

PROSES KONTROLÜ VE ÖĞÜTME DEVRELERİNDE UYGULANMASI"

Process Control and Applications in Grinding Circuits

Necati YILDIZ (*)

Anahtar Sözcükler: Proses kontrol, öğütme, değirmen,

ÖZET

Yazıda cevher hazırlama tesislerinde proses kontrolünden bahsedilmiş, öğütme devrelerinde proses kontrolünün gerekliliği vurgulanmış, bu kontrolün esasları anlatılmıştır. Konu ile ilgili olarak örnekler verilmiştir.

ABSTRACT

In the paper, the process control in mineral processing plants and its application for grinding circuits are explained. The examples are given for parameters to be controlled and the relation between these parameters.

* Maden Yük.Müh., Maden İşleri Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Bilgisayar günümüzde yaşamın bir parçası haline gelmiştir. Cevher hazırlama tesislerinde proses kontrolü artık kontrol odalarından bilgisayar monitörü ve klavyesi ile yapılmaktadır. Proses kontrolü gelişen elektronik ve bilgisayar teknolojisini çok yakından takip etmektedir. Yeni üretilen hızlı ve hassas ölçüm cihazları, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle birlikte proses kontrolünde yerini almaktadır. Teknolojiler ile birlikte proses kontrol sistemlerinde de yeni kontrol stratejileri geliştirilmektedir.

2. CEVHER HAZIRLAMA TESİSLERİNDE PROSES KONTROLÜ

2.1. Tesislerde Proses Kontrolünün Gerekliliği

Tesislerde cevher akışında lineer bir süreklilik sağlanması, prosesin yakından takibi, kontrolü ve gerektiğinde müdahale edilmesi ile mümkündür. Proses kontrolü, tesislerin kapasite ve verimliliklerini doğrudan etkilediği gibi, düşük işletme ve bakım maliyeti, tesisin kesiksiz çalışması, homojen bir üretimin sağlanması açısından da önem taşımaktadır.

Tesislerde proses kontrolünün gerekliliği şu şekilde sıralanabilir (Horst, 1980):

1. Değişken olmayan fiziksel ve kimyasal özellik taşıyan son ürün elde etmek.
2. Belirli özelliklerde son ürün elde etmek.
3. İşletme süresinde kayıpları önlemek, kazanımı yüksek seviyede tutmak.
4. Tesisin işletmesinde belirli bir esneklik sağlamak.

5. Prosesde kullanılan kimyasal madde (reaktif v.s.) ilavelerini optimum seviyede tutmak.
6. Tesisteki proses makinalarını korumak.
7. Tesis maliyetlerini optimize etmek.

Kontrol sistemlerinin cevher hazırlama tesislerinde uygulanması ile klasik sistemler karşılaştırıldığında verimlilikte kırma devrelerinde % 10, öğütme devrelerinde % 6-10, flotasyon devrelerinde % 5 seviyelerinde artışlar sağlanmıştır.

2.2. Proses Kontrol Sistemleri

Cevher hazırlama tesislerinde proses kontrolü 1950-60 yılları arasında kullanılmaya başlanmıştır. Daha önceki yıllarda kimya sektöründe başarı ile uygulanan proses kontrolü cevher hazırlama tesisleri için örnek alınmıştır. Bu tarihten sonra akış ölçer, yoğunluk ölçer, basınç ölçer gibi ölçüm cihazları tesislerde proses kontrolü amacı ile kullanılmaya başlanmıştır. 1960 yılları başlarında klasik kontrol teorisi oluşturulmuştur. 1960-70 yılları arasında tane boyutu, kütle akışı, kimyasal yapı gibi proses değerlerinin de ölçülmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. 1970-80 yılları arasında ölçüm cihazlarının yamsıra proses analizler için yeni matematik modeller geliştirilmiş ve dijital bilgisayarlar içi kontrol stratejileri oluşturulmuştur. 1980 sonrası yıllarda bilgisayar donanım, yazılım ve elektronik alanlarındaki hızlı gelişmeye paralel olarak proses kontrol uygulamalarında da önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

Proses kontrol sistemlerinin sınıflandırılması ve özellikleri ile ilgili bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir (Sevdala ArbraAB, 1991).

Çizelge 1. Kontrol Sistemleri ve Karşılaştırılması

Karşılaştırma Parametreleri	Kontrol Sistemleri		
	Röle Sistemi	PC Sistemi	Bilgisayar Sistemi
Ufak tesislere uygunluğu	UYGUN	BAZEN UYGUN	UYGUN DEGİL
Büyük tesislere uygunluğu	UYGUN DEGİL	UYGUN	UYGUN
Değişik işletme koşullarına uyg.	UYGUN DEGİL	UYGUN	UYGUN
Eğitilmiş personel gerekliliği	GEREKMEZ	ÇOĞU ZAMAN GEREKLİ	GEREKLİ
İlk yatırım maliyeti	DÜŞÜK	DUŞUK DEGİL	YÜKSEK
İşletme maliyeti	YÜKSEK	DÜŞÜK	DÜŞÜK
Yedek parça gereksinimi	ÇOK UCUZ	AZ, FAZLA PAHALI DEĞİL	AZ, ÇOK PAHALI

Röleli sistemler genellikle küçük tesislerde kullanılırlar. Büyük kontrol odaları gerektirmesine karşın bugün hala kullanılabilirliğini korumaktadırlar.

Küçük tesislerde ve lokal kontrol devrelerinde ufak kişisel bilgisayarlar kullanılırken büyük tesislerin belirli bölümlerinde de kişisel bilgisayarlardan yararlanılabilir. Günümüzde büyük tesislerin proses kontrolü için en uygun olanı bilgisayar kontrol sistemleridir. Tesislerde yapılan ölçümler seçilmiş kontrol stratejilerinde matematiksel modellerle proses kontrol sistemlerinde kullanılmaktadır.

2.3. Proses Parametreleri

Cevher hazırlama tesislerinde önemli proses kontrol parametreleri ve kullanılan kısaltmaları Çizelge 2'de verilmiştir (Bhappu, 1978). Proses

kontrolunda kullanılan bazı kontrol sistemleri kısaltmaları da şunlardır:

DIC	Yoğunluk, gösterge, kontrol
FIC	Akış, gösterge, kontrol
LIC	Seviye, gösterge, kontrol
WIC	Ağırlık, gösterge, kontrol
FFIC	Oransal kontrol
"X"Y	Gecikmeli kontrol

Örneğin; LIRCHLAS şeklindeki ifade edilmiş bir kontrol sisteminde, belirlenen seviye ölçülür (bunker, pompa havuzu vs.), ölçülen seviye kontrol odasında göstergeden sürekli olarak takip edilerek kayıt edilir. Ölçülen bu seviye, bağlantılı olduğu sistemi kontrol eder, seviye yüksek veya alçak olduğundan alarm verilir ve ayarlanmış sınırların dışına çıktığında sistem (bant, pompa, değirmen vs.) durur.

Çizelge 2. Proses Kontrol Parametre ve Cihaz Fonksiyon Sembolleri

Sembol	Anlamı
A	Analiz, sınır bilgi alarm
B	Brülör alevi
C	İletkenlik, otomatik kontrol
D	Yoğunluk, differential
E	Voltaj
F	Akış, oran
G	Mesafe, boyut
H	Manuel, yüksek seviye
I	Akım, gösterge
J	Güç
K	Zaman
L	Seviye, düşük seviye, ışık
M	Nem, kütle, monitör
N	- .
O	Optik sistem, orifice
P	Basınç, vakum, nokta
Q	Miktar
R	Radyoaktif, kayıt yapma
S	Hız, frekans, stop, switch
T	Isı, trasmitter
U	Çok değişkenli, çok fonksiyonlu
V	Vizkozite, vana, klape, değişken
W	Ağırlık, kuvvet
X	-
Y	Röle, hesaplama
Z	Pozisyon
PH	pH değeri
PS	Boyut dağılımı
SP	Ayar değeri
DP	Differential basınç
PV	Proses değişkenleri

Kontrol devrelerinde proses parametreleri ve bu parametrelerin bağlı olduğu değişkenler Çizelge 3'de, ölçülmesi gerekli parametreler ve ölçüm cihazları da Çizelge 4'de verilmiştir (Herbst, Bascur, 1980).

2.4. Ölçüm Cihazları Çalışma Prensipleri

Cevher hazırlama tesislerinde kullanılan bazı ölçüm cihazlarının çalışma prensipleri şu şekildedir:

Sonik sensör seviye ölçüm cihazları: Bu cihazlar genellikle pomza havuzu ve tankdaki su veya pülp gibi sıvıların seviye ölçümünde kullanılır. Ölçüm

Çizelge 3. Proses Parametreleri ve Değişkenler

Proses Parametreleri	Değişkenler
Kırma Devresi:	
Üretim boyutu Devreden yük Kırıcı gücü Bunker seviyesi Kırıcı seviyesi	Besleme miktarı Kırıcı boğazı ayarı Eleme
Öğütme Devresi:	
Üretim boyutu Pompa havuz sev. Devreden yük Katı %'si	Pompa havuz seviyesi Besleme miktarı Pompa hızı Pülpteki katı %'si Değirmen hızı
Flotasyon Devresi:	
Kazanım Tenor Köpük seviyesi % katı	Hava kabarcığı Karıştırıcı hızı Pülp seviyesi Reaktifler Köpük yapıcılar Toplayıcılar Bastırıcılar

sistemi yüksek frekanslı ses dalgası üreten kaynağın dalga üretme ve üretilen bu dalganın sıvı yüzeyinden yansıması arasındaki zamanın bir sinyale dönüştürülmesi. esasına dayanır. Bu sinyaller de pompa havuzu veya tank seviyesinin kontrolü (motorlu bir vananın açılıp kapanması, pompa devir hazinin ayarlanması, bir vananın kapatılıp diğerinin açılması vs.), kayıt edilmesi, ışıklı göstergeye dönüştürülmesi gibi değişik amaçlar için kullanılır.

Radyoaktif seviye ölçer: Bu ölçme cihazı radioisotop kaynak, algılayıcı ve çeviriciden oluşmuştur. Cihaz katı veya sıvı malzemelerin bunker, tank gibi depolandığı yerlerdeki seviyelerinin ölçümünde kullanılır. Radioisotop kaynağın gönderdiği ışınların önünde herhangi bir engel yok ise bu ışınlar algılayıcı tarafından alınır ve çeviriciye

gönderilir. Çevirici bu ışınları sinyallere dönüştürür. Sinyaller de proses kontrolü içinde kullanılan bilgilere çevrilir.

Boyut analizörü: Boyut analizörü proses devrelerindeki boyut dağılımının ölçümünde kullanılır. Bu amaç ile çok değişik cihazlar geliştirilmiştir. Cihazların genel çalışma prensibi, analizördeki ayırıcının pülpteki boyut dağılımını ölçmesi ve ölçümlerin sinyallere dönüştürülmesi esasına dayanır. Bu sinyaller de proses kontrolünde kullanılır.

Radyoaktif yoğunluk ölçer: Sistem radyoaktif ışın kaynağı, iyon algılayıcı ve çeviriciden oluşmuştur. Cihazın doğru ölçüm yapılabilmesi için pülpün aktığı borunun sürekli olarak dolu olması gerekmektedir. Bunun için cihaz genellikle boru hatlarının .düşey

Çizelge 4. Cevher Hazırlama Tesislerinde Ölçülmesi Gerekli Parametreler ve Ölçüm Cihazları

Parametre	Ölçüm Cihazları	Proses Devresi
Hava kabarcığı	Manyetik rotometre Orifis metre Türbin	Flotasyon
Kırıcı ve Değirmen Gücü	Wattmetre Torkmetre	Kırma, Öğütme
Bunker seviyesi	Sonik sensör Radyoaktif sev. Ölçer Tiltswich	Kırma, Eleme, Besleme sistemi
Cevher miktarı	Kantar	Kırma, Öğütme, Eleme
Flotasyon hücre seviyesi	Kabarcık tüpü Şamandra İletken switch	Flotasyon
Köpük seviyesi	Kapasidans elektrodu İletken elektrod	Flotasyon
Değirmen yükü	Yük hücresi Wattmetre Torkmetre Sonikmetre	Öğütme
Kimyasal analiz	X-ray analizörü Netron-aktive an.	Flotasyon
Boyut	Boyut monitörü Boyut analizörü	Kırma, Öğütme' Flotasyon
pH	Elektrot Kondakdivite	Flotasyon Susuzlandırma Pülp nakli
Basınç	Yük hücresi Manometre	Pülp nakli
Pülp yoğunluğu	Radyoaktif yoğ. ölçer Utüpü Yük hücresi Basınç hücresi	Öğütme, Flotasyon, pülp nakli
Pülp seviyesi	Soniksensör Şamandıra Elektrot	Öğütme, Flotasyon, pülp nakli

kısımlarına yerleştirilir, ölçüm, değişik pülp yoğunluklarında pülp içinden geçen ışınların değişik seviyelerde algılanması ve siyale dönüştürülmesi esasına dayanır.

Manyetik akış ölçer: Kirli, yoğun, aşındırıcı gibi ölçülmesi zor pülplerin debilerinin ölçümünde kullanılır. Manyetik akış ölçerinin kullanılması için pülp iletkenliği en az 2 mikroohm olmalıdır. Akış ölçerinin yerleştirildiği boru içinde pülpün dolu olarak akması gereklidir. Boru içinden akan malzeme (iletken malzeme) ile cihazın manyetik

bobininin oluşturduğu ölçülebilir seviyedeki voltaj bir elektrot tarafından algılanıp, akış hızı ile orantılı sinyallere dönüştürülür. Bu sinyaller de proses kontrol sistemi içinde kullanılır.

Proses kontroiunda, akış ölçer ile yoğunluk ölçerinin beraberce kullanılarak sistemden birim zamanda geçen kütle akışının belirlenmesi çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.5. Proses Kontrol Döngüleri

Kontrol sistemleri ile kesintilerin önlenmesi, sistemin dengelenmesi ve optimize edilmesi amaçlanır. Bu amaçlarla uygulamada geri besleme veya kapalı kontrol devreleri çok yaygın olarak kullanılır. PID (Proportional Integral Derivation) kontrol algoritması ölçü değeri ile ayar değeri arasındaki saptamanın "0" seviyesine indirilmesi mantığını taşır.

Tesislerde durmuş proses devresinin tekrar çalıştırılmasında ilk ölçüden proses değerleri genellikle "0" veya belirsizdir. Böyle durumlarda ölçülen değer ayar değerine PID algoritması ile ulaşılması oldukça zordur. Böyle durumlarda PI kontrol algoritması kullanılır.

Kontrol sistemlerinde ayar noktaları genellikle el ile ayarlanır. Çoğu zaman bu noktanın sistem üzerinde otomatik olarak ayarlanması istenir. Bu ayar için denetleyici veya kademeli kontrol sistemlerinde geri besleme devreleri kullanılır.

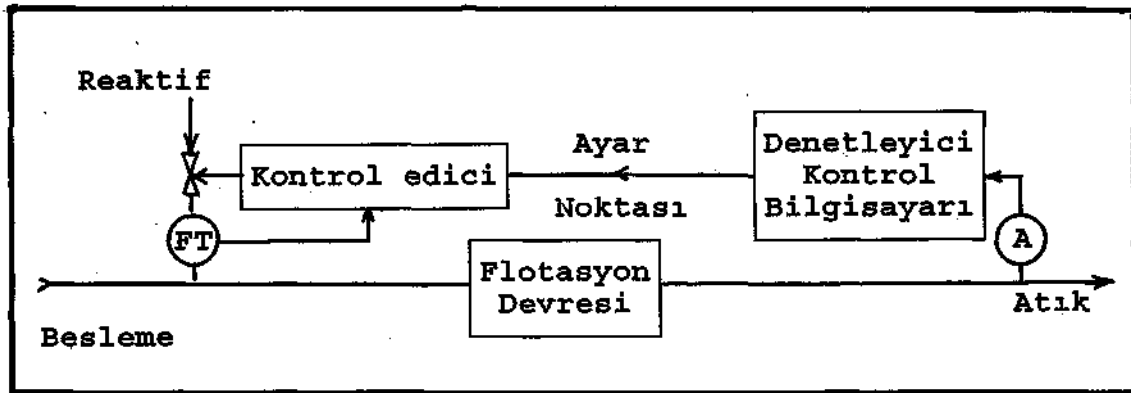
Tesislerde kullanılan proses kontrol döngülerini değişik gruplar altında toplamak mümkündür (Bhappu, 1978):

Geri Beslemeli Kontrol: Sistemdeki ölçüm noktalarından alınan sinyaller ile belirlenmiş değerler arasındaki sapmalar, devredeki kontrol cihazlarını yönlendirir. Örnek olarak bant üzerine monte edilmiş bir kantar ile, bantı besleyen titreşimli besleyiciler arasındaki ilişki verilebilir. Bant kantarı belirli bir değere ayarlandıktan sonra bu ayar noktası ile üzerinden geçen malzeme miktarı arasındaki sapmanın "0" seviyesinde kalması için, kantar besleyicinin titreşimini sürekli kontrol altında tutar.

Şekil 1'de geri beslemeli bir sistem gösterilmiştir.

Kademeli Kontrol: Kontrol sisteminde iki geri beslemeli kontrol sistemi yan yana getirilmiştir. İlk kontrol sisteminin çıkış değeri ikinci kontrol sisteminin belirleyici değerini oluşturur.

Oransal Kontrol: Bu kontrol sisteminde kontrol çıkış değeri bir sabit ile çarpılarak geri kontrol sisteminin belirleyici değeri tesbit edilir.



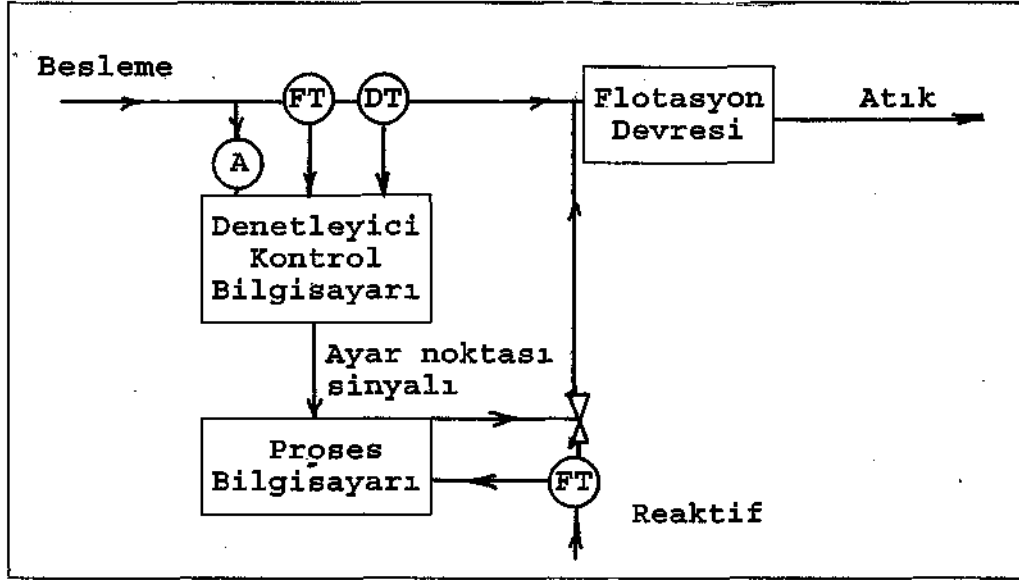
Şekil 1. Denetleyici kontrollü geri beslemeli devre

İleri Beslemeli Kontrol: Oransal kontrol sistemi ileri kontrol sisteminin basit bir şeklidir. Daha önce belirlenmiş bir fonksiyonun sistemden alınan ölçümler ile hesaplanan değerleri, geri kontrol sisteminin belirleyici değerlendirdir. Şekil 2'de ileri beslemeli bir kontrol devresi gösterilmiştir.

gerekli reaktif otomatik olarak flotasyon devresine beslenir.

2.6. İleri Kontrol Sistemleri

Cevher hazırlama tesislerinde birkaç değişkenin yaklaşık değerleri ölçülebilir. Hassas ölçüm cihazları olm? sürece ölçülen değerler doğru da olmayabilir. Bazen hassas cihazlar olmasına karşın



Şekil 2. İleri beslemeli kontrol devresi

Uyarlamak Kontrol: Kontrol sistemi için kullanılan matematik fonksiyonların sabit parametreleri vardır, bu fonksiyon parametreleri proses mühendislerince gerektiğinde güncelleştirilebilir.

İleri-Geri Beslemeli Kontrol: Bu kontrol sistemi ile ilgili basit bir örnek Şekil 3 'te verilmiştir.

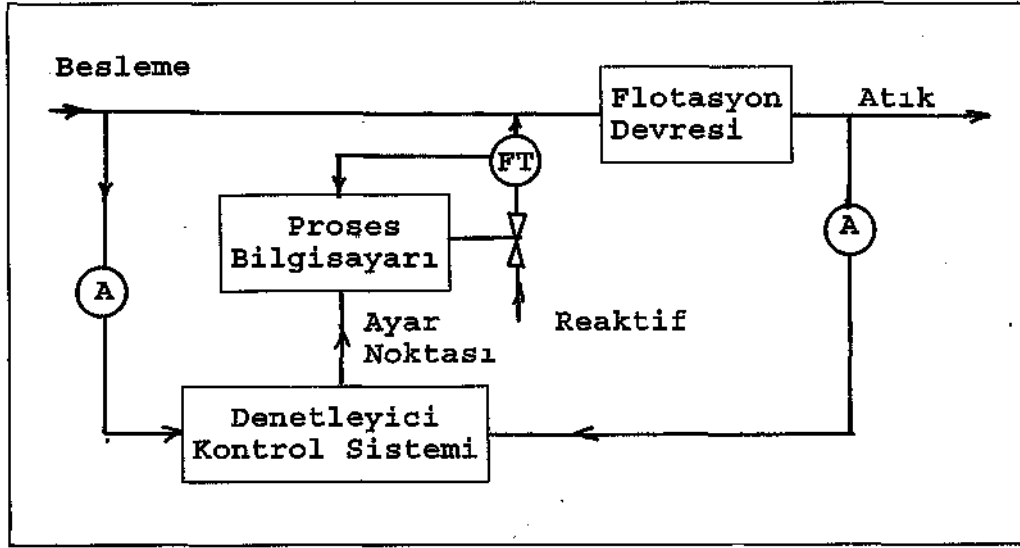
Şekildeki kontrol sistemi, atık tenorunu optimum değerde tutmak için gerekli reaktif miktarının ayarlanması için kullanılır. Sistemde beslenen cevher tenörü kullanılarak olması gerekli atık tenörü matematiksel bir algoritma ile hesaplanır. Hesaplanan ile ölçülen atık tenörü arasındaki farkın kapandığı değer ayar değeri olarak belirlenir ve

ölçüm hataları da yapılabilir. Ölçüm hataları, değişkenler arasındaki lineer olmayan ilişkiler, veri ve sonuç arasındaki kurulamayan bağlantılar proses kontrolünde sorun yaratabilir. Böyle bir durumda operatörün prosesi kontrol altında tutarak yönlendirmesi mümkündür. Operatör birkaç deneme-yanılma ile prosteki değişkenlerin birbiri ile ilişkisini kolayca kurabilir. Operatörün sezgi yolu ile prosesi bu şekilde yönlendirmesi mümkündür. Operatör birkaç deneme-yanılma ile prosteki değişkenlerin birbiri ile ilişkisini kolayca kurabilir. Sezgi yolu ile prosesi bu şekilde yönlendirmesi "Standart Fuzzy Mantık Teorisi" olarak isimlendirilir. Bu yöntemde mantıksal olarak yapılan denemeler ve sonuçları iyi gözlenmeli, ne yapıldığında sonucun ne olacağı tahmin edilebilmeli

olarak yapılan denemeler ve sonuçları ıy gözlenmeli, ne yapıldığında sonucun ne olacağı tahmin edilebilmeli sonuca bu şekilde gidilmelidir. Standart Fuzzy yönteminin başka bir uygulaması 'Fuzzy Kendiliğinden Kontrol' sistemidir. Bu sistemde ölçülen değişken ayar değeri arasında bir farklılık var ise değişken ayar değerine otomatik olarak kendiliğinden ulaşmaya çalışır.

aç" anlaşılır bir ifade olup, uygulaması da kolaydır. Uzman sistemler operatörü bu gibi bilgiler ile yönlendirir.

Uzman sistemdeki en önemli soiuun operatörlerin tesis akıcını etkileyebilecek bir anda ilgisiz ve kararsız kalmalarıdır. Operatör tesisteki proses akışını ve geleceğini görebilmelidir. Sistem bilgiye ve

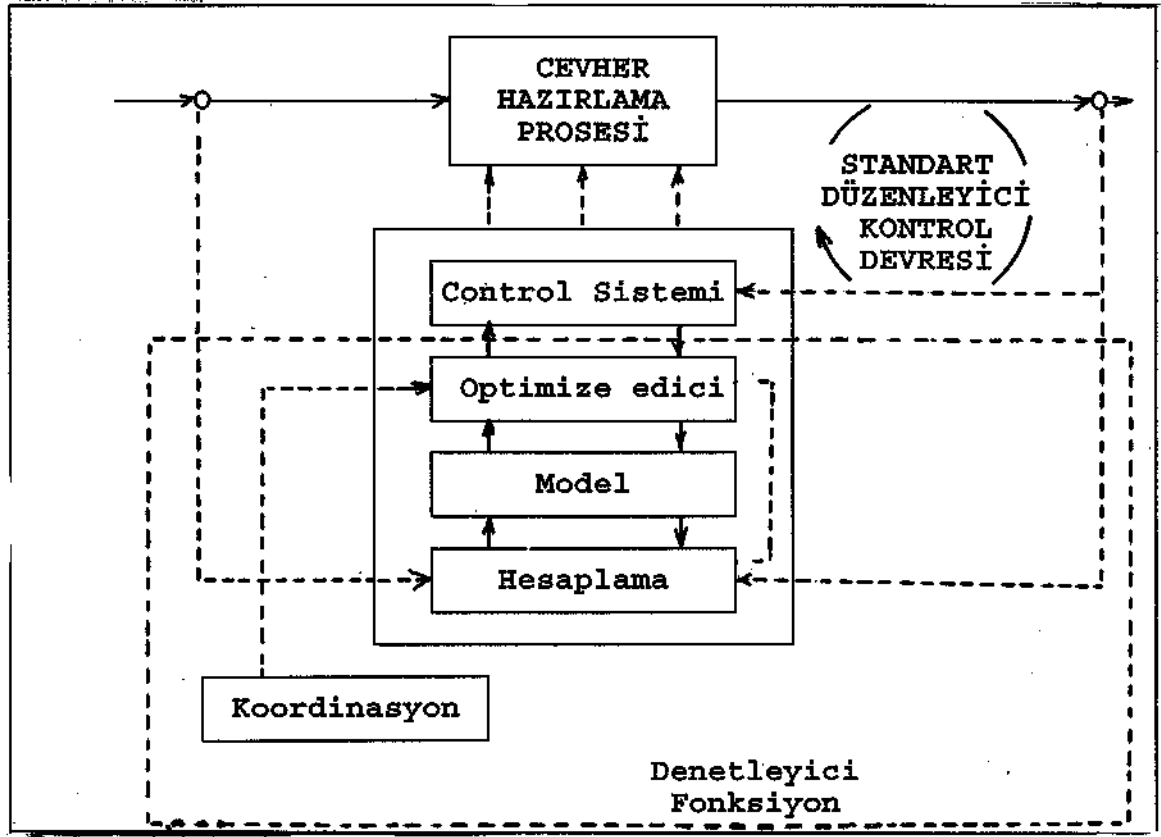


Şekil 3. İleri-geri beslemeli kontrol devresi

Uzman kontrol sistemleri bilgi kaynağına inerek prostesten sonuç çıkartıp, kullanıcıyı yönlendirici bilgiler sağlar. Klasik sistemlerde ölçülen parametreler doğrudan proses parametrelerine dönüştürülür. Klasik sistemlerde parametreler veri olarak kullanılarak hazırlanmış programlar ile tek çözümlü tek sonuca varılır. Buna karşılık uzman sistemler karşılaştırılmalı sonuçlar veren bir mantığa dayanır. Böylece kontrol stratejisini anlamak ve değiştirmek daha kolay bir şekilde girer. Örneğin; "tanktaki pülp sıcaklığı 80 derece ise soğutucu vanasını % 10 daha

tecrübeye dayalı kuralların kararlılıkla uygulanmasını gerektirir. Ayrıca uzran sistemler yeni bir operatörün yetiştirilmesi için çok uygundur.

Uzman sisteminin uygulanması için özel programlar da geliştirilmiştir. Bu kontrol sisteminin uygulanması ile bilyalı değirmen devrelerinde klasik sistem ile karşılaştırıldığında enerji tüketiminde % 7 seviyelerinde tasarruf, üretimde de % 10 artış sağlanmıştır.



Şekil 4. İModele dayalı kontrol sistemi

Modele dayalı kontrol sistemi Şekil 4'te şematik olarak gösterilmiştir.

1. Kontrol Sistemi: Ayar değerlerini ve kontrol devrelerini taşır.

2. Optimize Edici: Verileri değerlendirerek mevcut sistem içinde optimum proses değerlerini tesbit eder.

3. Proses modeli: Proses hattında kontrol için gerekli hesaplamaları yeterli güvenilirlikte hızlı olarak hesaplanmasında kullanılır.

4. Hesaplama: Proses kontrolü ile ilgili yapılan ölçümleri toplayıp her an kullanılacak değişmelere kolayca uyum sağlayabilir.

3. ÖGÜTME DEVRELERİNDE PROSES KONTROLÜ

3.1. Öğütme Devrelerinde Proses Kontrolünün Gerekliği:

Öğütme devrelerinde proses makinaları olarak değirmenler, sınıflandırıcılar (elekler, siklonlar vs.) ve pompalar kullanılmaktadır. Bu devreler prosesin şekline göre açık veya kapalı olabilir.

Öğütme devrelerinde proses kontrolü:

1. Yüksek kapasite,
2. Bir sonraki proses için sürekli ve uygun boyut dağılımlı ürün eldesi,
3. Düşük işletme ve bakım maliyeti,

4.Öğütme devresinin kesintisiz çalışması için gereklidir (Horst 1980).

3.2. Öğütme Devrelerinde Prosesi Etkileyen Faktörler

Öğütme devrelerinde sürekliliği etkileyen faktörler şunlardır:

1. Sisteme giren cevherin sertliği, boyut dağılımı, kimyasal yapısı ve miktarı gibi bazı özelliklerinin değişmesi.
2. Sistemdeki su dengesinin bozulması.
3. Siklona beslenen pülpün basıncı, yoğunluğu, debisi gibi özelliklerin değişmesi.
4. Sistemde mekanik bloklanmaların (tıkanmalar) olması.
5. Paralel sistemlerde dağıtıcıda malzeme bölünmesinin eşit olmaması.
6. Değirmen astarlarında ve pompalardaki aşınmalar.
7. Pompalarda meydana gelen dalgalanmalar.
8. Elektrik sistemindeki arızalar.
9. Tesisteki toz toplama ve yıkanması sonucu devreye ilave olan su ve cevher.

3.3. Öğütme Devrelerinde Proses Kontrol Parametreleri

Öğütme devrelerinde cevherin, öğütme sonrası belirli bir boyuta indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu devrelerde proses kontrolü için cevherin ağırlığı, bunker veya pompa havuz seviyesi, pülp akışı, değirmen elektrik motorunun gücü, pülp yoğunluğu, pülpün basıncı, ürünün boyut dağılımı ve genellikle otojen değirmenlerde değirmenin sesi sürekli olarak ölçülüp kayıt edilmektedir. Bu ölçümler sonucu cevher besleme sistemlerinin hızları, pompa dönüş

hızları, vana pozisyonları, siklon apex çapları gibi prosesi yönlendiren parametreler kontrol edilir. Bu kontroller;

- a.Manuel,
- b. Analog bilgisayar,
- c.Digital bilgisayar ya da,
- d. Manuel-analog-digital bilgisayarın beraberce kullanımı ile gerçekleştirilebilir.

Tesislerde kurulacak kontrol sistemi; prosesin akışına, üretimden istenilen ve kullanılan makinaların özelliklerine göre boyut, yoğunluk, kapasite veya güç ağırlıklı seçilebilir.

Öğütme devreleri proses kontrolunda kullanılan parametreler ve ölçülen değerler şunlardır (Amdel, 1991):

Birinci derece önemli parametreler:

- Beslenen cevher miktarı
- Değirmene verilen su miktarı
- Pompa havuzuna ilave edilen su miktarı
- Pompa havuzu su seviyesi
- Değirmenin çektiği güç
- Siklona beslenen pülp miktarı
- Siklona beslenen pülp yoğunluğu
- Siklona beslenen pülp basıncı

İkinci derece önemli parametreler:

- Siklon besleme pompası amperi
- Siklon besleme pompası devri
- Siklon üst akımı boyut dağılımı

Kontrol parametreleri:

- Besleme miktarı
- Değirmene su ilavesi
- Pompa havuzuna su ilavesi
- Siklon besleme pompası hızı

Kontrol edilen parametreler:

Ürün boyutu
Pompa havuzu su seviyesi
Devreden yük
Pülp yoğunluğu

Çizelge 5'te öğütme devrelerinde kontrol edilebilir değişkenler arası ilişkiler ve tepki hızları verilmiştir (Herbst, Bascur 1980).

Öğütme devrelerinde proses kontrolü için öncelikle kontrol sisteminin belirlenmesi gereklidir. Öğütme sonrası üründen istenilen özellik kontrol sisteminde en önemli belirleyici olmaktadır. Kontrol sistemi belirlendikten sonra yoğunluk, pH, s. uç vs. gibi prosesi yönlendirecek parametreler ve bu parametrelerin ölçüm yerleri tesbit edilmelidir.

Çizelge 5. Öğütme Devrelerinde Kontrol Edilebilir Değişkenler Arası İlişkiler Ve Tepki Hızları

Kontrol Edilebilir Değişkenler	Malzeme İnceliği	Devreden Yük	Pompa Ha. Seviyesi	Değirmen içi % ka 1
Pompa havuzuna ilave su oranı	+	+	4 0	yavaş
Beslemedeki katı oranı	yavaş	+	+	yavaş
Siklonla beslenen malzeme	+ -	+	yavaş	hızlı
Beslemeye ilave edilen su oranı	+ -	+	+	hızlı
Değirmen hızı	+ -	- +	yavaş	yavaş

3.4. Öğütme Devrelerinde Proses Kontrolü

Cevher hazırlama tesislerinde prosesi en çok etkileyen parametre boyut dağılımıdır. Ürün kalite sürekliliği için gerekli boyut dağılımı öğütme devrelerindeki proses kontrolü ile yakından ilgilidir.

Öğütme devrelerinde kontrol sistemleri:

- Boyuta dayalı kontrol sistemleri,
- Malzeme miktarına dayalı kontrol sistemleri,
- Güce dayalı kontrol sistemleri,
- Optimize edici kontrol sistemleri olarak sınıflandırılabilir.

Şekil 5'teki öğütme devresi incelendiğinde 25 parametrenin ölçüm noktası görülmektedir. Modern cevher hazırlama tesislerinde bu değerlerin tamamı bir bilgisayarda toplanmakta, seçilmiş proses kontrol sistemi kullanılarak proses yönlendirilmektedir

Şekil 5'teki devreden örnekler verildiğinde; 6. noktadaki pülpün yoğunluğunun 2 gr/cm³ 8. noktaca geçen malzeme miktarının. 125 t/h olması istenmesi durumunda bilgisayar bu noktalarda ölçülen değerleri istenilen değerler ile karşılaştıracak, 2 nolu besleyicinin hızını 3 no.lu kantarcan 125 t/h cevher geçinceye kadar artıracak, 4 no.lu su hattındaki vanayı

kontrol ederek istenilen pülp yoğunluğu sağlanıncaya kadar pülpe su ilave edilecektir. Siklona giren pülpün yoğunluğunun yanısıra basıncının da kontrol edilmesi gereklidir. 17. noktada ölçülen basınç değeri 15. noktadaki pompanın hızı ile ayarlanacaktır.

Buna benzer devrelerde sistemdeki değerlerin belirlenmesinde bazı noktalara dikkat edilmelidir. Örneğin; 16. noktada ölçülen pülp yoğunluğu 6. noktada ölçülen yoğunluktan yüksek olmayacaktır.

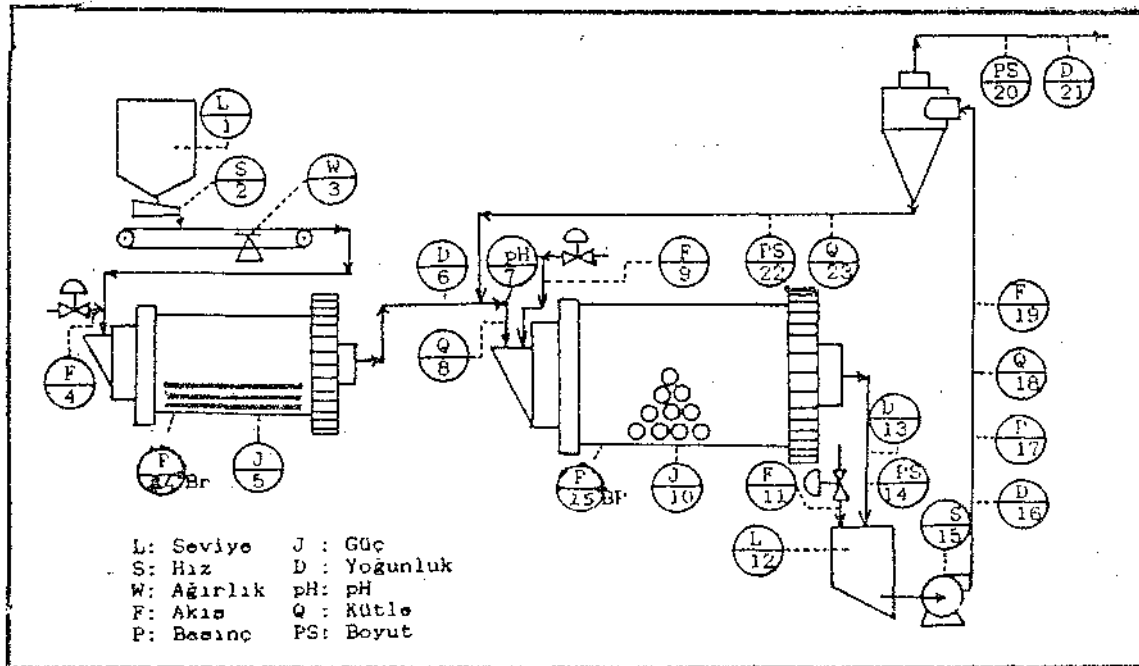
Öğütme devrelerinde siklona gönderilen pülpün yoğunluğunun yanısıra basıncını da kontrol edilmesi oldukça zordur. Siklona gönderilen pülpün yoğunluğu siklon pompa havuzuna verilen suyun debisi ile ayarlanabilir. Pülp basıncı ise pompa hızı (debisi) ile değiştirilebilir. Ancak debi ve basıncı beraberce istenilen değerlerde ayarlanmak çok zordur. Bu ayarlama değirmene öğütülmek üzere gönderilen katı ve değirmen içi pülp yoğunluğu ile yapılmalıdır. Yapılan bu ayarlama da

doğrudan öğütme tane boyutunu etkileyecektir.

Öğütme devrelerinde pülpün basıncının kontrolü siklon grubunda yeni siklonların devreye konulması, devreden çıkarılması ya da pompa basma hattında debisi ayarlanabilen bir by-pass ile yapılabilir..

Tesislerde uygulanacak proses kontrol sistemi seçildikten sonra ölçülecek parametreler belirlenir. Bu parametreler ile gerekli geniş ve lokal kontrol devreleri tesbit edilir. Proses kontrolunda lokal kontrol devreleri büyük önem taşır.

Şekil 6'a da malzemenin ağırlığının ölçüldüğü bant kantarına bağlı lokal kontrol devresi gösterilmiştir. Bu devrede bant kantarı ayarlanan değere göre, ya bunkerin altındaki besleyicinin titreşim seviyesini (I) ya da bantlı besleyicilerde bantın dönüş hızını artırıp veya azaltarak (II) birim zamar da beslenen malzeme miktarını değiştirebilir.



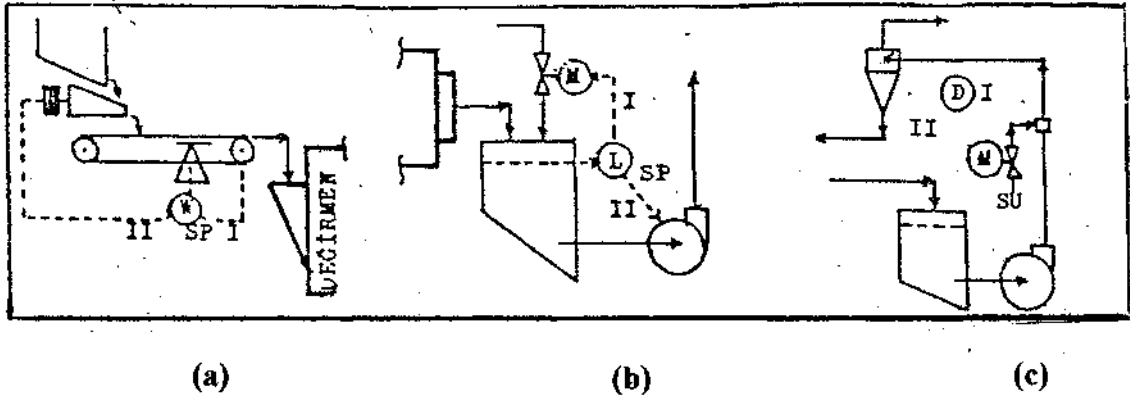
Şekil 5. Klasik bir öğütme devresinde ölçülebilecek parametreler

Şekil 6b'de pompa havuz seviyesi, pompanın hızına bağlı debi (I), ya da ilave su miktarı ile (II) sabit tutulur (Gault, 1979).

Şekil 6c'de öğütme devrelerinde çok kullanılan küçük bir kontrol devresi gösterilmiştir. Siklona gönderilen pülpün yoğunluğunu sabit tutmak için ilave edilen su miktarı ayarlanmaktadır

Şekil 7'deki klasik bir öğütme devresinde:

1. Boyut dağılımı proses suyu ile,
2. Siklona giden malzeme akışı (siklon üst akımı+devreden yük) öğütme devresine beslenen cevher miktarı ile,
3. Pompa havuzu su seviyesi pompa hızı ile kontrol edilmektedir.



Şekil 6. Kantar/besleyici, seviye ve pülp yoğunluğuna bağlı kontrol devreleri

(I). İlave edilecek suyun basıncını pülpün basıncından yüksek, debisinden az olması gereklidir. Aksi halde su ile pülpün birbirlerini bloklamaları söz konusudur. Bu devrede yoğunluğun sabit tutulması, tesise beslenen cevher veya değirmen öncesi su kontrolü ile de mümkündür (II).

3.5. Öğütme Devrelerinde Proses Kontrolü ile İlgili Örnekler

Öğütme devrelerinde proses kontrolü ile ilgili Şekil 7, 8, 9, 10 ve 11'de değişik örnekler verilmiştir.

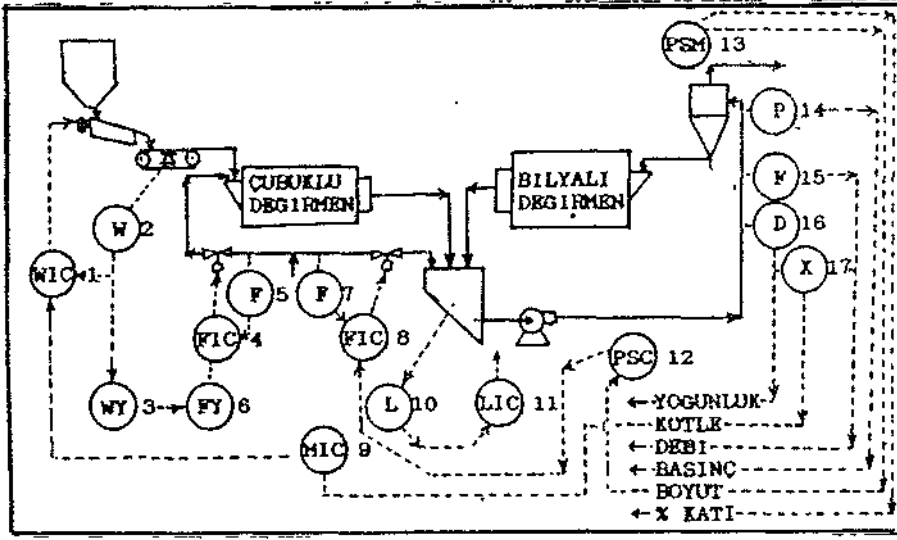
Yukarıdaki öğütme devresinde sistemin dengeye ulaşması için belirli bir zaman gereklidir. Çünkü tesisin herhangi bir yerinde yapılan bir müdahalenin tesisin tamamını etkilemesi zaman alacak, proses dalgalanması ancak belirli bir süre sonra istenilen aralıkta kalacaktır.

Şekil 8'de Divriği Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisi Öğütme devresinin bir bölümündeki proses kontrolü görülmektedir.

Bu devrede proses kontrolü ile öğütme devresindeki bilyalı değirmene beslenen

cevher miktarının sabit tutulması amaçlanmıştır.

Besleme kutusu altındaki yoğunluk DIRAH-1001 ve akış ölçerin

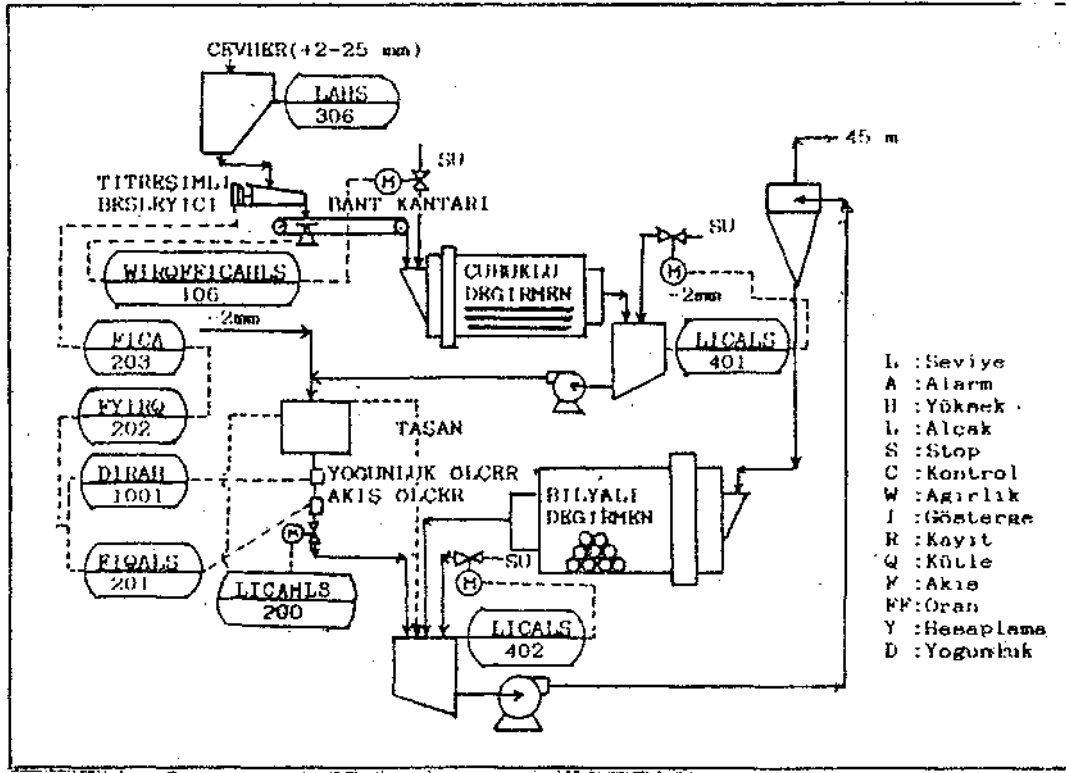


Şekil 7. Klasik bir öğütme ünvresinde proses kontrolü

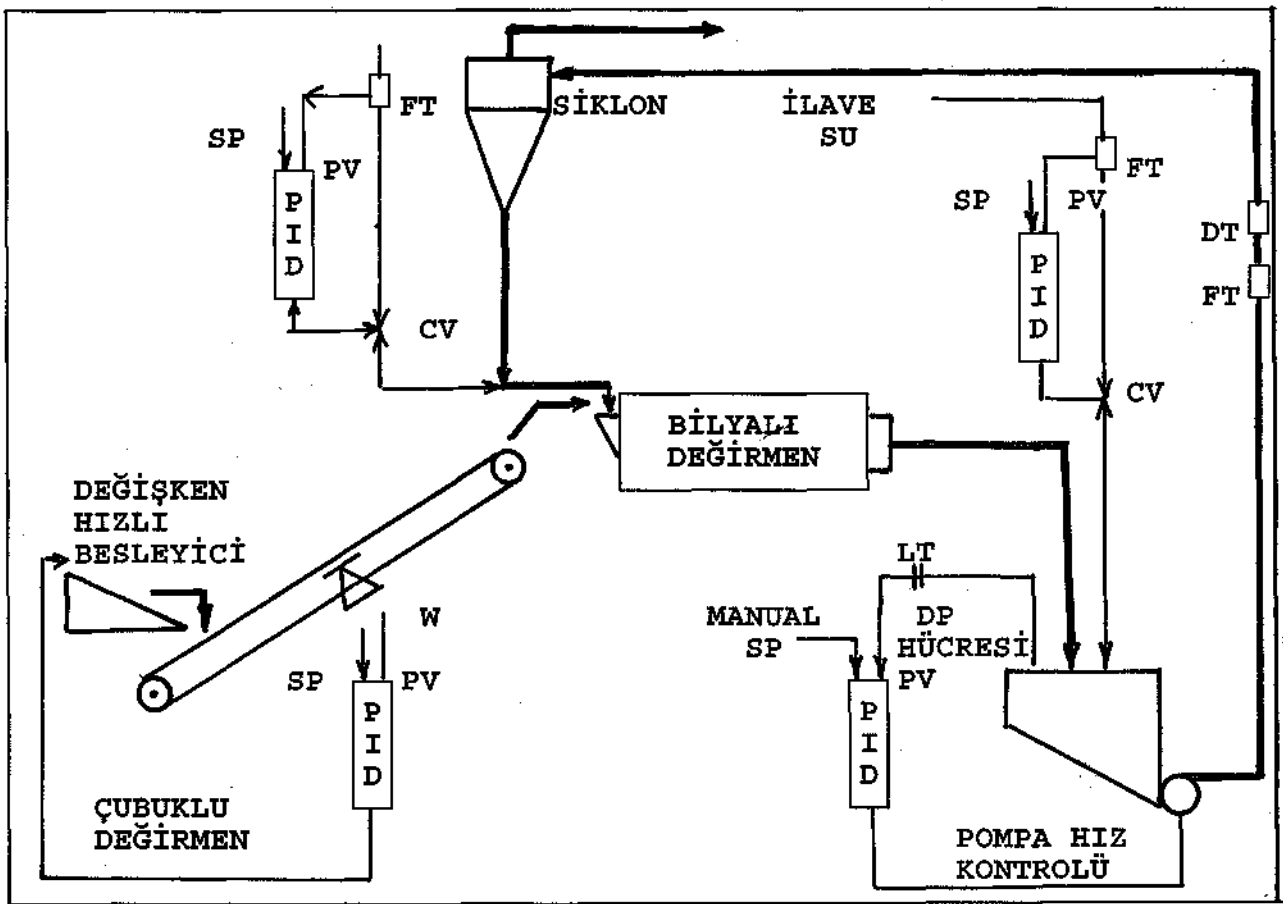
Bilyalı değirmene cevher:

- Eleme bölümünden (-2 mm) ve
- Çubuklu değirmenden gelmekte ve bir besleme kutusunda toplanmaktadır.

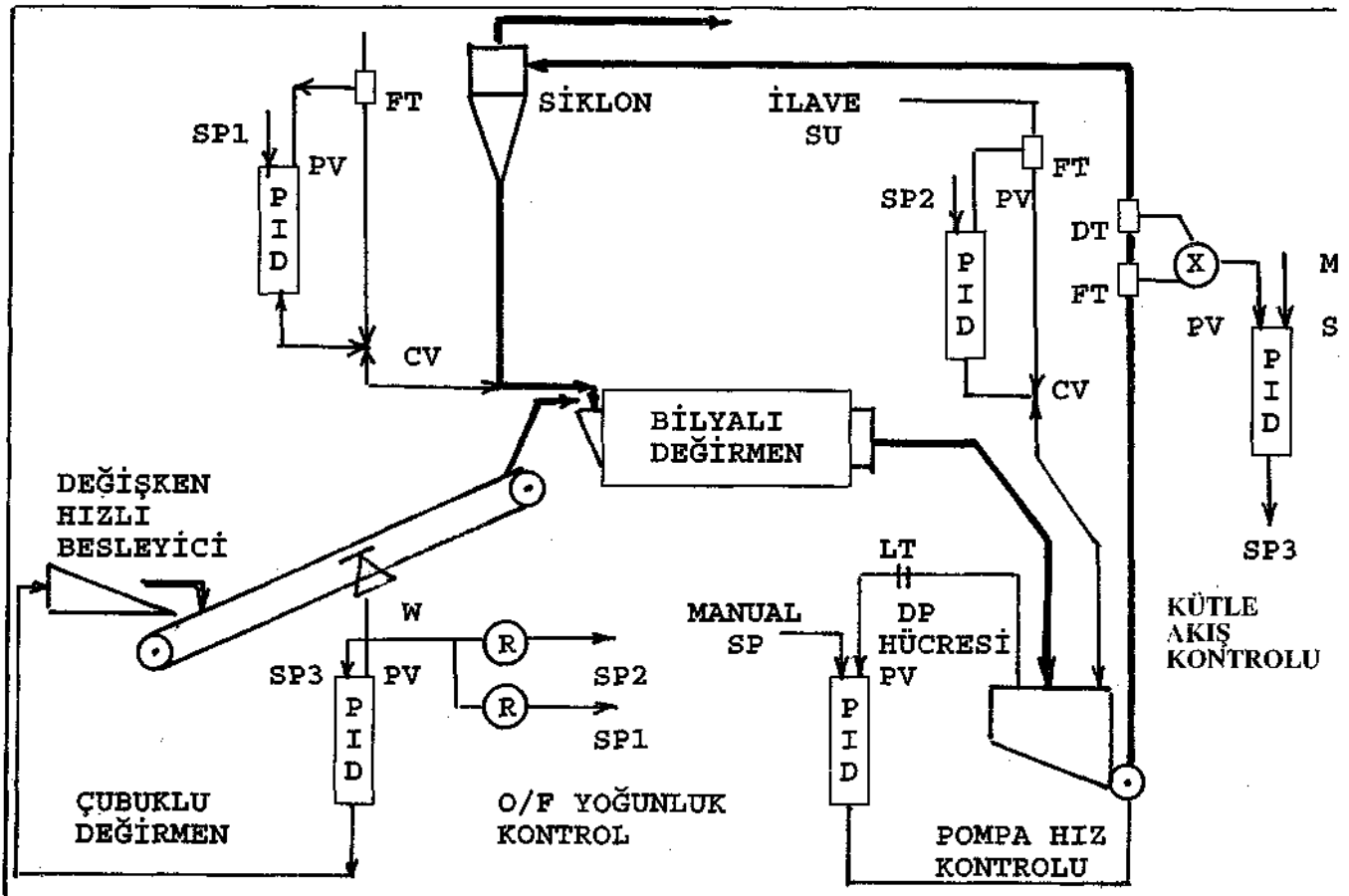
FIQUALS-201 çalışabilmesi için besleme kutusu içindeki pülp seviyesinin değişmemesi gereklidir. Bu seviye LICAHS-200 nolu seviye ölçme cihazının kontrol ettiği proses



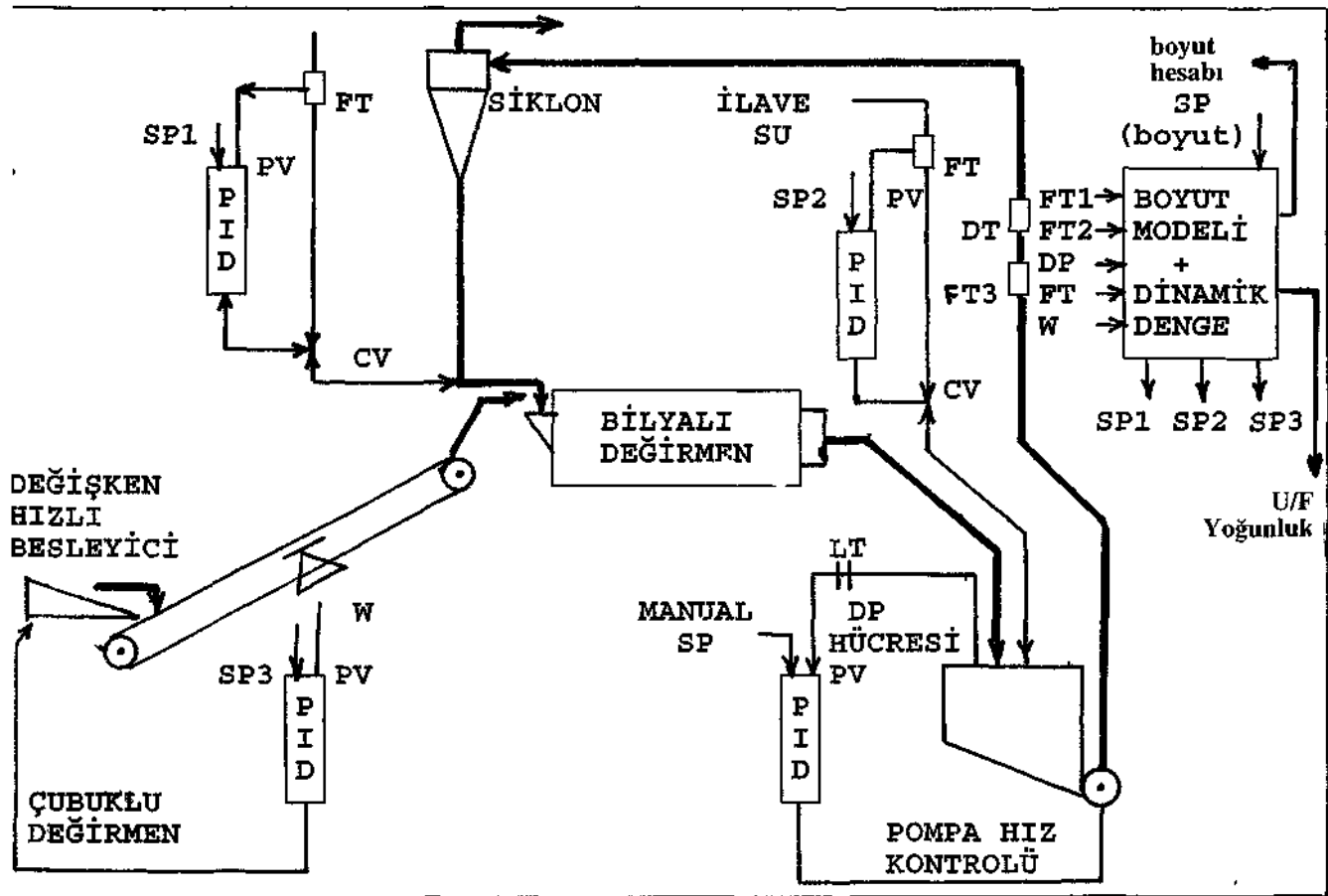
Şekil 8. Divriği demir cevheri zenginleştirme tesis' öğütme devresi proses kontrolü (Başdağ ve diğerleri. 1989)



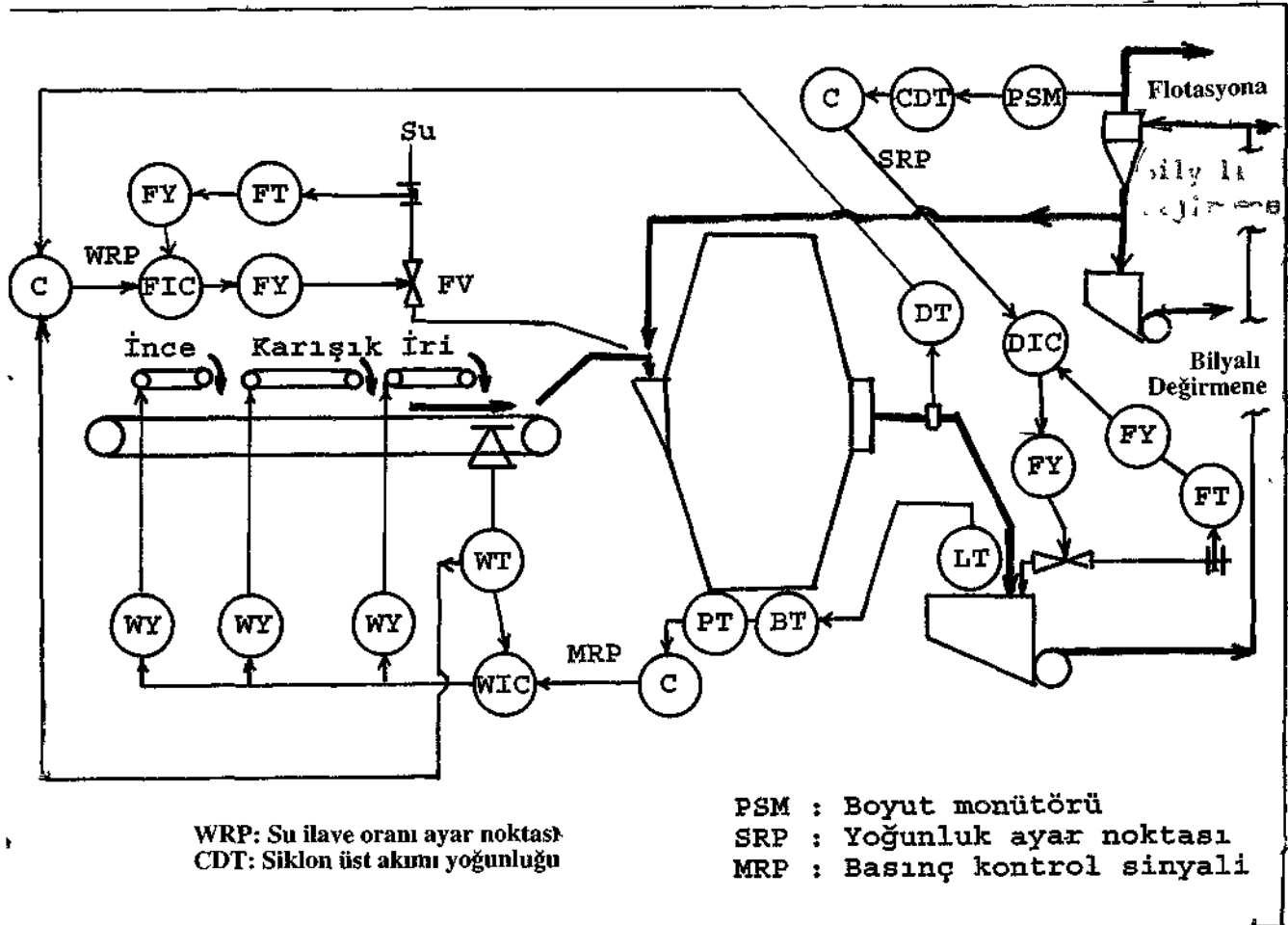
Şekil 9. Basit bir öğütme proses kontrol devresi



Şekil 10. Denetleyici kontrol devresi



Şekil 11. Optimize edici kontrol devresi (maksimum üretim, sabit boyut dağılım)



Şekil 12. Island bakır tesis otojen öğütme devrelerindeki proses kontrolü

(Mular 1982)

suyuna bağlı bir motorlu vana ile sağlanmıştır.

Besleme kutusu altındaki yoğunluk ve akış ołçerin ołçtüęü değerler FYIRQ-202 tarafından kullanılarak besleme kutusundan değirmene giden cevher miktarı hesaplanır. FICA-203 besleyicinin titreşimini ayarlayarak WIRQFFICAHLS-106 dan bıyalı değirmene giren cevher miktarının aynı seviyede kalması için çubuklu değirmene gerekli beslenme sağlanmaktadır. Çubuklu değirmene beslenen cevher miktarına göre katı/su oranı tesbit edilip 106'nın kontrol ettiği bir motorlu vana ile değirmene gerekli su verilmektedir.

Yukarıda verilen proses kontrolünün istenildiği gibi çalışabilmesi için tesise beslenen cevherde kesinti olmamalı cevher özellikleri ani değişiklik göstermemelidir.

Otojen oğütme devrelerindeki proses kontrolü de klasik oğütme Şekil 12'de Island Bakır tesisindeki otojen oğütme devresindeki kontrol sistemi gösterilmiştir.

Güce dayalı kontrol sistemleri genellikle otojen oğütme devrelerinde kullanılmakta, değirmene beslenen cevher miktarı-değirmenin çektiği güç tarafından ayarlanmaktadır.

4. SONUÇ

Island Bakır tesisindeki otojen oğütme devresindeki kontrol sistemi gösterilmiştir.

Oęütme devrelerinde, proses kontrolü proses mühendisleri tarafından belirlenir. Proses mühendisleri proje aşamasında tesislerde uygulanacak proses Őekline göre ołçülmesi gerekli parametreleri, bu parametrelerin birbirleri ile olan ilişkilerini belirlemelidirler. Sistem mühendisleri ile yapılan ortak çalışmalar sonucu proses kontrol devreleri projelendirilmelidir. Tesislerin devreye alınmasından sonra akım Őemalarında proses kontrolü tekrar gözden geçirilmeli gerekli değişiklikler yapılarak son seki verilmelidir.

5. KAYNAKLAR:

Amdel, 1991; 'Leader in Mineral Processing Control', Katalg.

Başdağ, A., Yıldız, N., Kıraç, H.M., Polat, H., 1989; 'Instrumentation and Process Control at Divriği Iron Ore Processing Plant', II International Mineral Processing Symposium, İzmir.

Bhappu, M., 1978; 'Mineral Processing Plant Design', SME, New York.

Gault, G.A., Howarth, W.J., Lynch, A.J. ve Whiten, M.J., November 1979; "Automatic Control of Grinding Circuit: Theory and Practice", World Mining.

Herbst, J.A., Bascur, O.A., 1980; 'Mineral-Processing Control in the 1980's, Realities and Dreams'

Horst, W.E. ve Enochs, R.C., June 1980; 'Instrumentation and Process

Control", Engineering and Mining Journal.

Mular, A.L., Jergenson, G.V., 1982; 'Design and Installation of Comminution Circuit', SME, New York.

Mular, A.L., 1989; "Automatic control of conventional and semiautoenous grinding circuits", CIM, V: 82, No: 922

Shan, I.M., Rajamini R.K., 1990; "A Self-Organizing Controller for Process pH Control", Control'90-Mineral and Metallurgical Processing, Editörler: R.K.Rajamini, J.A.Herbs.

Svedala Arbra AB. June 1987;; Co.'Automation and Process Control", Mine and Quarry, pp 20-28

Wills, B.A., April 1987; "Automation Control in Mineral Processing" Mining Magazine,.

Ynchausti, R.A., Hales, L.B., 1990; "Application of Expert Systems in the Minerals Industry", Control'90-Mineral and Metallurgical Processing, Editörler: R.K.Rajamini, J.A.Herbs.

