

Metal Malzemenin Tarihteki Gelişimi

Macit Özerbaş

Prof. Dr. ODTÜ Metalurji Mühendisliği Bilimci

İnsanoğlu on bin yıl kadar önce ilk kez ısı enerjisini kayalar içinde gömülü olarak duran ve dünyamızın madenler olarak bilinen cevherinde kullanmayı keşfetmiştir. Bu buluş tarihin akışını değiştirmiş, insanın yaşamını biçimlendirmiş, aynı zamanda insanın ateş ve maden ocaklarıyla olan uzun ve yaratıcı ilişkisini de başlatmış ve giderek madenleri bugünkü toplumumuzun temel öğelerinden biri duruma getirmiştir. Madenler uluslar ve devletlerin hem başarı, hem de başarısızlığının belirleyici unsurları olmuşlardır.

Madenlerin keşfinin 10 bin ile 12 bin yıl kadar önce son büyük buzul çağının sonunda insan toplumundaki değişikliklerle bağlantılı olduğu anlaşılmaktadır. Bu dönemde yerleşik topluma geçmeye başlayan insanlarla ilgili bugüne kadar bulunabilen en geniş ve açıklayıcı bilgiler Büyük Anadolu platosundan elde edilmiştir. Diyarbakır yakınlarındaki Çayönü ve Konya yakınlarındaki Çatalhöyük yerleşim yerlerinden elde edilen bulgular çilalı taş devrinde dünyada bir benzeri daha bulunmayan ve insanın ilk kez madenlerle aşına olduğu gelişmiş bir toplum düzeyini ortaya çıkarmıştır.

Bugün Ankara Anadolu Medeniyetleri Müzesinde sergilenen bu buluntular M.Ö. 6000'li yıllarda çilalı taş devri insanlarının yer kabuğunun yüzeyinde, taş ve kayaların arasında açıkta duran ve ender rastlanan bazı maddelere de özel bir ilgi duymaya başladıklarını göstermektedir. Bu maddeler vurulduğunda kırılmıyor, yontulmuyor ve hatta dövüldüğünde değişik biçimler alabiliyordu. Onlar insanoğlunun kullandığı ilk madenlerdi. Doğada katıksız ve saf olarak bulunan "doğal" dediğimiz madenlerdi. Bu madenler arasında bugün olduğu gibi çilalı taş devri insanınca da en çabuk tanınan kayadaki bir çatlak içinde erimiş olarak duran doğal bakırla, altınyon içindeki altın ve gökyüzünden göktaşı olarak düşen demirdir. İnsanoğlunun ürettiği en eski metalik malzemeler bu özel gruptaki madenlerden yapılmıştı.

Doğal Altın

Doğada doğal olarak bulunan altın muhtemelen parlaklığı ve rengi nedeniyle insanoğlu tarafından ilk olarak farkedilen metaldir. Yumuşak ve işlenebilir olması ve karmaşık ısı işlemlere tabi tutulmadan dövülerek şekli verilebilmesi, doğal altının neolitik ve kalkolitik dönemdeki önemini artırmıştır. Bu dönemde altının genelde toprak yüzeyinden elde edildiğini, madencilik teknikleriyle toprak altından çıkarılmadığını gözlemlemekteyiz. Altın çoğunlukla akarsu yatakları boyunca toplanmakta ve basit tekniklerle üretilmekteydi. Antik dönemin en ünlü altın üretim merkezi olan Lydia'nın başkentli Sardes'te (Manisa yakınları) altın üretimi Paktaos çayı kenarındaki atelyelerde yapılmaktaydı. Günümüzde de aynı yerde altın işleme atelyeleri temsili olarak yeniden yapılmış ve ziyaretçilere sergilenmektedir.

Doğal altının kimyasal bileşimi aşağıdaki gibidir:

Au90 - 99%

Ag 1 - 10%

Diğergenellikle SiO₂, Fe(OH)₃ veya Fe₂O₃.

Bu kimyasal bileşimin gösterdiği gibi doğal altında %90 veya daha fazla altın bulunmakta, fakat önemli bir miktar gümüşün de bileşimde yer aldığı görülmektedir. Bu nedenle arkeolojik dönemlerden beri altının içerisindeki gümüş ve hatta bakır ayrış-

tırmak önemli bir problem olarak insanoğlunu meşgul etmiştir. Genelde o dönemlerde kullanılan ayrıştırma tekniği aşağıdaki evrelerden oluşmaktadır:

1. Altın-gümüş alaşımının eritilerek suya dökülmesi, böylece belirli büyüklükteki tanelerin elde edilmesi (granulation).

2. Tanelerin tuzla işleme tabi tutulması.

3. Oluşan gümüş klorürün (AgCl) asit veya amonyak vasıtasıyla süzülmesi.

Böylece elde edilen saf olarak adlandırabileceğimiz altın, dini amaçlar için kullanılıyordu (tanılara adak eşyası gibi).

Yukarıdaki işlemin uygulanmadığı ve doğal olarak yüksek oranda gümüş içeren altın kullanıldığı zaman, "elektrum" olarak adlandırılan ve beyazımsı bir renk veren altın-gümüş alaşımı ortaya çıkmaktadır. Elektrumdan yapılmış madeni eserler Akdeniz dünyası arkeolojisinde önemli bir yer tutmaktadır.



İlk metal yapıtların şimdilik bilinen en yetkin örnekleri, Anadolu toprağında bulunmuştur. Ankara yakınlarındaki Hasanoğlan'da bir temel kazısı sırasında bulunan bu muhteşem kadın figürü Hatti sanatının başyapıtlarından biridir. Baş altın levhayla kaplanmış; göğse, kollara, bacaklara süslemeler iştilirilmiş. 24,4 cm yüksekliğindeki figür M.Ö. 2000'e tarihlenmiş ve Ankara Anadolu Medeniyetleri Müzesine verilmiş.

Anadolu'da bakır ve alaşımlarının gelişim süreci

Bakır Çağı (M.Ö.5500-3000)	Cu; Cu/As
Erken Tunç Çağı (M.Ö.3000-2500)	Cu/As; Cu/Sn
Orta Tunç Çağı (M.Ö.2500-2000)	Cu/Sn
Geç Tunç Çağı (M.Ö.2000-1200)	Cu/Sn/Pb
Erken Demir Çağı (M.Ö.1200-800)	Cu/Sn/Pb/Fe
Geç Demir Çağı (M.Ö.800-600)	Cu/Sn/Pb/Fe/Zn

Tarihte Altın Üretimi ve Kullanımı

Doğal olarak bulunmayan altın ise, altın içeren kaya yüzeylerinin ateşe kızdırılması ve üzerlerine su atılarak kayaların çatlatılması ile elde ediliyordu. Bu şekilde ufalanan kaya parçaları su ile yıkandıkları zaman, ağır olan altın parçacıkları çöküyor ve daha hafif olan kumlu parçalar ise su ile akıp gidiyordu. Genelde toz zerrecikleri halinde olan bu altın parçacıkları potalara dökülerek eritiliyor ve çeşitli metodlarla şekillendiriliyordu.

Gerek Neolitik ve gerekse Kalkolitik dönemlerde çok gelişmiş uygarlıkların görüldüğü Anadolu'da ise altından yapılmış ileri düzeyde estetik değeri olan madeni eşyaların en güzel örneklerine M.Ö. 2500 yıllarında Çorum yakınlarındaki Alacahöyük'te rastlıyoruz. Bu dönemde altın toz halinde ve yıkama usulü ile elde edilmiş ve eritilerek külçe halinde dövüldükten sonra istenen şekli verilmiştir. Eserlerin üzerindeki ince çizgilerden perdahlanmanın ince kumla yapıldığı anlaşılmaktadır. Ölü için hazırlanan diyademlerde (almik) keski kağıdı ve kenarlarda da pürüzler göze çarpmaktadır. Altın eşyadaki kulplar, bakır kullanılarak kaynatılmıştır. Kaolara süsleme yapmak için başta içine erimiş zift doldurup kalemlerle çekiçlendiği düşünülmektedir. Alaca Höyük'te bulunan altın ve gümüş eserlerde sert lehim kullanıldığı da saptanmıştır. Bazı altın kupalarda saptandığı mukavemeti artırmak ve duruşunu sağlamlaştırmak için, içine katkılı bir madde dödürülmüştür.

Altını eritmek için Mısırlılarda olduğu gibi ağaç kömürü ile el ve ağız körüğü kullanılmıştır. Bilezik ve diğer süs eşyasında kullanılan altın tel üretimi ise, taş deliklerden geçirilmek suretiyle yapılmıştır. İnce kumla perdah yapıldıktan sonra, en son perdah için akikin de kullanılmış olabileceği belirtilmektedir. Alacahöyük'ün simgesi haline gelen geyik heykellerindeki altın kaplamalar ise, dövülerek ince yaprak haline getirilmiş metali yine dövme yardımıyla bronz gövde üzerine kaplanmasıyla elde edilmiştir.

Çeşitli dönemlerde Çanakkale yakınlarındaki Troya'da yapılan kazılarda da M.Ö. 2500 - 2000 yıllarına tarihlenen sanatsal değeri çok yüksek altın kaplar ve altın süs eşyası ele geçmiştir. Heinrich Schliemann tarafından bulunan ve Kral Priamos'un Hazinesi olarak bilinen bu eserlerin ancak bir bölümü yurdumuzda olup İstanbul Arkeoloji Müzesinde sergilenmektedir.

Lydialılar döneminde (M.Ö. 6. yüzyıl) meydana getirilen bazı sanat eserleri Uşak civarındaki tümülüslerden (mezar odaları) çalınarak ABD'ye kaçırılmıştı. Karun Hazinesi olarak bilinen bu eserler yurdumuza uzun bir süreç sonunda getirilmiş ve 19 Kasım 1993 tarihinden itibaren Ankara Anadolu Medeniyetleri Müzesinde sergilenmeye başlamıştır. Bu eserler çoğunlukla gümüşten olmakla beraber, az sayıda da olsa sanat değeri çok yüksek altın süs eşyası da içermektedir.

Doğal Bakır

Latince *cuprum* olarak adlandırılan bakırın bu ismi, ilk defa M.Ö. 290 yılında Roma İmparatoru Spartinus tarafından kullanılmıştır. Bu Latince kelime aslında Asur dilindeki karşılığı *kıpar*'dan alınmıştır. Antik dönemde önemli bir bakır üreticisi olan Kıbrıs adası da (Cyprum) ismini *cuprum*'dan almaktadır. Eski kimyacılar ise, güzel kırmızı renginden ve parlaklığından dolayı bakır *Venus* olarak adlandırmışlar ve ♀ sembolü ile tanımlamışlardır. Bu sembolün hieroglif alfabesindeki karşılığı ise "hayat"tır. Bu da bakırın tarih öncesi çağlardan beri

uygarlığın temel elemanlarından olan madenlerin öncüsü olmasından kaynaklanmaktadır.

Doğal bakır yüksek saflığı nedeniyle ergitilmiş bakırdan kolaylıkla ayırılabilir. Madenlerin ilk kullanıldığı dönemlerde rafinasyon işlemleri gelişmiş olmadığından, doğal bakırdan yapılmış eserleri cevherden ergitme yoluyla elde edilen bakırdan yapılmış eserlerden ayırmak oldukça kolaydır. Doğal bakır küçük peletler veya taneler halinde bulunduğu gibi süngerimsi veya lamine formlarda da doğada yer alabilmektedir. Doğal bakır cevheri eser miktarda Ag, As, Fe, Co, Cd, Pb, Ni, Sb ve Sn içermektedir.

Doğal bakırın nasıl yumuşatılarak işlendiği konusunda en yaygın olan görüş "kamp ateşi" teorisidir. Doğal bakır içeren bir yamaçta yakılan bir kamp ateşi neticesinde veya tesadüfen ateşe atılan bir doğal bakır parçasında gözlemlenen yumuşaklık, işlenebilirlik veya dövülebilirlik insanlığın bu metalle olan ilişkisini başlatmıştır.

Anadolu Tarihinde Bakır Madencililiği

Bilinen en eski metalik eserler Anadolu'da Diyarbakır yakınlarındaki Çayönü höyüğünde bulunmuştur. M.Ö. 7250-8750 yıllarına tarihlenen bu eserlerin doğal bakırdan yapılmış olduğu anlaşılmıştır. Kemik veya taş matizeme ile elde edilmeyecek bazı biçimlerin (özellikle çengeller) doğal bakırla elde edilebildiği ve mikroyapı incelemelerinin de bu eserlerin çoğunlukla soğuk işleme neticesinde üretildiğini ortaya çıkardığı görülmektedir. Çayönü'nden elde edilen bu eserlerden çok azında, mikroyapı incelemeleri sonunda bazı ısı işlem izlenimi rastlanmıştır. Hayret verici olarak nitelenen bu gözlem, Çayönü insanının M.Ö. 7000 yıllarında doğal bakır işlemini bildiğini göstermektedir.

Çayönü höyüğünde bulunan bakır eserlerin orijini olarak, höyüğe 20 km uzaklıktaki Ergani doğal bakır yatakları gösterilmektedir. Ergani civarında bugün dahi bir miktar doğal bakır bulunmaktadır. Ergani bakır yatağı ile Çayönü'nde bulunan eserlerin kimyasal analizleri arasında rastlanan farklılıkların, Ergani'de günümüzde çalışılan bölgenin M.Ö. 7000 yıllarındaki seviyesinden 60 metre kadar aşağıda olmasıyla açıklanmaktadır. Anadolu'daki diğer doğal bakır yatağı ise Doğu Karadeniz bölgesinde bulunmaktadır.

Çeşitli kazılardan çıkan metal eserlerin analizlerinden Anadolu'da madencilik M.Ö. 8000 yıllarında başladığı varsayılabılır. Bu metal eserlerin analizlerinden yararlanılarak maden kaynakları, dolayısıyla ticari ilişkiler ortaya çıkarılmaktadır. Eski maden yatakları ve durlarının fiziksel ve kimyasal yöntemlerle incelenmesi, metalin elde edilmesinde kullanılan teknolojiyi de belirlemektedir.

Anadolu'nun çeşitli yörelerinde en çok kalkolitik (CuFeS₂) gibi demir ve kükürt içeren bakır kaynakları bulunmaktadır. Ayrıca bazı yörelerde malakit (CuCO₃·Cu(OH)₂) gibi oksitli bakır cevherleri de mevcuttur. Demir içermeyen oksitli bakır kaynağı, yatağın üst tarafında yer aldığından, öncelikle kullanıldığı tabirdir. Bu nedenle arkeolojik eserlerin içerdiği demir miktarı, genellikle o eserin hangi tür bakır kaynağı kullanılarak üretildiğini ortaya çıkaran önemli bir unsurdur.

Kalkolitik (maden devri, M.Ö. 5500-3000) döneminden önce doğal bakırın M.Ö. 7000'lerde Anadolu'da kullanıldığını bilmeye beraber, günlük hayatta kullanılan ilk metal olan bakırın cevherden elde edilmesi yaygın olarak M.Ö. 5000'lerde başla-

maktadır. O döneme kadar bilinen tek yüksek sıcaklık tekniği ise çanak-çömlek yapımı idi. Fakat açık ateş tekniği olarak adlandırabileceğimiz bu yöntemle elde edilen sıcaklık 700°C'nin üzerine çıkmamaktaydı. Bu nedenle bakır cevherinin elde edilmesi için gerekli sıcaklığın muhtemelen iki metotta sağlandığı düşünülmektedir:

1. Baca kullanımı,

2. Tek veya daha fazla sayıda kömürün yardımıyla lokal olarak sıcaklığın yükseltilmesi.

Bakır ve Alaşımlarının Tarihsel Gelişimi

Bakır ve alaşımlarının tarihsel gelişimi maden devri (bakır çağı) ve tunç devri ile paralel olarak düşünülmektedir. Bu devirler şöyle sıralanabilir:

Bakır Devri	M.Ö. 5500-3000
Erken Tunç Devri	M.Ö. 3000-2500
Orta Tunç Devri	M.Ö. 2500-2000
Geç Tunç Devri	M.Ö. 2000-1200

Bu dönemlerde ilk ortaya çıkan maden bakır olduğundan, insanlığın maden çağı olarak adlandırılan bu devir bakır çağı olarak kabul edilir. Bu dönemde üretilen metalik eserler daha çok savunmaya yönelik araçlar ile üretime yönelik kesici aletlerdir. Bu eserlerin kimyasal analizleri ilizden kaynaklanan safsızlıkları (özellikle arsenik) vermektedir. Bakır devrinde üretilen bu maden parçaları daha son-

tuncu" olarak adlandırılan bu aşamın, orta tunç döneminden itibaren içerdiği As miktarının kayda değer oranda azaltılmasıyla "tunç" veya "kalay tunç" olarak isimlendirilmiştir. Arsenik miktarındaki bu düşüş aynı zamanda ilerleyen üretim teknolojisinin de bir göstergesidir. Anadolunun çeşitli yörelerindeki tunç dönemine ait yerleşim yerlerinde yapılan kazılarda bulunan tunç eserleri üzerinde yapılan analizler genelde bakıra %10 oranında kalay katıldığı göstermektedir. Bu eserlerde dikkatli çeken bir husus içerdiği yüksek fosfor miktarıdır. Buna neden olarak çeşitli görüşler ortaya atılmış olmakla beraber, ateş beslemek için atılan kemik parçalarının sonucunda metaldeki fosfor miktarının arttığı en çok kabul edilen görüştür.

Gerek erken tunç, gerekse orta tunç devrine ait metal eserlerin en güzel örnekleri Çorum yakınlarındaki Alacahöyük mezarlarında bulunan mezar hediyelelerinde görülür. Bunlardan güneş kursu biçimindeki olanların evreni temsil ettiği sanılmaktadır. Suastika (gamalı haç) desenli bu güneş kursları evrene hiyerarşik simgelemektedir ve döküm yöntemiyle üretilmişlerdir. Alacahöyük mezarları bu devrin silahlarını da en güzel örneklerle bize tanıtmaktadır. Bunlar arasında tunç topuzlar, baltalar ve mızrak uçları vardır. M.Ö. 2500 yıllarına tarihlenen bir geyik heykeli ise döküm teknolojisini o dönemde

görülen en ileri örneklerindedir. Abartılı boynuzlularla güçlü simgeleyen bu geyik heykelinin iki parçalı kalıp kullanılarak döküldüğü ve üzerindeki gözünlerin gaz çıkışından ve kısmen metalin içerdiği arsenik buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dönemin bu ileri teknoloji ürünleri özellikle Ankara'daki Anadolu Medeniyetleri Müzesinde sergilenmektedir.

M.Ö. 2000 yıllardan itibaren görülen geç tunç çağı eserlerinde gözlenen en önemli özellik ise tunca döküm sırasında akışkanlığı artırmak amacıyla katıldığı sargılar kurşundur. Bu dönem eserleri %1 - 10 arasında kurşun içermektedirler. Gerek orta tunç, gerekse geç tunç çağına ait eserlerde rastlanan ortak özellik, bu eserlerin analizlerinde ortaya çıkan katkı maddelerinin (Sn ve Pb) üretim sırasında bilinci olarak özellikle değiştirme (dayanıcı artırma gibi) amacıyla eklenmeleridir. Ayrıca soğuk ve sıcak işleme tekniklerinin kullanılmaya başlandığı da metalografik incelemelerde anlaşılmaktadır.

Perçinli bıçaklarda, perçin yapımında kullanılan alaşımın sertliğinin ve emürlü metallerin bıçak yapımında kullanılan alaşıma oranı daha az olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bıçağın dövülerek dayanımın artırılmasına çalışıldığı anlaşılmaktadır.

M.Ö. 1200 yıllarında Anadolu'da görülen demir çağına özgü ise bakır ve tunç eşyada rastlanan yüksek demir miktarlarıdır. Buna neden olarak kalkolitik cevher kullanımı ve sıvı metal karıştırmada kullanılan demir çubukları verilebilir. Yine Anadolu'da Roma döneminden önce bakır alaşımlarında gözlemlenen diğer bir gelişme alaşıma çinko katılmasıdır. Bu gelişme de giderek pirinç üretilmesini ortaya çıkarmıştır. Metalurjinin ilk dönemlerinde en önemli yer tutan bakır ve alaşımlarının tarihte gösterdiği gelişme karşı sayıdaki dönemler itibarıyla verilmektedir.

Metal üretim ve işleme teknolojisinin nerede ve nasıl ortaya çıktığı, ne şekilde yayıldığı ve ne gibi gelişmeler gösterdiği uygarlık tarihinin en önemli konularından birini oluşturmaktadır. İnsanlığın bugünkü uygarlık düzeyine ulaşmasındaki en önemli basamağın metaller olduğu söylenebilir.



Altın çift idol. Alaca Höyük. Eski Tunç Çağı. (Ankara Anadolu Medeniyetleri Müzesi).

rakı tunç devrinde tekrar kullanıldıklarından, kazılar da bu döneme ait çok az sayıda esere rastlanmaktadır.

Bakır devrinde üretim teknolojisinin gelişkin olmaması nedeniyle üretilen metalde safsızlıkların bulunmasının bir ölçüde olumlu olduğu da söylenebilir. Oldukça saf olan doğal bakırla, içinde As gibi emürlüleri içeren bakırın özelliklerinin farklı olması insanları alaşım üretmeye doğru yönlendirmiştir. Bakır çağının ikinci yarısında ve erken tunç döneminin başlarında %2 dolaylarında arsenik içeren "arsenikli bakır" alaşımlarından yapılmış çeşitli aletlerin üretildiği saptanmıştır. Dayanıcı artırmaya yönelik bu uygulama, metal üretiminde ilk aşamın türü olarak yerini almaktadır.

Erken tunç döneminde ise bakıra kalay katkısı ile elde edilen tunç alaşımı görülmektedir. Önceleri tunçun içerisindeki kalay oranının değişken olması ve yüksek miktarda As içermesi nedeniyle, "arsenik