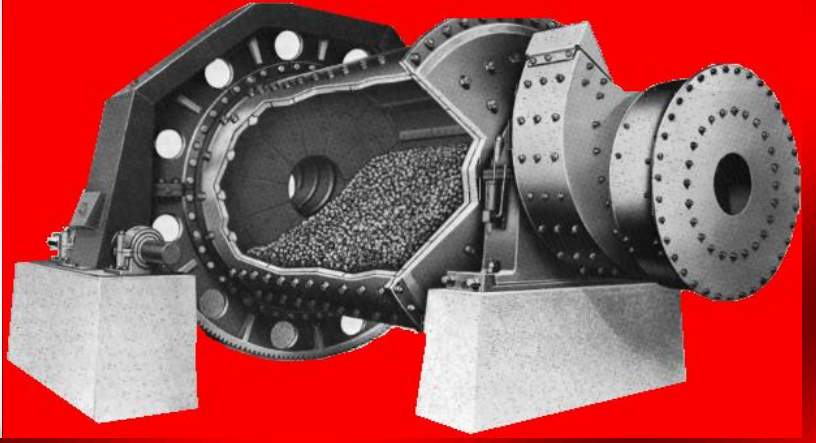


BOYUT KÜÇÜLTME

V.BÖLÜM

KIRMA VE ÖĞÜTME DEVRELERİ



Necati Yıldız
Maden Yük. Müh.
Mayıs 2023

KIRMA VE ÖĞÜTME DEVRELERİ

1.Giriş	1
2.Boyut küçültme devreleri	2
3.Kırma boyutlandırma devreleri	2
4. Öğütme devreleri	7
5.Açık ve kapalı devreler	8
6.Öğütme devreleri	9
6.1 I. ve II. aşama öğütme devreleri	10
6.2 III.aşama öğütme değirmenleri	12
7. Sonuç	15

KIRMA VE ÖĞÜTME DEVRELERİ

Necati Yıldız
Maden Yük. Müh.
Mayıs 2023

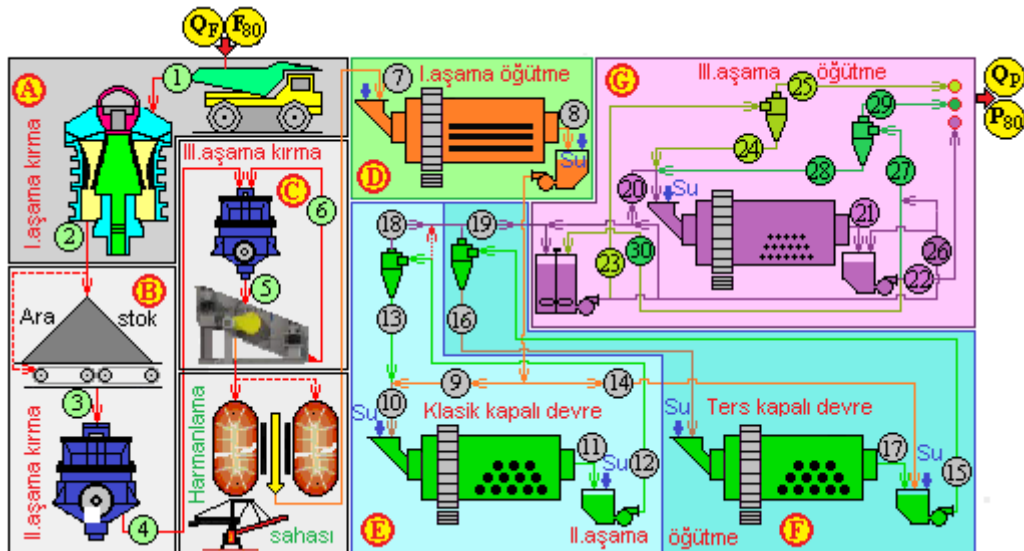
1.Giriş

Bir sınır olmamasına karşın 3 mm üstündeki boyut küçültme işlemi “*kırma*”, 3 mm altındakiler de “*öğütme*” olarak kabul edilmektedir.

Kırma-boyutlandırma-öğütme devrelerinde değişik kırıcılar, elekler, yaygın olarak çubuklu değirmen sonrası siklonla ters kapalı devre çalışan II.aşama öğütme devresiyle açık devre çalışan III.aşama öğütme devresi kullanılmaktadır.

Şekil 1’de cevherin üretiminden başlayarak serbestleşmesi için kırma, boyutlandırma, öğütme ve sınıflandırıcı ekipmandan oluşturulmuş klasik bir boyut küçültme devresi akım şeması verilmiştir. Çoğu zaman bu sürecin içinde manyetik özellik taşıyan demir cevheri ya da iri boyutta serbestleşebilen krom gibi cevherlerin ön zenginleştirilmesi amacıyla ekipman da yer almaktadır. Bazen de II.aşama öğütme sonrası flotasyon devrelerinden alınan ara ürün III.kademe öğütmeye gönderilmektedir.

Ön zenginleştirme ekipmanı tesis kapasitesini artırırken tesis maliyetini de ciddi oranda düşürmektedir. Bu akım şemasında olduğu gibi boyut küçültme devresinde ön zenginleştirme ekipmanı yoksa tesise beslenen Q_F , tesisten öğütülmüş olan çıkan Q_P miktarına eşit olacaktır.



Şekil 1: Kırma-eleme-öğütme-sınıflandırma devresi

Her tesis belirli bir kapasiteye uygun kurulmuştur. Ancak her zaman bu kapasitenin (+) ya da (-) yönde bir aralığı vardır. Şekil 1'deki devrede III.aşama öğütme sonrası istenilen boyutta öğütülmüş cevher alındığı sürece tesis kapasitesi arttırılabilecektir. Tesis kapasitesi artırılırken bir noktadan sonra cevher istenilen boyutta öğütülmeyecek ya da cevher akışı devrenin bir bölgesinde tıkanacaktır. Yapılmış çalışma sonuçları değerlendirilip tıkanan bölge ya da bölgelerdeki sorunların çözümüyle tesis kapasitesinin bir değere kadar artırılması söz konusu olabilmektedir.

Şekil 1'deki kırma-boyutlandırma-öğütme devresinde amaç 3 aşama kırma ve 3 aşama öğütme sonrası Q_F miktarında F_{80} boyutundaki cevheri, Q_P miktarında P_{80} boyutunda öğütmektir. Devrede ön zenginleştirme ekipmanı olduğunda $Q_F \neq Q_P$ 'dir. Devrede son ürün Q_P miktarındaki $P_{80}(22, 25, 29)$ boyutundaki cevher büyük olasılıkla serbestleşmiş olup zenginleştirme devresine gönderilecektir. Böyle bir devre iyi düzenlendiği ve işletildiği sürece her türlü cevherin 45 mikrona kadar öğütülebilmesi olanağı vardır.

2.Boyut küçültme devreleri

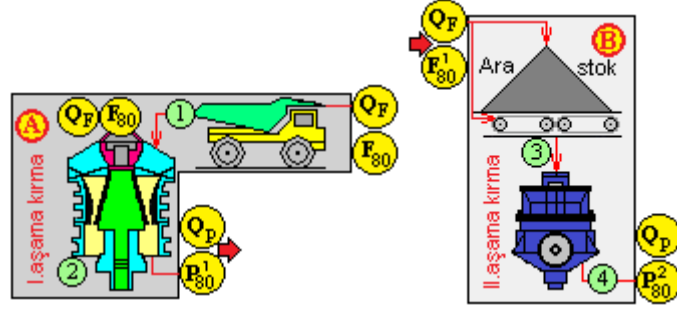
Şekil 1'deki akım şemasını boyut küçültme işlemi ile ilgili bölümlere ayırma olanağı vardır:

- *Birinci aşama kırma devresi, A*
- *İkinci aşama kırma devresi, B*
- *Üçüncü aşama kırma devresi, C*
- *Birinci aşama öğütme devresi, D*
- *İkinci aşama klasik kapalı öğütme devresi, E*
- *İkinci aşama ters kapalı öğütme devresi, F*
- *Üçüncü aşama seçenekli öğütme devresi, G*

3.Kırma boyutlandırma devreleri

Kapasitesi yüksek metal madeni zenginleştirme tesislerinde I.aşama kırmada genellikle döner kırıcılar kullanılmaktadır. *Döner kırıcılar gyrotory* ya da *konili kırıcılar* olarak da isimlendirilmektedir. Yüksek kapasiteleriyle ilk aşama kırıcı olarak vazgeçilmezliğini uzun yıllardan bu yana korumaktadır. Günümüzde kapasiteleri 10.000 t/s üzerine çıkmıştır. Kırılacak cevher büyük kamyonlardan ya da alttan boşalan vagonlardan doğrudan kırıcı ağızına beslenmektedir.

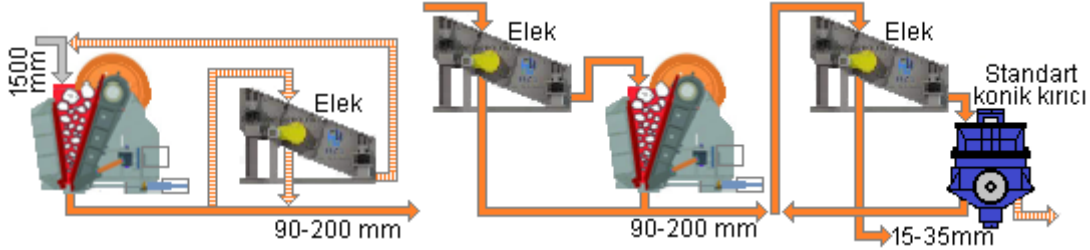
Döner kırıcı büyüklüğüne bağlı olarak kırıcı ağızından geçebilen sahadan üretilmiş her boyuttaki cevheri kırabilmektedir. Döner kırıcılarda kırma oranı 4:1 ile 10:1 arasında değişmektedir. Kırılmış cevherin üst boyutu 10-16 cm kadardır.



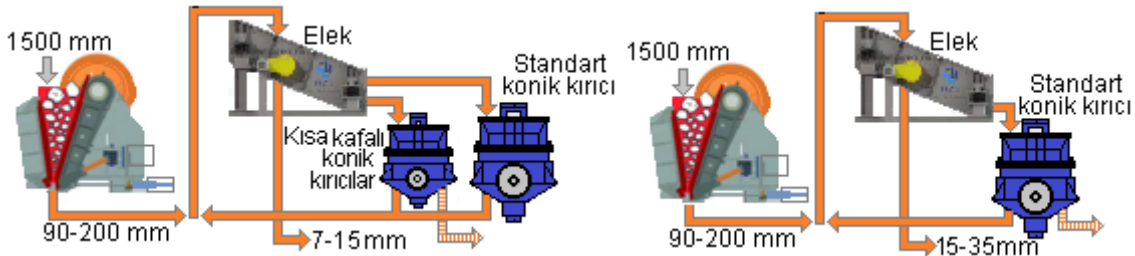
Şekil 2: I. aşama ve II. aşama kırma devreleri

Tesis kapasitesine bağlı olarak I. kademe kırıcı olarak **çeneli ve darbeli kırıcılar** da kullanılmaktadır. Çeneli kırıcıların kapasiteleri 750 t/s, küçültme oranı 4:1-9:1 arasında değişmektedir. Kırıcıdan çıkan kırılmış cevherin üst boyutu 10-16 cm civarındadır. Kırılacak en büyük kayaç boyutu, kayaçın kırıcı ağızına düşüş şekline bağlıdır.

Şekil 3 ve Şekil 4'de I. aşama kırma işleminde çeneli kırıcı kullanıldığında hazırlanabilecek birkaç devre gösterilmiştir.



Şekil 3: I. aşama kırma çeneli ve II. aşama kırma konik kırıcı devresi



Şekil 4: I. aşama kırma çeneli ve II. ve III. aşama kırma konik kırıcı devresi

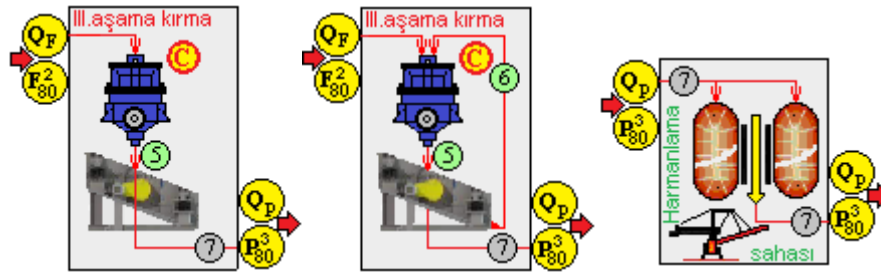
Tek rotorlu birinci aşama darbeli kırıcılarla 2500 t/s, 1900 mm boyutundaki orta sertlikte kayaçları 80 mm boyuta, **çift rotorlu birinci aşama darbeli kırıcılarla** 1650 t/s kapasite ile 1700 mm boyutundaki orta sertlikte kayaçları 80 mm boyuta kırılabilmektedir.

I.aşama kırma sonrası cevheri daha ince boyutta kırmak için kullanılacak kırıcı ve elek kapasitelerine uygun olarak birden fazla devre oluşturulmaktadır. Bu aşamadan sonra cevher II.aşama kırıcıya gönderilmektedir. İki kırıcı arasında genellikle stok sahası yoktur. Stok sahası olması durumunda kapasitesi düşüktür. II.aşama kırıcı öncesi yerleştirilecek besleme bunkerleri kırıcıya düzgün bir besleme sağlamaktadır. Kapasiteleri düşük olsa da bu bunkerler aynı zamanda cevherin stoklanmaktadır.

Konik kırıcılar II. ve III. aşama kırma devrelerinde kullanılmaktadır. Konik kırıcılar **standart** ve **kısa kafalı "short head"** konik kırıcılar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Standart konik kırıcıları **"ince", "orta"** ve **"iri"** boyutlu, kısa kafalı konik kırıcılar da **"çok ince", "ince", "orta"** ve **"kaba"** boyutlu kırma işleminde kullanılan kırıcılar olarak gruplandırma olanağı vardır.

II. aşama kırmada standart konik kırıcılarda 10-60 cm cevher 3:1 ile 5:1 arasında değişen küçültme oranları ile 6-10 cm'ye kadar kırılabilmekte, çoğu zaman da kırıcı açık devre çalıştırılmaktadır.

Kısa kafalı konik kırıcılar III. bazen de IV.aşama kırıcı olarak kullanılmaktadır. Cevher hazırlama tesislerinde III.aşama kırıcılardan çıkan cevher çoğu zaman öğütme devrelerine gönderilmektedir. Bu nedenle değirmen öncesi kırıcılar bir elek kapalı devre olarak çalıştırılmaktadır. Bu kırıcıların küçültme oranı 2:1 ile 3:1 arasında olup kırılmış cevher boyutu 10-20 mm arasındadır.

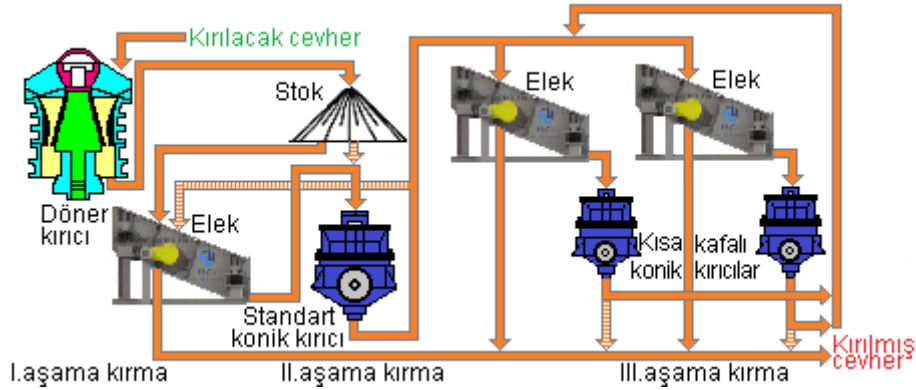


Şekil 5: III.aşama kırma devreleri ile harmanlama sahaları

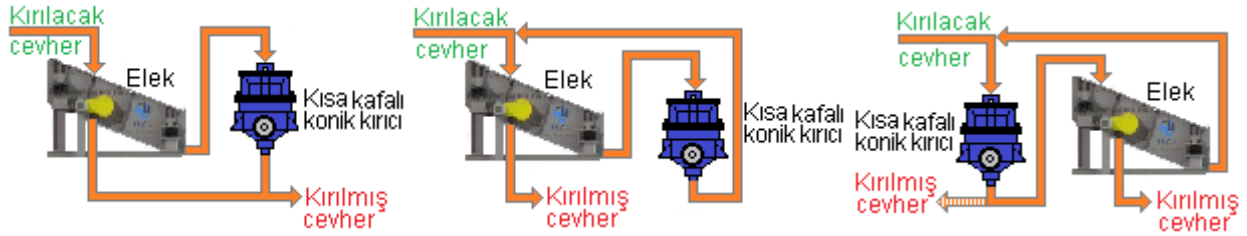
Çoğu zaman IV.aşama kırma devresi hazırlanmamaktadır. Kullanıldığında IV.aşama kırıcılara beslenen cevher boyutu 4-5 cm, küçültme oranı 6:1 civarındadır. Bu kırıcılar kapalı devre çalıştırıldığında ürün boyutu -6 mm civarında olup kırıcıya bağlı olarak -1.5 mm boyutunda kırılmış cevher elde etme olanağı vardır. IV.aşama kapalı kırma devrelerinde devreden cevher miktarı oldukça yüksek olup kırıcı etkinliği düşüktür.

Şekil 6 ve Şekil 7'de değişik seçenekli kırma-boyutlandırma devreleri gösterilmiştir. Bunlara ek olarak daha karmaşık devreler hazırlama olanağı vardır. Yaygın olarak II.aşama kırma devreleri açık devre çalıştırılmaktadır. Ancak bu bir kural olmayıp gerektiğinde bir elek kapalı devre olarak

da çalıştırılabilmektedir. Hatta II.aşama kırıcı çıkışı tesise gönderilecekse kapalı devre çalıştırılmasında öğütme devrelerinde iyi bir kapasiteye ulaşılması bakımından önemlidir. III.aşama kırma sonrası kırılmış cevher öğütme devresine gönderildiğinden III.aşama kırıcının tek perdeli eleklerle kapalı devre çalışmasında her zaman fayda vardır.



Şekil 6: I.aşama kırma döner, II. ve III.aşama kırma konik kırıcı devresi



Şekil 7: III.aşama kırma devreleri

Tesis planlanırken kapasite ve cevhere bağlı en uygun devre seçilecektir. Tesis çalışırken bu devreler mutlaka iyileştirme amacıyla değiştirilecektir. Bu nedenle devreler fiziki olarak yeni ekipman ilavesine uygun olacak şekilde planlanmalıdır.

Metal cevheri zenginleştirme tesislerinde II. ve III.aşama kırma devrelerinde konik kırıcı kullanmak iyi sonuç vermektedir. Bu kırıcılarda kırılmış cevher dağılımı düzgündür. Kapasite sorunu da gerektiği sayıda devre hazırlanarak çözümlenmektedir.

Kırıcı etkinliğinin yüksek olması için düzgün bir besleme gerekmektedir. Bunun için de kırıcı öncesi yeterli bir hacimde bunkerin olması her zaman önerilmektedir.

Tesis öncesi cevherin stoklanması, fiziksel ve kimyasal olarak karıştırılması için harmanlama sahası oluşturulmalıdır. Harmanlama sahasında yığın yöntemi cevher boyutuna uygun seçilmelidir. Şekil 8'de chevron, windrow ve bu iki yöntemin beraber kullanılarak oluşturulmuş cevher stok kesitleri gösterilmiştir.



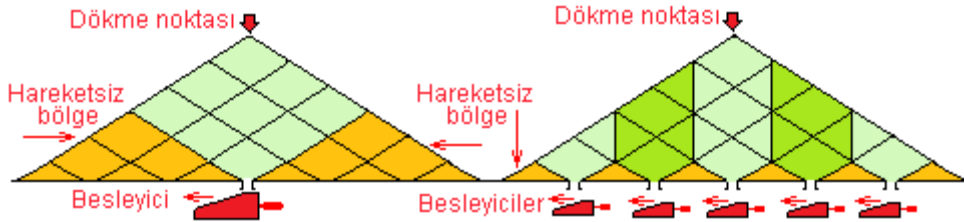
Şekil 8: Harmanlama amacı ile uygulanan stoklama yöntemleri

Chevron yönteminde cevher yüksekten döküldüğünden doğal olarak segragasyon olarak tanımlanan tane ayrışması oluşmakta, büyük cevher taneleri yığının yüzeyinden yuvarlanarak tabanda toplanmaktadır. Yöntem basit olmasına karşın, stoklama sırasında oluşan tane ayrışması nedeniyle 6-7 mm'den daha büyük boyutta cevherlerin harmanlanması için önerilmemektedir.



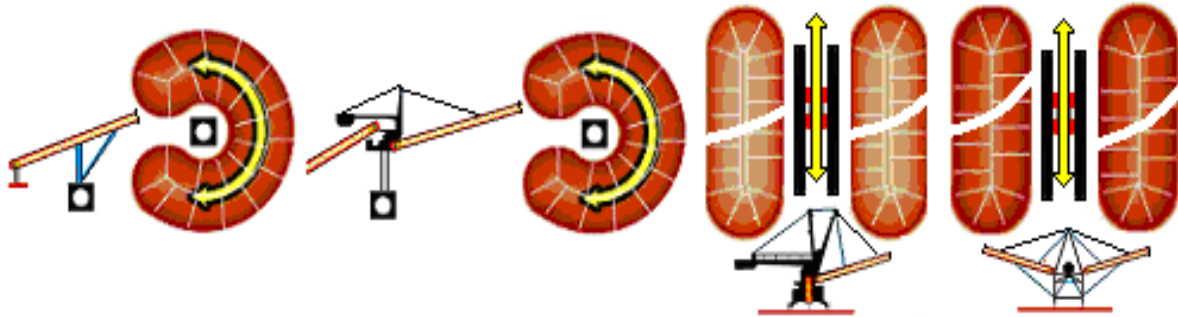
Şekil 9: Cevherin harmanlanmasında tane ayrışması

Windrow yönteminde üst üste ve yan yana küçük yığınlar oluşturularak cevherin fiziksel ve kimyasal olarak karışması sağlanmaktadır. Cevher oluşturulmuş stoktan tesise beslenirken tekrar karıştığından, iyi bir homojenlik sağlanmaktadır.



Şekil 10: Harmanlama sahasından cevherin alınması

Kırma boyutlandırma devresinde önemli olan cevher sahada üretilip ilk kırıcıya beslendikten sonra tesise besleninceye kadar loder gibi yükleyici yada kamyon gibi taşıyıcı bir ekipmana gerek duyulmamasıdır.



Şekil 11: Stok şekilleri

4. Öğütme devreleri

Şekil 1'deki devrede süreçte ön zenginleştirme ekipmanı olmadığından sahadan kırıcıya beslenen cevher Q_F 'in III.aşama öğütme devresindeki siklonlardan çıkan öğütülmüş cevher Q_P 'e eşittir.

Öğütme işlemi cevherin kırılması sonrası işlem olup cevherin zenginleştirilmesi için serbestleştirilmesi ya da kullanım amacına uygun talep edilen boyut veya yüzey alanının elde edilmesi olarak 3 amacı vardır;

i) Cevherin kullanım amacına uygun hale getirilmesi, örneğin kalker, dolomit ya da bazalt gibi kayaların kum üretilmesi için öğütülmesidir.

ii) Zenginleştirip konsantr elde etmek için cevherin *“serbestleşme boyutuna”* kadar öğütülmesi gerekmektedir.

“Serbestleşme boyutu” bir cevher içindeki minerallerin birbirinden ayrılıp fiziki olarak bağımsız hale geldikleri üst boyuttur. Zenginleştirme işleminde yüksek etkinlikle yüksek tenörlü konsantr üretebilmenin ilk koşulu cevherin serbestleşme boyutuna öğütmesidir.

Cevher bir ya da birden çok sayıda mineral içerebilmektedir. Yapısına bağlı olarak her cevherin içerdiği minerallerin serbestleşme boyutları farklıdır. Cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisleri ve öğütme devreleri de serbestleşme boyutlarına uygun olarak düzenlenmektedir.

iii) Serbestleşme boyutuna öğütülmüş cevherlerin zenginleştirilmesi ya da zenginleştirme sonrası uygulanacak işleme uygun olarak daha ince öğütülmektedir.

Bazı cevherler serbestleşme boyutuna öğütülmüş de olsa tanenin flotasyon işleminde köpük tarafından yüzeye taşınabilmesi için tane ağırlığının öğütülerek köpüğün taşıyabileceği ağırlığa düşürülmesi gerekmektedir.

Demir ve krom gibi bazı cevher konsantrelerinde tane boyutu çok düşüktür. Bu konsantrelerin yüksek fırınlarda ya da ark ocaklarında doğrudan kullanım olanağı yoktur. Konsantrelerin kullanıma uygun hale getirilebilmesine yönelik topaklanıp peletlenebilmesi için konsantr tekrar öğütülmektedir.

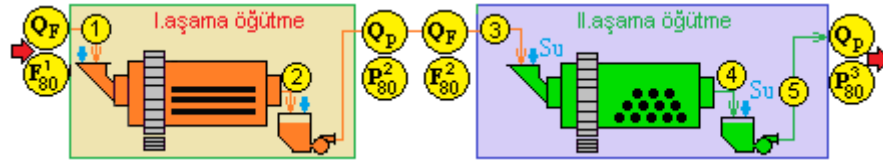
İnce öğütmede genellikle açık devre çalıştırılan bilyalı değirmenler kullanılmaktadır. Bu değirmenler uygun bir sınıflandırıcıyla kapalı devre olarak da çalıştırılabilmektedir. Öğütme

devresinde sorun yaşandığında çoğu zaman bilya ilavesi, bilya boyutu değiştirilerek, değirmen kapasiteyle oynanarak ya da pülp yoğunluğu ayarlanarak kolayca çözümlenmektedir.

5.Açık ve kapalı devreler

Cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinde ilk aşama öğütmede çubuklu değirmenler, II. ve gerektiğinde III. aşama bilyalı değirmenler öğütmede vazgeçilmez ekipmandır. Çubuklu değirmenlerde iri boyutta cevher öğütme maliyeti bilyalı değirmenlerde iri boyutta öğütmeye göre daha düşüktür. Bu nedenle *çubuklu değirmende öğütülmesi gerekli cevher büyük çaplı bilya kullanarak bilyalı değirmende öğütülmemelidir.*

Bilyalı değirmenlerde öğütme işleminde açık ve kapalı öğütme devreleri kullanılmaktadır. Bilyalı değirmen çıkışı boyut ve boyut dağılımı önemli olmadığına açık devre seçilmektedir.

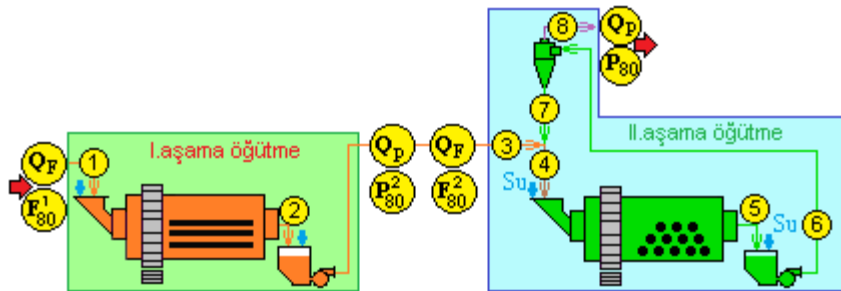


Şekil 12: Açık devre

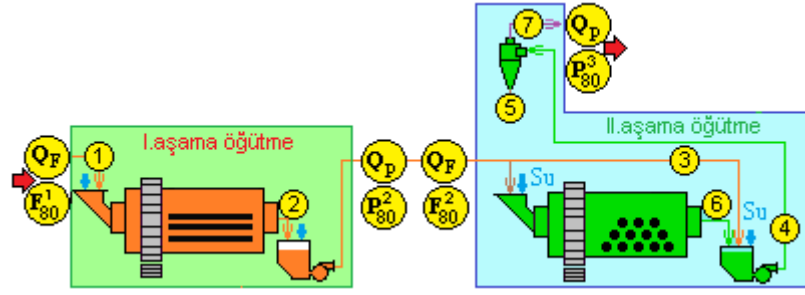
Açık öğütme devrelerinde sınıflandırıcı yoktur. Pülp yoğunluğu ve değirmendeki öğütücüye bağlı olarak değirmene beslenen cevher öğütülerek bir sonraki aşamaya gönderilmektedir.

Öğütülmüş cevherin boyutunun kontrolü için öğütme devresine sınıflandırıcı yerleştirilmektedir. Bu sınıflandırıcıya gönderilen cevherin içindeki istenilen boyuta öğütülmüş cevher sınıflandırıcıdan alınmakta, iri boyuttaki cevher gerekli boyuta öğütülünceye kadar değirmene geri gönderilmektedir. Bu devreler kapalı devre olarak isimlendirilmektedir.

Öğütmede iki değişik kapalı devre oluşturulmaktadır:



Şekil 13: Klasik kapalı devreler



Şekil 14: Ters kapalı devreler

Klasik kapalı devrelerde çubuklu değirmen çıkışı doğrudan bilyalı değirmene, bilyalı değirmen çıkışı siklona beslenmekte, siklon alt akımı bilyalı değirmene geri dönmektedir.

Ters kapalı devrelerde çubuklu değirmen çıkışı doğrudan siklona, siklon alt akımı bilyalı değirmene gönderilmektedir.

Ters kapalı devrelerde pompa astarı, pompa fanı ve siklonlarda aşınma daha fazladır. Çünkü çubuklu değirmen çıkışı öğütülmüş cevher boyutu büyük ve köşelidir. Ters kapalı devrelerde çubuklu değirmen çıkışı öğütülmüş cevher içindeki bilyalı değirmen çıkış boyutunda cevher olacağından bu cevher siklonlarda üst akım olarak ayrılmakta, bunun sonucu olarak da bilyalı değirmen kapasitesi artmaktadır.

Klasik ve ters öğütme devresi seçimi çubuklu değirmen çıkışı cevher boyutu, bilyalı değirmen çıkışı istenilen öğütülmüş boyuttaki cevher oranı ve cevherin özelliğine göre yapılmalıdır.

6.Öğütme devreleri

Değirmenlerle istenilen öğütme için öncelikle öğütme için uygun koşulların hazırlanmış olması gerekmektedir:

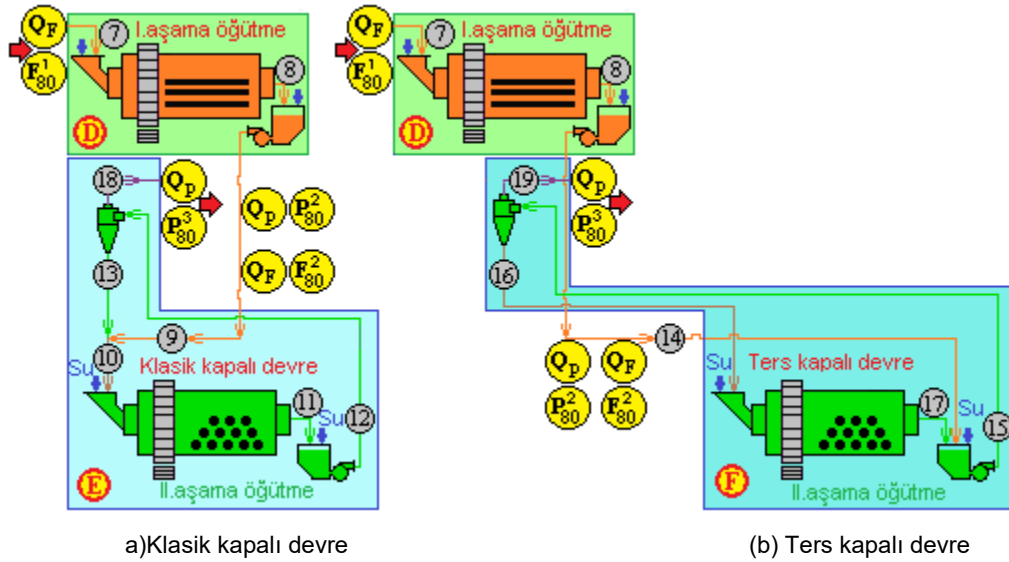
- Değirmene öğütülmesi için beslenen cevher boyutu ve miktarı,
- Kullanılacak bilya/çubuk boyutu cevher boyutuna göre doğru hesaplanmış,
- Değirmen hacminin %40'ı bilya/çubuk ile doldurulmuş olmalıdır.
- Çubuklu değirmenlerde çubuk boyutları değirmen alınları arasındaki mesafeden 10-15 cm kısa alınmalıdır.
- Çubuklu değirmen içindeki pülp yoğunluğu 2.00-2.30 gr/cm³ civarındadır. Bunun karşılığı pülpteki cevher oranı % 65-80 katı arasındadır.
- Bilyalı değirmen içindeki pülp yoğunluğu 2.00-2.20 gr/cm³ arası olup bu yoğunlukta pülpteki cevher oranı % 60-70 katıdır.

- Çubuklu değirmenlerde iri boyutta öğütme yapılmaktadır. Bunun için çubuklu değirmenler kritik hızın %65-70'i arasında çalıştırılmalıdır. Bu hızda değirmen içinde ortam "serbest düşme" şeklinde hareket etmektedir. Daha düşük devirlerde değirmen çalıştırılmamalıdır.
- Çubuklu değirmenlerde ince boyutta öğütme için kayarak yuvarlanma söz konusu değildir.
- Bilyalı değirmenlerde lifter olarak anılan kaldırıcı çıkıntılar aşınmış olmamalıdır.
- Devredeki sınıflandırıcılar uygun basınç ve debide beslenmelidir.
- İnce öğütme için bilyalı değirmen kritik hızın %45-55'i aralığında çalıştırılmalıdır. Bu hızda dönen değirmen içinde ortam hareketi "kayarak yuvarlanma" şeklindedir.
- Orta boyutta öğütmede bilyalı değirmen kritik hızın %55-65'i kadar döndürülmektedir. Bu hızda ortam "kayarak yuvarlanma ve serbest düşme" şeklinde hareket etmektedir.
- İri boyutta öğütmede bilyalı değirmen devri kritik hızın %65-75'i arasında olup bu hızda değirmen içinde ortam hareketi "serbest düşme" şeklindedir.

6.1 I. ve II. aşama öğütme devreleri

Çoğu zaman I.aşama öğütmede kullanılan çubuklu değirmen çıkışı II.aşama öğütme devrelerinde kullanılan bilyalı değirmenlere gönderilmektedir.

Şekil 1'deki boyut küçültme devresinde I. ve II.aşama öğütmede aşağıdaki klasik ve ters kapalı devreler ile açık öğütme devreleri oluşturulabilmektedir.

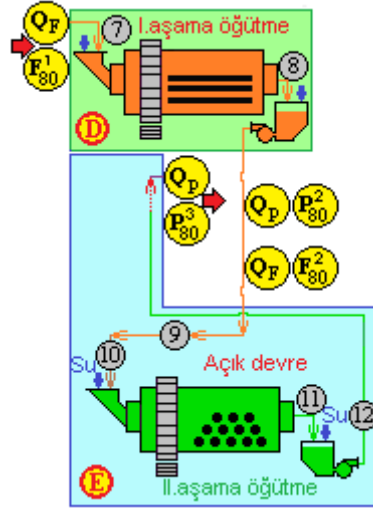


Şekil 15: Kapalı öğütme devresi

Klasik ve ters öğütme devreleri seçiminde çubuklu değirmen çıkışı cevher boyutu, bilyalı değirmen çıkışı istenilen öğütülmüş boyuttaki cevher oranı ve cevherin özelliğine göre seçim yapılmalıdır. Klasik kapalı devrelerde siklon ve pompa aşınmaları daha düşüktür.

Ters kapalı devrelerde çubuklu değirmen çıkışı öğütülmüş cevher içindeki bilyalı değirmen çıkış boyutunda cevher olacağından bu cevher siklonlarda üst akım olarak ayrılmakta, bunun sonucu

da bilyalı değirmen kapasitesi artmaktadır. Ancak ters kapalı devrelerde pompa astarı, pompa fanı ve siklonlarda aşınma daha fazladır. Çünkü çubuklu değirmen çıkışı öğütülmüş cevher boyutu büyük ve köşelidir.



Şekil 16: Açık öğütme devresi

II. aşama değirmen çıkışı cevher boyut olarak olması gerekenden çok küçükse değirmene beslenen cevher miktarı az olabilmektedir. Eğer kapasite tasarı değerlerine uygunsu devrede atıl kapasite söz konusu olabilmektedir. Böyle bir durumda tesiste kapasite artışına gidilebileceği gibi II. aşama öğütme devresinde yapılabilecek yeni bir düzenlemeyle III. aşama öğütme devre dışı bırakılarak istenilen ürün II. aşama öğütme değirmeninden de alınabilecektir.

Çözüm için diğer bir seçenek de değirmen bilya yükünü azaltılarak II. aşama öğütme boyutu istenilen değere yükseltmektir.

II. aşama değirmen çıkışı olması gerekenden daha iri boyutta ise devredeki pülp yoğunluğu kontrol edilmelidir. Pülp yoğunluğu uygun değilse değirmenin girişine ilave edilen, çubuklu değirmen girişi ve başta elekler olmak üzere değirmen öncesi ekipmana verilen su miktarı ile pülp yoğunluğu ayarlanmalıdır.

Pülp yoğunluğunun uygun olması durumunda değirmen öğütmüyorsa öğütücü bilya miktarı kontrol edilmelidir. Bunu da değirmenin çektiği güçten de anlama olanağı vardır. Eğer öğütücü bilya eksikse ilave edilmelidir.

II. aşama öğütmede de siklon ve pompalardaki aşınma ile doğru seçilmemiş siklonlar öğütmeyi etkilemektedir. Siklonların alt ve üst akımı kontrol edilerek doğru çalışıp çalışmadığı, ayırım yapıp yapmadığı gözlenmelidir.

Bilya miktarı ve pülp yoğunluğu düzeltilmediğinde öğütmeden gerekli sonuç alınamıyorsa, değirmen içindeki astarlar aşınmış, kaldırma özelliğini yitirmiş olabilmektedir. Esasen öğütülen cevher ve değirmenin çalışma saatine bağlı olarak astarlar aşındıysa bakım sırasında değiştirilmeleri için önceden planlanmış olması gerekmektedir.

Çubuklu değirmen çıkışı II.aşama bilyalı değirmene beslenen cevher boyut ve miktarı olması gerekenden büyükse çubuk miktarı yeterli olmayabilmekte ya da değirmen astarları aşınmış olabilmektedir.

Genellikle çubuklu değirmene cevher kuru olarak beslendiğinden öğütme için gerekli su cevher ile birlikte değirmen giriş ağzından verilmektedir. İlave edilen su miktarı daha sonraki öğütme aşamalarında pülp yoğunluğunun ayarlanabilmesi için önemlidir. Bu nedenle çubuklu değirmene gereğinden fazla su ilave edilmemelidir.

Çubuklu değirmene beslenen cevherin elek analizlerinde kayda değer bir değişiklik söz konusu olduğunda büyük olasılıkla kırıcının astarları değiştirilmiş, kırıcı ağız açıklığı daraltmış ya da genişletilmiş, elek açıklıkları yeniden düzenlenmiş olabilmektedir. Zaten bu değişikliklerin biliniyor ve hazırlıklı olunması gerekmektedir.

Çubuklu değirmende kontrol edilemeyeceği durum değirmene öğütmek için gerektiğinden daha iri boyutta cevher beslenmesidir. Sorunu cevher miktarını düşürerek bir noktaya kadar çözmek mümkündür. Böyle bir durumda da tesis kapasitesi düşeceğinden istenmeyecektir. Bunun yerine kırıcı çıkışı ve eleme devrelerinde iyileştirme yapılması daha uygundur. Kırma devresine yeni bir kırıcı eklemek de soruna çözüm olabilecektir. Çünkü çubuklu değirmene öğütmek için gönderilecek cevher boyutu düştükçe değirmen kapasitesi artacaktır.

Deneyimli bir mühendis yerçekimi yönteminin uygulandığı, deri ile temas ettiğinde zarar vermeyecek krom, demir cevheri zenginleştirme tesislerinde parmak uçlarıyla öğütülmüş cevher boyutu hakkında bir fikir edinebilmelidir. Ancak öğütme öncesi ve öğütme devrelerinde değişik kimyasalların kullanıldığı ya da deriyle temas ettiğinde zarar verecek cevherin zenginleştirildiği tesislerde öğütülmüş cevheri çıplak elle ya da elin parmak uçlarıyla kontrol etmek insan sağlığı açısından tehlikeli ve sakıncalıdır.

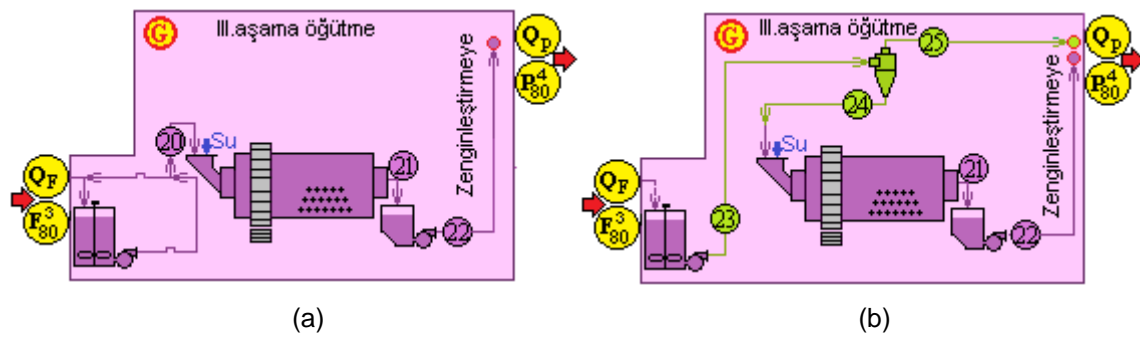
6.2 III.aşama öğütme değirmenleri

Bu bölümde Şekil 1'deki akım şemasında oluşturulabilecek III.aşama öğütme devreleri gösterilmiştir. Kuşkusuz akım şemasında amaç istenilen boyutta cevher üretmektir.

III.aşama öğütmeye beslenen cevher genellikle II.aşama öğütmede siklon üst akımı olup önce tanka gönderilmesinde fayda vardır. Tank III.aşama değirmenlere besleme sürekliliği sağlarken aynı zamanda tankla stoklama ve nispeten homojenleştirme işlemi de gerçekleşmektedir.

III.aşama öğütmenin amacı, cevherin serbestleşme boyutuna, ön zenginleştirilmiş cevher konsantresi ya da ara ürünün serbestleşme boyutuna, büyük boyutta serbestleşen ön zenginleştirilmiş cevherin daha küçük boyutta, bazı konsantrelerin peletlenmesi gibi bir sonraki işlem için daha ince boyutta öğütme olabilmektedir.

III.aşama öğütmede açık ve kapalı devre olarak iki temel devre hazırlanabilmektedir.



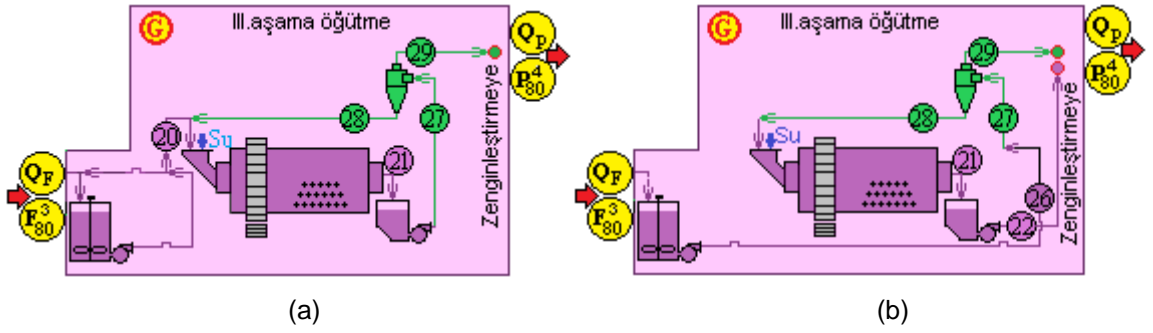
Şekil 17: III.aşama açık öğütme devreleri

III.aşama öğütme genellikle Şekil 17(a)daki gibi açık devre yapılmaktadır. Devrede herhangi bir sınıflandırıcı yoktur. II.aşama öğütmeden gelen cevher doğrudan değirmene verilmekte, cevher uygun boyuta öğütülmüş olarak değirmenden çıkmaktadır. Bu devrede III.aşama değirmende bilya yükünün tam olması için değirmen gücünün sürekli takip edilmesi, bilyanın zamanında, bir defada değil sürekli yüklenmesi, astarların aşınmış olmaması, değirmen devrinin doğru olması gerekmektedir.

Şekil 17(b)'de de diğer bir açık devre gösterilmiştir. Bu devrede II.aşama değirmenden gelen cevher siklona gönderilmekte, siklonunun üst akımı III.aşamada amaçlanan boyuttaki cevher devreden alınarak iri boyuttaki cevher III.aşama değirmene gönderilmektedir. Değirmen çıkışı da herhangi bir siklona gönderilmeden ürün olarak alınmaktadır. Bu seçenekte öğütme devresinin kapasitesi yüksektir.

Genellikle III.aşamada öğütmede 20-25 mm boyutunda bilya/silpeps kullanıldığından çoğu zaman öğütücü boyutunda sorun yaşanmamaktadır.

Şekil 18'deki açık III.aşama öğütme kapalı devre yapılmaktadır.

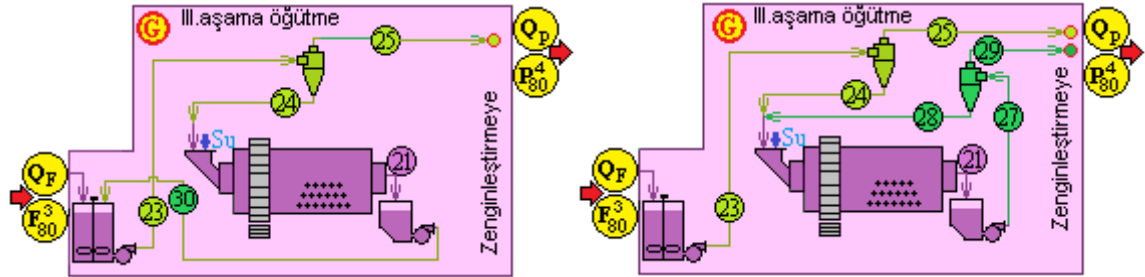


Şekil 18: Kapalı devreler

Şekil 18(a)'de II. aşama öğütmeden gelen cevher önce değirmene sonra sınıflandırıcıya, sınıflandırıcı alt akımı değirmene, Şekil 18(b)'de cevher önce siklona siklon alt akımı değirmene gönderilmektedir. Bu devrelerden ilki klasik kapalı devre ikincisi ters kapalı devre olarak bilinmektedir. Ters kapalı devrede siklona beslenen cevher devreye yeni giren cevher ile değirmen çıkışı pompa havuzunda karışmaktadır.

Bu devrelere ilava olarak başka III. aşama öğütme devreleri de oluşturulabilmektedir. Örneğin Şekil 19'daki devrede kapalı devrede siklona basılan cevher değirmen çıkışı ile devreye yeni giren cevher giriş tankında karıştırılmaktadır.

Şekil 19'da devrede sınıflandırıcı olarak II. aşama öğütmeden gelen cevher ve III. aşama değirmen çıkışı için iki ayrı siklon grubu kullanılmıştır.



Şekil 18: Ters kapalı devre

Şekil 19: İki siklon gruplu devre

Bu akım şemasında II. aşama öğütme devresinden gelen öğütülmüş cevher açık devre çalışan ilk siklona beslenmekte, siklon üst akımı devreden alınırken alt akım değirmene gönderilmektedir. Değirmen çıkışı da kapalı devre çalışan ikinci siklona gönderilmekte, siklon alt akımı değirmene geri dönerken üst akım devreden alınmaktadır. Siklon boyutları ayarlanarak bu devreden iki ayrı boyutta öğütülmüş cevher de alınabileceği olanağı vardır.

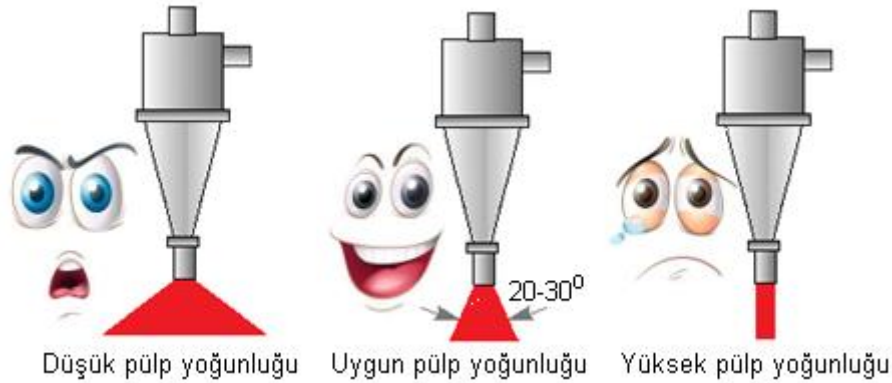
7. Sonuç

III.aşama öğütme devresi sonunda cevher amaçlanan boyuta öğütülememesi durumunda ilk olarak II.aşama öğütmeden devreye uygun boyutta cevherin beslenip beslenmediği kontrol edilmelidir. Beslenen cevher boyut olarak uygunsa çözülmesi gereken sorun III.aşama öğütme devresindedir.

III.aşama öğütme değirmenlerine II. öğütme devresi siklon üst akımı gönderilmektedir. Bu nedenle III. aşama değirmen yoğunluğu ayarlama olanağı sınırlıdır. Ancak siklon üst akımı yoğunsa, III.aşama değirmendeki pülp yoğunluğu su ilavesiyle düşürülebilmektedir.

III.aşama değirmenlerde pülp yoğunluğu çok düşük olmadıkça, bilya yükü yakından takip edildiği sürece açık devre yapılan ince öğütmede sorun yaşanmamaktadır.

III.aşama öğütmenin kapalı devre olması durumunda siklonların etkin çalışıp çalışmadığı, doğru ayırıp yapıp yapmadığı elek analizlerinden izlenmelidir. Siklonlar etkin çalışmıyorsa bunun nedenleri yanlış siklon seçimi, çalışan siklon sayısı, siklondaki aşınmalar, pompa fanındaki aşınma nedeniyle pülpün siklona gerekli basınçta beslenmemesi olabilmektedir.



Şekil 20: Siklonun alt akımı

Bu devrede yaşanabilecek en önemli sorun bir önceki devreden olması gerektiğinden daha büyük boyutta öğütülmüş cevherin III.aşama öğütme devresine beslenmesidir. Bu boyut olması gereken sınırların çok dışında değilse III.aşama öğütme devresinde boyutla ilgili yaşanabilecek sorunu bilya yükü, pülp yoğunluğu ve siklonlarla oynayarak çözüme olanağı vardır. Aksi durumda boyutla ilgili sorunları belirlemek için önceki öğütme devrelerine gitmek gerekmektedir.