

## PIROMETALURJİK SÜREÇLERLE İLGİLİ ÇEVRE SORUNLARI

Pirometalurjik süreçlerle ilgili en önemli çevre sorunu gazlardan ve katı parçacıklarından kaynaklanmaktadır. Pirometalurjik süreçlerde gazların yer aldığı reaksiyonlar önemli rol oynamaktadır ve bu yöntemlerin kaçınılmaz sonucu zararlı buharların ve havayla taşınabilen veya havada kalabilen ince katı tanelerin üretilmesidir. Toz veya duman, kimyasal reaksiyonlar veya yoğunlaşma ile ortaya çıkan sıvı damlacıklarından oluşan sisten içindeki katı taneciklerle ayırt edilir. Toz ile örneğin yüksek fırın şarjından gazlarla birlikte taşınan katı taneler anlaşılır. Duman kimyasal reaksiyonlarla oluşan katı taneler olup, tipik örnekleri çinko buharının oksitlenmesi ile oluşan ZnO ve oksijen üfleme konverterde demir buharlarının oksitlenmesiyle oluşan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve hatta karbonun yanması sonucu oluşan “kurum”dur. Sis kavrma gazlarının soğumasıyla oluşan sülfürik asit damlaları olabilir.

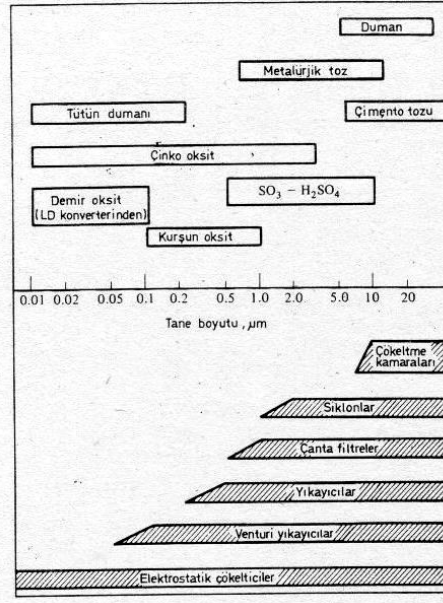
Metalurji sanayinde gaz temizlemenin iki önemli amacı vardır:

1. Hava kirliliğini önlemek
2. Değerli elementleri kazanmak

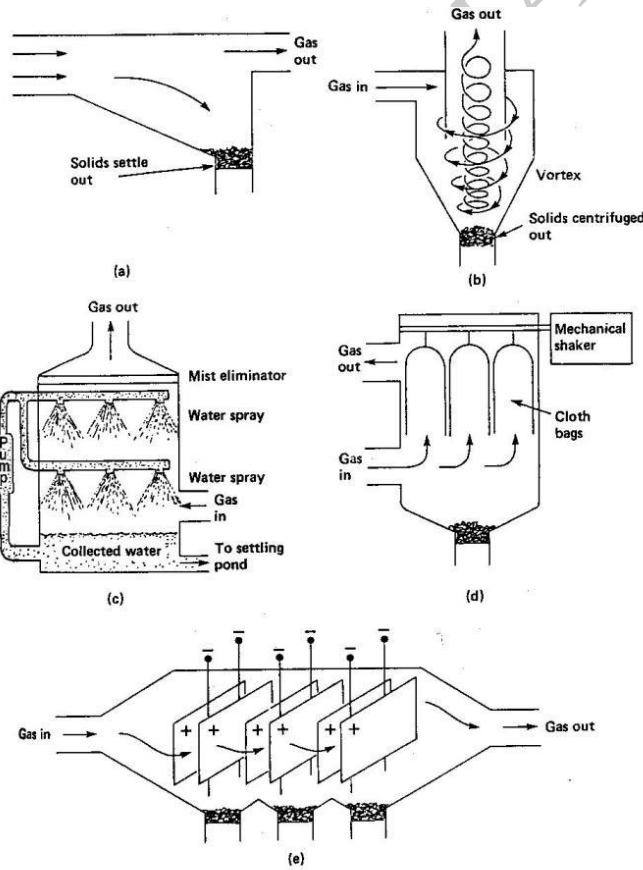
Şekil 1'(fig. 5.7.1)'de çeşitli süreçlerde ortaya çıkan katı tanelerinin boyut aralıkları ve olası gaz temizleme teknikleri gösterilmiştir. Gaz akımlarının temizlenmesindeki etkinlik taneciklerin boyutlarıyla önemli oranda değişmektedir ve giderilmesi en güç tanecikler en küçük olanlardır.

Gazların temizlenmesinde kullanılan süreçler Şekil 2 (fig. 5.7.2)'de görülmektedir. Gaz temizleme cihazları aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

1. Çökeltme odaları (kamaraları) (>10 mikron)
2. Siklonlar (>1 mikron)
3. Filtreler (>0,5 mikron)
4. Gaz yıkayıcılar (yıkama kuleleri) (>0,2 mikron) (venturi tipi 500 angstron'a kadar)
5. Elektrostatik çökticiler (elektrofiltreler) (>5 angstron)



Şekil 1. Çeşitli metalurjik süreçlerde ortaya çıkan toz ve dumanlarda taneciklerin boyutları ve gaz temizleme donanımlarının çalışma aralıkları [M.A., Hayes]



Techniques used for the removal of particulate matter from gas streams (a) settling chambers, b) centrifugal separators, c) wet scrubbers, d) bag filters, and e) electrostatic precipitators (Bauer and Varma) (Copyright Springer Verlag).

Şekil 2. Gaz temizleme donanımları

**Çökeltme:** Katıların sıvılar içindeki çökmesine benzer ve Stokes kanununa uyar. Yer çekiminden yararlanılan çökeltme odalarında gaz hızının düşürülmesi taneciklerin çökmesine olanak sağlar. Çökeltme hızının tane boyutu ile orantılı olması nedeniyle yalnızca 10 mikrondan büyük taneler bu teknikle toplanabilir. Çökeltme odaları basit dikdörtgen kutular şeklinde olabilir Şekil 2 ve 3 (a-fig 7.4a) veya gaz akım yönünü değiştirecek şekilde yapılabilir (Şekil 3 (b) fig 7.4b). İkinci durumda çökeltme tanelerin ataleti ile hızlandırılır.

**Siklonlar:** Çalışma prensibi Stokes kanununa dayanır, fakat yerçekimi ivmesi yerine çökeltme hızını artırmak üzere oluşturulan bir girdap ile merkezkaç kuvvetlerinden yararlanır Şekil 2 (b-fig 7.5). Buradaki hızlandırma  $\frac{v^2}{r} = \omega^2 r$  bağıntısına göre olur. Burada  $v$  teğetsel hız,  $\omega$  tanenin açısal hızı (radyan/s) ve  $r$  dönme çapı olup siklon çapının bir fonksiyonudur. Bir siklonda merkezkaç ile ivmelenme siklon boyutuna göre yerçekiminin birkaç yüz katı (10g-4000g) olabilir ve bunun sonucunda çökeltme hızı ve etkinliği artar. Boyut üstü taneler siklonun duvarına doğru fırlatılır ve konik yüzeylerin dibine doğru alt akım olarak ayrılır. Boyut altı taneler siklonun üstünde merkeze yerleştirilen bir borudan (vortex tutucu) üst akım olarak ayrılır. Siklona giren karışımın (çamurun) izlediği yol aşağı doğru bir spiral şeklindedir ve iri taneler kaplamaya yakın bir şekilde dışarıya atılınca kadar bu yolu takip eder. Sıvı hacminin büyük bir kısmı siklonun üst kısmından ayrılır ve bu sıvı taşınımı beraberinde daha küçük (ince) taneleri alt akım çıkışının hemen üstünde siklonun merkezinden yukarı doğru çeker. Bu nedenle siklon içindeki akım modelleri, dışarıda iri tanelerce takip edilen aşağı doğru yönlenmiş dış spiral hareketi ve üst akım tarafından oluşturulan yukarı doğru iç spiral hareketi nedeniyle oldukça karmaşıktır.

Hidrosiklon performansını etkileyen bazı önemli değişkenler:

1. Siklon çapı,
2. İç spiral (girdap) tutucu çapı
3. Çıkış (konik ucun) çapıdır.

Besleme malı ile ilgili en önemli işletme değişkenleri:

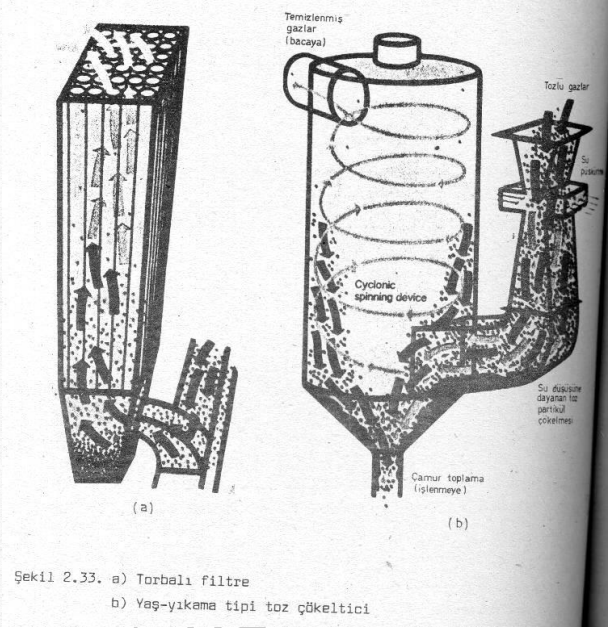
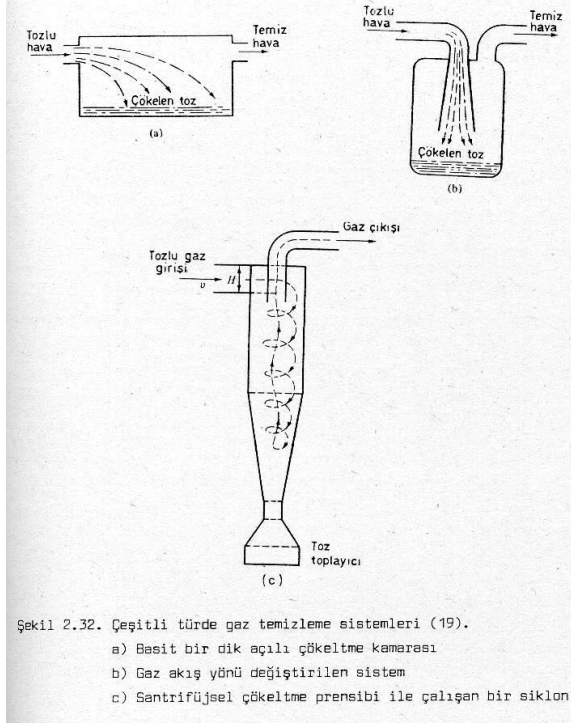
1. Karışımın (çamur) viskozitesi,
2. Katı oranı
3. Siklona giren karışımın hızını ve çıkan ürünün miktarını kontrol eden “giriş basıncı”dır.

Belli bir uygulama için siklon seçiminde belirlenmesi gereken ilk parametre besleme malının alt ve üst boyut sınıflarına bölüneceği “ayırma boyutu”dur. Kritik tane boyutu ( $d_{50}$ ) tanelerin eşit

oranda alt veya üst akım olarak ayrılma olasılığını gösterir ve siklonun özelliklerine bağlıdır. Ayırma boyutunun belirlenmesinde en önemli etmen “siklon çapı”dır. İvmelenme siklon yarıçapının 2 ile 2,4 üssü kadar ters orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle, küçük bir siklon büyük olanına oranla daha etkindir. Diğer taraftan siklon içindeki basınç azalması ve bunun sonucu olarak gerekli üfleme (fan) gücü azalan siklon çapı ile artmaktadır. Siklonlar sabit parçalı ve elle kumanda edilebilir ve yüksek sıcaklıklardaki gazlar için de kullanılabilir. Güç gereksinimleri göreceli büyüktür ve kullanımı bir mikrondan büyük tanelerle sınırlıdır.

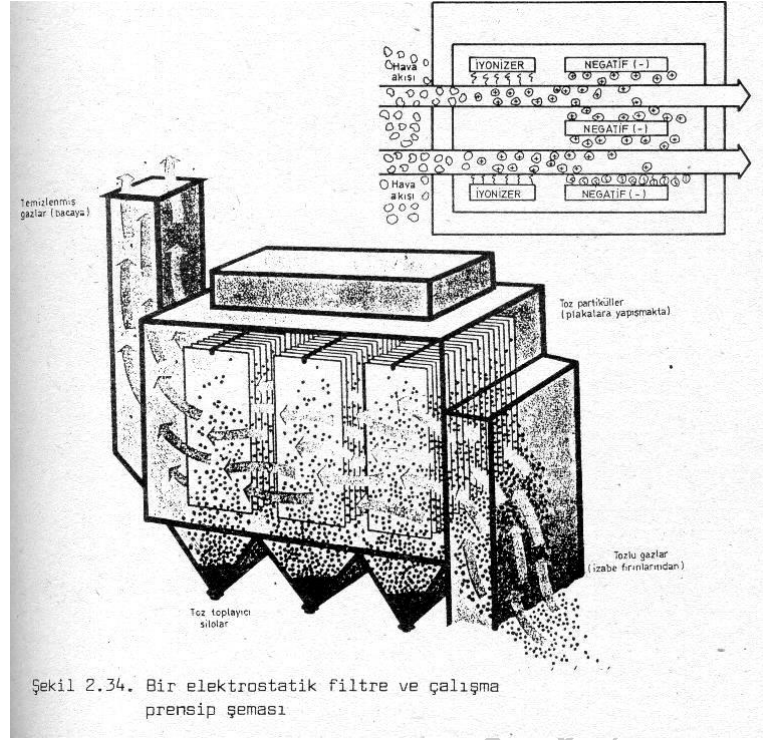
**Çanta (torba) filtrelerin** çalışma ilkesi basittir ve bunlarda ince dokunmuş malzeme daha büyük tanelerin hareketine fiziksel engel oluşturur. Torba filtreler, dik olarak asılı ve ağız açıklıkları aşağı doğru olan çok sayıda bez torba veya çorap şeklindeki torbalardan oluşmaktadır Şekil 2(d). Gaz torbaların ağzından girerek kumaşın arasından geçer. Tozlar torbanın içinde bir filtre keki oluşturur ve bu kumaştaki aralıklardan daha küçük tanelerin tutulmasına olanak sağlar. Torbalar düzenli aralıklarla silkelenecek ağzından aşağıya düşen tozlar toplanarak uzaklaştırılır. Torba filtreler 0,5 mikrondan küçük tane boyutları için kullanılabilir ve özellikle metalurjik gazlardan ZnO ve PbSO<sub>4</sub> dumanlarının kazanılmasında kullanılır. Basınç azalması ve sonucunda güç gereksinimi küçüktür. Asıl sakıncaları düşük sıcaklıklarla sınırlı olmasıdır. En çok yaygın olarak yanabilen kumaşların kullanılması nedeniyle yüksek sıcaklıklardaki gaz akımları için filtre malzemesinin seçimi önemlidir. Pamuk torbalar 80 °C ye ve yün torbalar 95 °C ye kadar kullanılabilir. Daha yüksek sıcaklıklar için teflon, cam fiber veya asbest torbalar kullanılabilir, ancak bunlar pahalı ve kırılmalıdır.

**Yıkayıcılarda** gaz karışımı ile püskürtülen sıvı karşı akım ilkesine göre hareket eder. Tüm yıkayıcılarda tanelerin sıvı damlalarıyla çarpışması ve tutulması yoluyla gaz temizlenir. Süreç bir şekilde flotasyona benzemektedir, fakat toz tanelerinin hava kabarcıkları ile yukarı doğru hareketi yerine su damlaları ile aşağıya inmesi yönünden ayrılmaktadır Şekil 2(c). Genelde mekanik yıkayıcılar 0,2 mikrondan küçük tozları ayırmaktadır. Daha ince tane boyutlarında gaz moleküllerinin çarpışması sonucu olan Brownian hareketi toz taneleri ile su damlalarının temasını güçleştirir. Toz tanelerini su damlaları ile çarpıştırmak için damlalara oranla tanelere daha fazla hız vermek gerekir. Bu Venturi yıkayıcılar ile gerçekleştirilir. Gaz akımı karışım besleme boğazında ivmelendirilir ve gaz akımına dik yönde bir su püskürtülür. Venturi yıkayıcılar ile 0,05 mikrondan düşük yaklaşık 500 angstrom çapındaki tozları uzaklaştırılmaktadır.



### Şekil 3. Gaz temizleme donanımları

**Elektrostatik (Cotrell) filtreler** 1 mikrondan küçük iletken olmayan tanelerin uzaklaştırılmasında en etkin yol elektrostatik çöktürmedir Şekil 2(e) ve 4. Toplama plakaları ile yük boşaltma telleri arasında çok yüksek bir doğru akım (DC 40–60 kV) uygulanır. Önce gaz molekülleri iyonize olarak yüklenir ve tanelerin üzerinde toplanarak toplama plakalarına yönlendirilmesini sağlar. Elektro-filtreleri çalıştırmak için tanelerin elektriği yeteri kadar iletmesi gereklidir. Bu birçok cevher tanesi için olağandır ve bu nedenle kuru gazlardan uzaklaştırılabilir. İletken olmayan taneler için iletken hale getirmek üzere gaza yeteri kadar su ilave etmek gerekir (yaş Cotrell). 1100 K'nin üzerindeki sıcaklıklarda gaz termal olarak iyonizasyona uğrayarak yeterli yüksek iletkenliğe ulaştığından boşaltma voltajını sürdürmek zorlaşır. Bu nedenle elektrostatik toplamamın etkin olması için çalışma sıcaklık aralığının bir üst sınırı vardır. Toplama etkinliği toplama plakalarının alanına ve bazı durumlarda gaz akımının bileşimine bağlıdır. Çöktürücünün etkinliğini sürdürmek için toplanan tozları uzaklaştırmak üzere boşaltma elektrotlarının düzenli olarak sarsılması gerekmektedir.



Şekil 2.34. Bir elektrostatik filtre ve çalışma prensip şeması

#### Şekil 4. Elektrostatik filtre ve çalışma prensip şeması

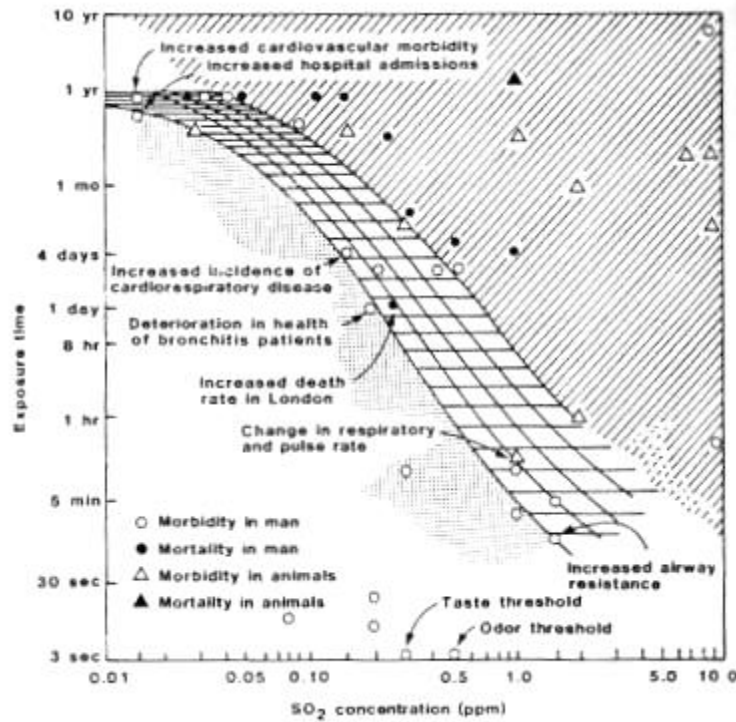
Tüm gaz temizleme sistemlerinin etkinliğinin tane boyutu ile azaldığına dikkat edilmelidir. Bu nedenle Şekil 1’de verilen sınırlar cihazların kabul edilebilir bir etkinlikte çalıştığı yaklaşık sınırları göstermektedir. Tozların tamamen uzaklaştırılması minimum tane boyutunun 10 katı tane boyutları için gerçekleştirilmektedir. Tanelerin tamamen uzaklaştırılması boyutlarının bu minimum değerlerden yeteri kadar büyük olduğunda gerçekleşir. Bununla birlikte, bu teknikleri kullanarak partikül salınımını %95–99 seviyelerinde azaltmanın olası olduğunu söyleyebiliriz.

Günümüzde en çok değinilen ve en fazla dikkat çekilen gaz salınımı pirometalurjik süreçlerde çevreye olan zararlı etkileri nedeniyle kükürt dioksit ve florür gazları olmaktadır. Birçok sülfürlü mineral, örneğin kavurma işlemlerinde olduğu gibi kontrollü olarak oksitlenirken. Örneğin, bir ton bakır üretmek üzere kalkopiritin işlenmesi sırasında iki ton  $SO_2$  gazı üretilmektedir. Bu süreçleri uygulayan izabe tesislerine dünyanın birçok yerinde çok katı çevre standartları getirilmiştir. Zehirli bileşikler, Şekil 5(fig.5.7.3)’te gösterildiği gibi insan ve hayvan sağlığına olan etkileri ile değerlendirilmektedir.  $SO_2$  gazı, sülfürik asit oluşturarak ve asit yağmurları ile akciğerlerde ve doğada büyük tahribat yaratmaktadır. ABD’nin büyük bir kesiminde yağmur suyunun pH’ı 2–5 arasında olup  $(NH_4)_2SO_4$  çözeltilerinin oluşumuna neden olduğu söylenebilir.

Yüksek derişimlerde  $SO_2$  gazı içeren gazlardan

1. elementel kükürdün veya
2. Sülfürik asitin

yan ürün olarak üretilmesi olasıdır. Sülfürik asit üretimi daha düşük üretim maliyeti ve kimyasal reaktif olarak yaygın kullanımı nedeniyle daha yaygın olarak bilinmektedir. Sülfürlü cevherlerin işlendiği süreçlerin tasarımında çevresel korunma gereksinimleri büyük öneme sahiptir. Bu nedenlerle özellikle oksijen bakımından zenginleştirilmiş veya saf oksijen yakma atmosferlerinin kullanımı ve sürekli Flash izabe tekniklerinin uygulanması yönünde bir değişim söz konusudur. Bu tip reaktörlerin ürünleri, sabit bir akım hızında daha yüksek SO<sub>2</sub> gazı içermekte ve bu nedenle asit fabrikalarında doğrudan işlenmeleri mümkün olmaktadır. Bu yolla gaz akımının SO<sub>2</sub> içeriğinin %99,5'ten fazlasının uzaklaştırılması mümkün olmaktadır.



Şekil 5. SO<sub>2</sub> derişimi (ppm) ve temas süresinin insan ve hayvan sağlığı üzerine etkisi

Artıkların işlenmesinde birçok teknik olasıdır, ancak bunların uygulanması büyük oranda politik ve ekonomik etmenlere bağlıdır. Önceleri üreticiler hava kalitesi ilgili konulan standartlara ulaşmanın olası olmadığını ileri sürerken günümüzde bu savlarının geçersiz olduğu anlaşılmıştır.

Hidrokarbonların yanması sonucu oluşan saf SO<sub>2</sub> gazlarının işlenmesinde diğer bir takım teknikler de olasıdır. Örneğin pirometalurji fabrikasının ürünü olan gazlar termal güç istasyonlarında girdi olarak alınıp buralarda elektrik üretimi için kullanılması gibi konular dikkate alınarak geliştirilmelidir.