. Özellikle taşıt araçları, inşaat uygulamaları ve uçaklardan gelen hurdalar ise, karmaşık ikincil proseslere girerler. Bütün bu anlatılanların özeti ise mühendislik yemininde vurgulanmaktadır:

Teknik olarak ikincil alüminyum mühendislerinin önünde 6 temel ve potansiyel çalışma alanı bulunmaktadır:

- Hurda hazırlama ve hurda ayırma (özellikle döküm ve işlem aşımalarının birbirinden ayrılması yani alayım bazında ayırım) teknolojilerinin geliştirilmesi (temassız ve ana alayım elementi bazında ayırım yapabilen LIBS: laser induced breakdown spectroscopy, XRF: X-ray fluorescence ve PGNA: prompt gamma neutron activation analysis teknolojilerinin 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,
- Ergimiş alüminyumu birincil alüminyum kalitesine yaklaştıracak ve böylece kullanım alanlarını arttıracak ergimiş metal rafinasyonu işlemlerinin geliştirilmesi.

Bu potansiyel alanlar ikincil alüminyum endüstrisinin önünde çözülmeyi bekleyen sorunlar olarak durmaktadır. Bu alanlara yönelik çalışmalar, daha fazla ikincil alüminyumun birincil alüminyum yerine kullanılabilmesinde anahtar rolü oynayacaktır.

Bütün bu anlatılanların özeti ise mühendislik yemininde vurgulanmaktadır:

#### **Mühendislik Yemini**

***Bana verilen mühendislik ünvanına daima layık olmaya; onun bana sağladığı yetki ve yüklediği sorumluluğu bilerek hangi şartlar altında olursa olsun onları ancak iyiye kullanmaya; yurduma ve insanlığa yararlı olmaya, kendimi ve mesleğimi maddi ve manevi alanlarda yükseltmeye çalışacağıma namusum ve şerefim üzerine yemin ederim.***

## **KAYNAKÇA**

1. Aluminium Recycling and Europe Status and Prospects / Gunter Kirchner / Organisation of Aluminium Refiners and Remelters / www.eaa.net
2. The Aluminium Industry Sustainable Program – Implementing the OECD Environmental Strategy Meeting / Robert Chase / International Aluminium Institute / March 2006
3. Recycling Works – State and Local Solutions to Solid Waste Management / U.S. Environmental Protection Agency / April 1999 / www.epa.org
4. Bilim Teknoloji Sanayi Üçlemesi ve Türkiye Üzerine Söyleşiler / H. Aykut Göker / Sarmal Yayınevi
5. Recycling Aluminium and Effect on Sustainable Development / Hoberg H. – Wolf S. / Chair for Mineral Processing, Beneficiation and Waste Treatment / RWTH / Aachen
6. Aluminium Recycling : The Commercial Benefits, the Technical Issues and The Sustainability Imperative / Pal Vigeland / Hydro / Metal Bulletin 9th International Secondary Aluminium Conference / Prag / 2001
7. Teknoloji / Mahmut Kiper / TMMOB 50. Yıl Yayımı / Mayıs 2004
8. Katı Atıkların Geri Dönüşümü / Prof. Dr. Tuncay Neyişçi / Akdeniz Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürü / ANSİAD / 2003
9. Gen Teknolojiyle Birlikte Yaşamayı Öğrenmek için Düşünme Hazırlıkları / Prof. Dr. Ahmet İnam / www.phil.metu.edu.tr/ahmet-inam/yayinlar.htm
10. LCI Modelling Approaches Aoolied on Recycling of Materials in View of Environmental Sustainability, Risk PErceptipn and Eco-Efficiency / Rolf Frischknecht / International Journal of Life Cycle Assesment / No: 15 / 2010
11. Azgelişmişliğin Kıskaçındaki Türkiye ve Mühendislik Formasyon-Enformasyon-Deformasyon / Dursun Yıldız, Mahmut Kiper / www.merichrd.worldpress.com
12. Gelecek-Geleceği Sorgulamayan Toplumların Geleceği / Doğan Kuban / Cumhuriyet Kitapları
13. The Aluminium Value Chain / Unlocking Aluminium's Value and Building a Sustainable Future / Bernt Reitan / ALCOA / CRU's World Aluminium Conference / Bahrain / May 2007
14. Birincil ve İkincil Alüminyum Üretim Süreçleri / Erman Car / TMMOB MMO Yayım No:2
15. Türkiye'de Çevre Politikaları ve Sürdürülebilir Kalkınma İlişkisi / Elif Haykır Habikoğlu / İ.Ü. Sosyal Bilimler Meslek Yüksek Okulu / Sosyal Bilimler Dergisi / Sayı:2 / 2007

16. Uygurluk Tarihi / Server Tanilli / Cumhuriyet Kitapları / 27. Baskı / 2011
17. Aluminum Builds a Better Car / The Aluminum Association Auto&Light Truck Group Webinar / December 2008 / www.autoaluminum.org
18. İstanbul Teknik Üniversitesi ve Mühendislik Tarihimiz / Editör: Mehmet Karaca / Mustafa Kaçar, Tuncay Zorlu, Burak Barutçu, Atilla Bir, C. Ozan Ceyhan, Aras Neftçi / İ.T.Ü. Vakfı / 2013
19. Mühendis Kimdir, Ne İş Yapar, Kaç Çeşit Mühendis Vardır / Doç Dr. Özgül Keleş / Metalurji sayı: 172 / TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Yayını
20. Going Green: The Aluminum Perspective / Michael Bull / American Metal Market 3rd Annual Automotive Metals Conference / www.autoaluminum.org.
21. Teknoloji-Bilim İlişkisinin İnsan Yaşamındaki Yeri / Ahmet İnam / Teknoloji / TMMOB 50.Yıl Yayını / Mayıs 2004
22. Madencilik, Metalurji ve Mineralojinin Çileli Tarihi / Zeki Tez / Doruk Yayınları / 2011
23. Mühendislikte Yeni Yaklaşımlar ve Bu Kapsamda Metalurji ve Malzeme Mühendisliği / IMMC 16th International Metallurgy&Material Congress 7 İstanbul 2012
24. Sustainable Development for the 21st Century MSE Opportunities / Diran Apelian / JOM / December 2008
25. Life Cycle Inventories of Electricity Generation and Power Supply Version 3 of the Environment Database Part II Electricity Markets / Karin Trayer, Christian Bauer / Springer Verlag / August 2013
26. Geçmiş ve Gelecekte Ekonomik Gelişmede Teknolojinin Rolü / Prof. Dr. Hacer Ansal / Teknoloji / TMMOB 50. Yıl Yayını / Mayıs 2004
27. Metallurgical and Materials Engineering Education in Turkey (at Turkish Universities) Looking Beyond from Past to the Future: Evaluation and Comments / Prof. Dr. Yılmaz Taptık, Ayşe Kılıç / IMMC 16 International Metallurgy&Material Congress / İstanbul 2012
28. Mühendislik ve Etik / Prof. Dr. İsmail Duman, Prof. Dr. Yılmaz Taptık / II. Alüminyum Sempozyumu / Seydişehir
29. Metal Stocks in Society, Scientific Synthesis / International Panel for Sustainable Resource Management / UNEP / 2010
30. Report on the Environmental Benefits of Recycling / Bureau of Recycling (BIR) / Professor Sue Grimes, Professor John Donaldson, Dr. Gabriel Cebrian Gomez / October 2008
31. Yaşam Döngüsü Analizi / Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-I / Çevre ve Şehircilik Bakanlığı / 2011
32. Türkiye İmalat Sanayinde Yeşil İmalatın Uygulanabilirliği: Makine İmalat Sanayi Örneği / Namime Zerrin Üstünişik / Uzmanlık Tezi / Kalkınma Bakanlığı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Gn. Md. / Şubat 2014
33. Aluminum Recycling and Processing for Energy Conservation and Sustainability / Editor: John. A.S. Green / ASM International The Materials Information Society 7 2007
34. Yeşil Sanayi, Su ve Çevre / Prof. Dr. Nuri Azbar / Ege Üniversitesi Çevre Sor. Uyg. Ve Ar. Merkezi (EÜ-ÇEVREM)
35. Malzeme Bilimi ve Mühendisliğine Giriş / Prof. Dr. Gültekin Göller, Doç. Dr. Özgül Keleş, Arş. Gör. İpek Akın / İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü.
36. Metal Recycling: An Assessment Using Life Cycle Energy Consumption as a Sustainability Indicator / T.E. Norgate / December 2004 / Csiro Minerals
37. Trends in Global Aluminum Industry / Subodh Das / Aluminum Industry Blog / October 26, 2010
38. Aluminum Recycling – An Integrated Industrywide Approach / Subodh Das, John A.S. Green, Gilbert Kaufman, Daryoush Emadi, M. Mahfoud / JOM Vol:62No:2
39. Aluminum Recycling / Mark Schlesinger / CRC Press 2006
40. Yarını Baştan Yaratmak / Doğan Kuban / Cumhuriyet Kitapları
41. Teknolojinin Evrimi / George Bassala / Doğubaty Yayınları
42. Gezegemimizi Kurtarmak - Küresel Ekonominin Çevresel Olarak Sürdürülebilirliği / Lester R. Brown, Christopher Flavin, Sandra Postel / Tubitak-Teme Vakfı Yayınları
43. Ekolojik Bir Toplumla Doğru / Murray Bookchin / Ayrıntı Yayınları / 1988
44. Ekstraktif Metalurji Prensipleri / Prof. Dr. Fuat Yavuz Bor / İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi / Yayın No:2 / 1985
45. Artık Paydos / Mahmut Kiper / Truva Yayınları / Mayıs 2010
46. Bilgi Toplumu ve Türkiye / Yöneten: Prof.Dr. Berin U. Yurdadoğ, Konuşmacılar: Prof.Dr. Ziya Akdaş, Prof.Dr. Bozkurt Güvenç, Prof.Dr. Ahmet İnam, Prof.Dr. Metin Kazancı / www.phil.metu.edu.tr/ahmet-inam/yayinlar.htm
47. On the Review of the List of Critical Raw Materials for the EU and the Implementation of the Raw Material Initiative / Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions / Brussels / 26.5.2014 / COM(2014) 297 Final
48. Towards a Green Economy – Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication / United Nations Environment Program (UNEP) / 2011
49. Ekstraktif Metalurji Prensipleri I / Prof. Dr. Fuat Yavuz Bor / İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Yayın No: 2 / 1985
50. Industrial Hall-Herault Process / Halvor Kvande / TMS Dubai 2008 Electrolysis Short Course / 2008
51. Recycle-Friendly Aluminum Alloys / Dr. Subodh Das / REWAS TMS / Mexico / 2008
52. Economic Development Opportunities through Aluminum Recycling / Dr. Subodh Das / Gold Conference / August 2005
53. Upcoming Carbon Management Legislations: Impacts on and Opportunities for the Global Aluminum Industry / Dr. Subodh Das, Dr. Adam Gering / TMS LMD/EPD and Energy Committee / Seattle / February 2010
54. Recycling Aluminium and Effect on Sustainable Development / Hoberg H. – Wolf S. / Chair for Mineral Processing, Beneficiation and Waste Treatment / RWTH / Aachen