

# Baz Metallerin Öğütme ve Flotasyonunda Komputer Kontrol Prosesi<sup>(1)</sup>

J.H.C. SCRIMGEOUR (2)  
W.H. SCHWEDES (3)

DR. R.E. HAMILTON (2)  
E. L. OWEN (3)

Çeviren : Oktay YALGIN (4)

## ABSTRACT :

Process control computers, which were first introduced in 1959, are now being applied at a rapidly increasing rate. A recent survey showed 2890 installations: an increase of 1319 over the previous survey approximately a year earlier.

With the additional availability of on-line X - ray analysis instrumentation experience is now being gained with initial mining industry applications such as grinding and flotation.

Following an outline of automatic control, process computer and instrumentation techniques, a discussion is presented on computer control systems for mineral concentrating plants.

Progress on computer control in the mining industry is now expected to be made more rapidly than in the past because of the carry-over of systems knowledge gained from applications in other industries such as steel, chemical, petroleum and electric utilities.

## I GİRİŞ

Digital komputerlerin ilk kez proses hattına uygulanması 1959 yılında bir rafineri tatbikatında yapılmıştır. Diğer öncü uygulamalar 1960 larda metal endüstrisi, çimento sanayi, elektrik santralleri ile kimya ve petrol endüstrisinde olmuştur.

Bunun proseslere uygulaması çok çabuk kabul edilmiştir. Temmuz 1968'de yapılan bir araştırma 2890 ünitenin çalıştığını veya çalıştırılması düşünüldüğünü göstermiştir. Mart 1967'de yapılan bir araştırmaya göre bu değer 1319'luk bir artış göstermektedir.

Temmuz 1968 araştırmasındaki sonuçların ayrıntılı olarak incelenmesi uygulamanın özellikle petrol, kimya, metal ve enerji üretimi endüstrilerinde diğerlerinden çok olduğunu göstermektedir.

## Şöyleki :

Petrol - Kimya endüstrisi	562
Enerji üretimi	504
Metal endüstrisi	397
Çimento - Cam sanayi	39
Kağıt, Kauçuk, Tekstil sanayi	31
Mamul madde ve ürünler	143
Test ve muayene	32
Nakliyat	77
Uzay araştırmaları	148
Araştırmalar	176
Diğerleri	781
	2890

Komputerlerin bu şekilde kullanım olanakları bazı uygun faktörlerin biraraya geldiği durumlarda ortaya çıkmıştır. Bu faktörler aşağıdakileri içine almaktadır :

- Güvenilir, ucuz komputerlerin var olması
- Hat (on-line) üzerinde ölçü cihazlarının bulunması
- Prosesi otomatik kontrol etme tekniğinin var olması
- Prosesi, komputeri ve kontrol sistemlerini bilen personelin olması
- Fizibil ve ekonomik şartları sağlayan prosesin olması
- Herhangi bir proses için kullanılan ve/veya kuru-cunun çıkacak problemleri çözmeye istekli olması.

- (1) — Presentet at American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Operating Controls Session, Washington, U.S.A., 19. Feb. 1969
- (2) — Industrial Process Analytical Engineer, Industrial Systems Sales and Engineering, Canadian General Electric, Peterborough, Ontario, Canada.
- (3) — Industry and Application Engineer - Mining, Industry Sales and Engineering Operation, Schenectady, New York.
- (4) — Maden Yüksek Mühendisi, Çimento Sanayii A.Ş. — Ankara

Şimdiye kadar ayrı ayrı yapılmakta olan gelişmeler artık maden endüstrisindeki proseslerde bir araya gelmektedir. Bu yöntem tam olarak anlaşılacağı eaman gelişmeler daha hızlı olacaktır.

**Ekonomik Avantajlar :**

Prosesi kontrol işlemine komputeri uygulamadan önce atılacak ilk adım ekonomikliliğin saptanmasıdır. Eğer ekonomik ise komputer kontrolü uygulama yoluna gitmek gerekir.

Birçok işletmelerdeki başarılı komputer kontrol uygulamalarının ekonomik gerekçeleri etüd edilmiştir.

Ekonomikliliği etüd ederken başlangıç noktası önce hem malzeme hemde prosesin verdiği veya kaybettiği enerjiler olarak girdi veya çıktıları saptamaktadır. Kısa olarak belirtmek gerekirse kontrolün gereği girdileri m(numuma indirmek ve/veya çıktıları maximum yapmaktır.

Prosesin genel şartları ve tipik ekonomiklilik yaratan kaynaklar şu şekilde sıralanabilir :

**Prosesin Genel Şartları :**

- ürün değeri
- Mekanizasyon
- Kontrol edilebilirlik
- Karışıklık
- Bozucu etkenler
- Prosesin anlaşılabilirliği
- Anında saptanabilen bilgi (Prosesin)
- Gelişme olanakları

**Ekonomikliliğin tipik kaynakları :**

- 1 — Aşağıdaki nedenlerle artırılan imalat :
  - İşletmenin gerçek kapasitesine daha yakın bir çalışma olanağı
  - İmalat boşluklarının doldurulması
  - Düşünülen imalat değişiklikleri için daha az zamana ihtiyaç gereksimesi
  - İmalatta önceden tahmin edilemeyen düzensiz durumların çıkması halinde gerekli düzeltmelerin daha kısa zamanda yapılabilmesi
  - Artık veya kalitesiz mamul miktarlarının daha az olması
  - Daha fazla verim olanağı (girdi başına düşen Li-retim miktarının artması)
- 2 — Aşağıdaki nedenlerle azaltılan hammadde ihtiyacı :
  - Daha az artık veya kalitesiz mamul
  - Daha yüksek verim
- 3 — Kimyasal reaktiflerin tüketimlerinin azaltılma olanağı :
  - İşletmenin daha verimli bir noktada (ısı, basınç veya reaksiyon zamanına göre) tutulması

— Beslenme ve ileri besleme kontrolleri ile reaktif besleme karakteristiklerinin stoklyometrik oranlara yakın olarak ayarlanabilmesi

4 — Enerji için gerekli şarj olanakları (Buhar, Yakıt, elektrik)

5 — İş gücünde azalma

6 — Emniyet ve teçhizata zarar veren kazaların daha iyi duruma getirilmesi

7 — Gizli veya soyut kazançlar (daha önceden tahmin edilemeyen veya para ile ölçülemeyen kazançlar).

Genel olarak değirmen girdileri cevher, çubuklar, bilyalar, astarlar ve elektrik gücüdür. Çıktı ise tane irilik dağılımına sahip olan ve ton/saat birimleriyle ifadedi akış hızına bağlanabilen üründür.

Rotasyon prosesinin girdileri ise öğütme ünitesinden gelen pulp, çeşitli reaktifler, promoter ve köpürtücüler, ilave edilen su, verilen hava ve elektrik gücüdür. Faydalı çıktı ise ton/saat cinsinden akış hızıyla ifade edilebilen konsantre, mineral yüzdesi ve nemlilik yüzdesidir.

Şu şekilde toparlanabilir genellikle :

öğütme devresi girdileri :

- Cevher
- Çubuklu değirmen için çubuklar
- Bilyalı değirmen için bilyalar
- Elektrik enerjisi
- Su beslemesi

Flotasyon devresi girdileri :

- Pulp
- Reaktifler
- Hava
- Su
- Elektrik enerjisi

Kombine olarak prosesin çıktıları :

- 1 — Konsantre
  - Ürün hızı (maximize)
  - Mineral yüzdesi
- 2 — Artık (minimize mineral ihtiyacı)

Kuzey Amerikada şimdi flotasyonda komputer prosesini uygulayan en az dört işletme vardır. Bunların çoğu belkide geniş ölçüde araştırma ve geliştirme safhasına başlamış bulunmaktadır. Ve bazılarıda başlatma safhasındadır. Elde edilen veriler önemli gelişmelerin mineral randımanında, kazanımında kendini göstermiştir.

Computer kontrolün haklılıkları o kadar geniş ki ayrı bir makale konusunu teşkil edebilir. Kısaca söylenirse, tesiste arttırılmış randımanlar, yatırırm getirdiği kâr, reaktif ekonomisi ve öğütme devresi masraflarının azalmasıdır.

5000 ton/gün kapasiteli bir tesiste direkt kazançlar yıllık 200.000 dolar üstündedir. İndirekt kazançlar ise düzgün konsantre ürünleri ve daha flexibel operasyon v.b. oldukça ekonomik etkenlik gösteren tesir faktörleridir ki bunları ölçmek oldukça güçtür.

## 2 — KONTROL SEVİYELERİ :

Kontrolün amacı, prosesi istenilen durumların kümeleşmesini tahdit etmektir. Son spesifikasyon hedefleri olan bazı proseslerde sonuca bir yolla gidilir ki bu önemli değildir. Bu arada bazı diğer proseslerde ise çok spesifik bir yol takip etmek gerekir. Çeşitli değişik üretim yapabilen proses yolu genellikle zamanın bir fonksiyonudur. Buna karşit sürekli prosesler için bu yol genellikle akım şeması lokasyonunun bir fonksiyonudur. Hedefin toleransları ve prosesin kontrol edilebilirliği, düşünülen tat minsel kontrol seviyesinin ne olacağını saptar.

Kontrol seviyeleri :

1 — Operatörlerin aletleri elle ayar ettikleri kontrol

2 — Direkt kontrol

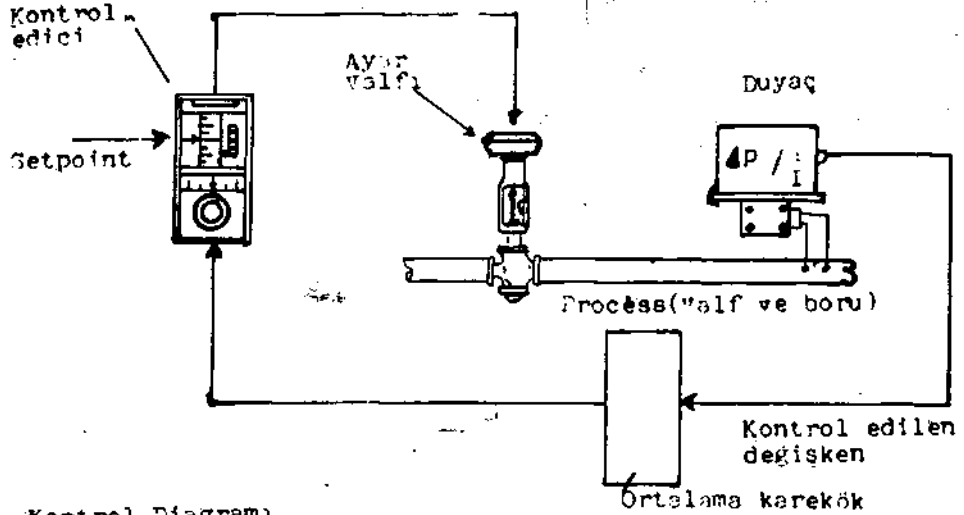
Şu kontrol genellikle kapalı devre feedback kontrolüdür; Tekli veya peşpeşe devamlı kontroldür. Daima prosesin set-point ayar noktası ile karakterize edilirler. Bu seviyeye dahil edilebilecek çeşitli özel sınıflandırmalar vardır. Şöyleki :

Lineer kontrol edicilerle veya otomatik ayarsız model

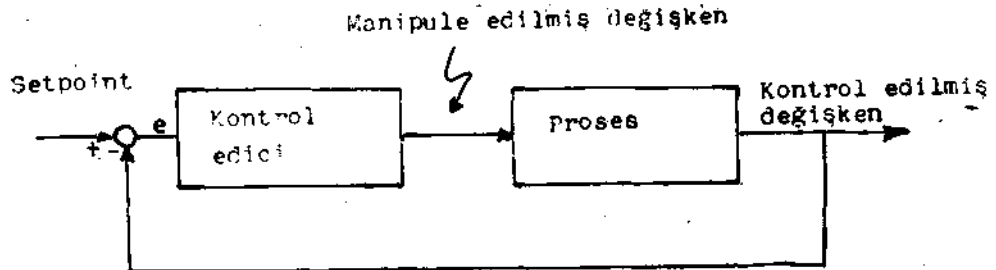
- Analog
- Direkt digital kontrol (DDC)
- Switching modeli kontrol ediciler
- Time optimal control e.g. bang bang
- Control by exception e.g. spill-over circuits
- Controllers with deadband
- Zone control e.g. loop gain varies with error magnitude

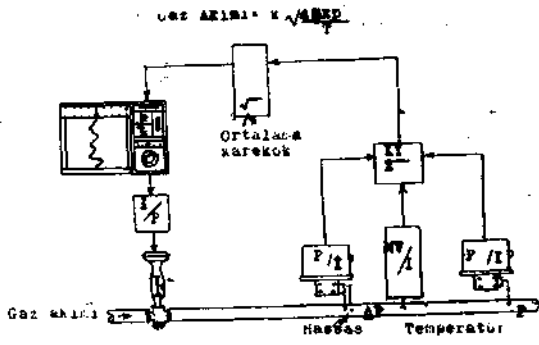
## BİR FEEDBACK DEVRENİN TEMEL ELEMANLARI

### Resimsel Diagram

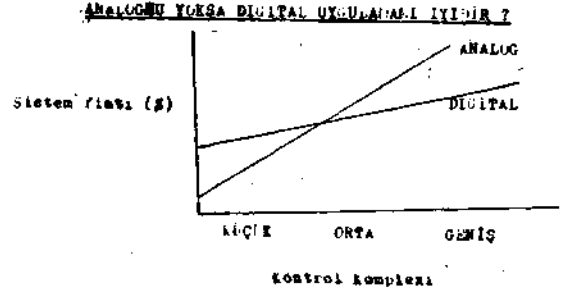


### Kontrol Diagramı



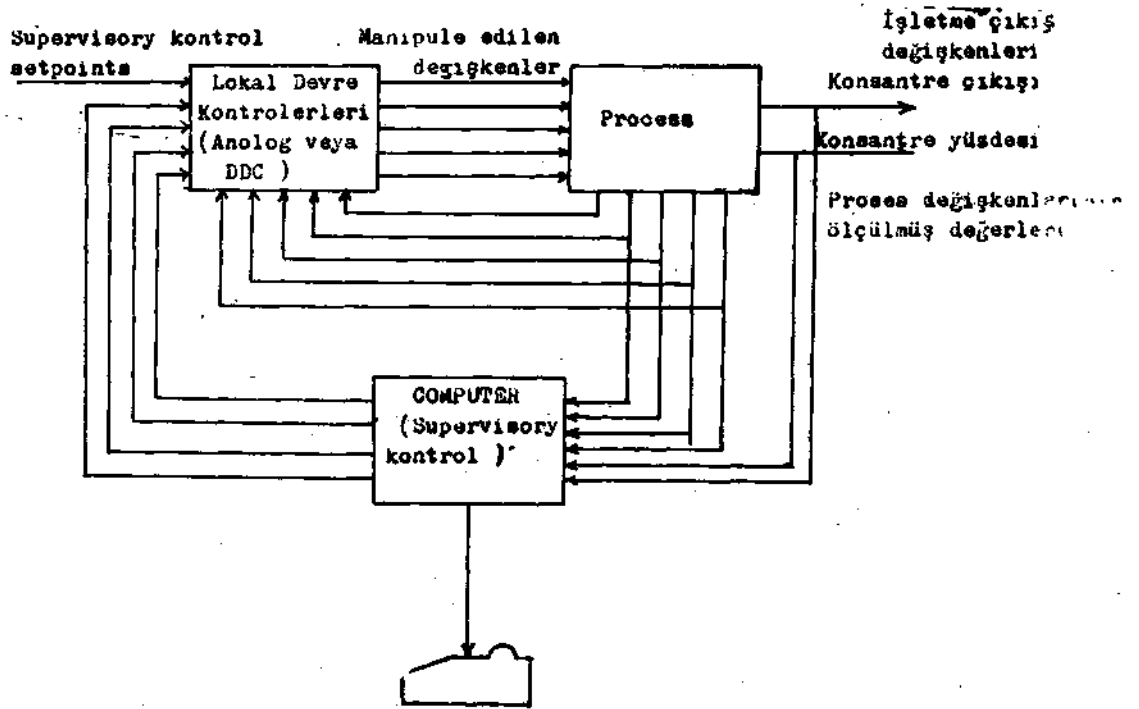


ŞEKİL : 2



ŞEKİL : 3

**LOKAL VE SUPERVISORY KONTROL DEVRELERİ**

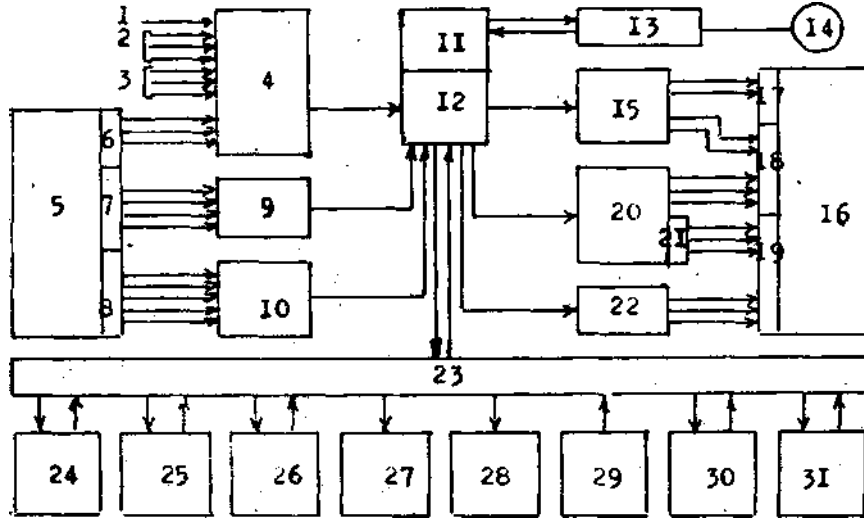


Computerin verdiği değerler :

- Kontrol edilmiş değişkenler
- Ara davranış değişkenleri
- İşletme verimi
- İşletme çıktıları

ŞEKİL 4

TİPİK BİR COKPUTSR PROSES ŞİSİKİHİNİH KOMPENENTLİİRİ



- |                                     |                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1=Realtime clock                    | 21= D/A                            |
| 2=Controllere                       | 22» Variable Output Controller     |
| ^«Peripherals                       | 23= 10 Peripheral Buffer           |
| 4*Autoznatic Program Interrupt      | 24= Paper Tape 10                  |
| j«Process inputs                    | 25= Card 10                        |
| 6«Pulse                             | 26= Typewriter 10                  |
| 7-Digital                           | 27= Line Printer                   |
| 8«Analog                            | 26» Digital Plotter                |
| 9«=Digltal Input Controller         | 29= Input Consoles                 |
| 10=Analog Input subsystem           | <b>30=Incwmental Magnetic Tape</b> |
| II»Core Kemory                      | <b>31« Data Linke</b>              |
| 12cArithffi*tic Unit                |                                    |
| J.3»Bulk Controller                 |                                    |
| I4«=BulV Keaörj                     |                                    |
| I5*Pulse And Tied üütpvt Controller |                                    |
| 16=Proceo8 Outputs                  |                                    |
| 17»Puİ8e                            |                                    |
| 18-Digital                          |                                    |
| I9«Analog                           |                                    |
| 20*Digital Output Controller        |                                    |

ŞEKİL

Supervisory (denetleyici) kontrol esas olarakayar edici olan set - point'lerin determinasyonları ile ilgilidir. Bu kontrol toplam strateji ile direkt regülasyondan daha fazla ilgilidir. Stratejisi saptanmış koşullar ve denklemler prosesin hat dışı çalışmalarında ideal oluncaya kadar sık sık tesbit edilirler veya hiç olmasa iyi bir yöntemle kurulurlar. Bu genellikle işletmenin komputere temsil edici çalışma etüdülerinin davranışlarının matematiksel model analizlerini geliştirmekle basardır.

Matematiksel anlamda gerçek optimum yapma olanağı sağlamak, optimum yöntemlerin istihdamı ile oluşur ki bunlar minimize veya maximize olarak objektif fonksiyon diye belirlenmişlerdir ve bir çok teoritik araştırmaların konusudurlar. Bu güne kadar hat dışı çalışmalara ait bazı ilerlemiş uygulamalar saptanmıştır. Fakat genel uygulama bugüne dek gelen hat üzerindeki endüstriyel uygulamalardır. Supervisory kontrol genel olarak çok değişkenlidir. Bu sistem kapalı devrelere olduğu kadar ileri besleme yöntemlerine de prosesde dahil edilebilir.

Adaptive kontrol, bilgisayarın otomatik olarak kendi programına dahil edilen geliştirilmiş bir hâlidir. Şöyle ki, proses testlerinde günü gününe proses modelinde veya stratejisinde ve proses yapısındaki değişimlerini otomatik olarak saptayan otomatik bir ifade vardır. Birçok madencilik endüstrisinde bu adaptasyon ihsan zekâsıyla tasdik edilmekte ve saptanmaktadır. Fakat otomatik kullanım olmaktadır; örneğin, metal işletmelerinde ve uzay araştırmalarında.

Yönetim danışma sistemlerinde her iki proses ve iş^ bilgisayarları danışmayı temin etmek için firma yapısının akımı boyunca birarada bağlıdır.

Görünüşe göre, bilgisayar kontrol prosesinin gerçek kârı supervisory kontrol seviyesinde aranmalıdır. Her daha yüksek kontrol seviyesi, tüm daha düşük seviyelerin hesaba katılmasını veya en az kabiliyetin var olduğunu gerekser. Bu nedenle,, daha fazla kâr bazı daha düşük kontrol seviyeli cihazların fonksiyonları ile anlaşılabilir. Kontrol seviyeleri teşebbüsü sadece alabildiğine alabildiğince yüksek ekonomik ve teknik uygulamalarda geçerli olabilir.

Kontrolün supervisory seviyesini elde etmek bilgisayar prosesini, x-ray analizlerini ve «hardware» uygulamasını gerekli kılacaktır.

### 3 — HARDWARE

Proses Bilgisayarları :

Bir bilgisayar prosesinde hat üzerindeki ihtiyaçlar gerçek zaman davranışları, yeterli kapasite ve operasyonel flexibilitedir. Bazı özellikler bu kabiliyetlerin anahtar indikatörleridir.

Hat üzerinde, gerçek zaman (real-time) davranışı analog ve dijital tiplerin proses girdi ve çıktı

kabiliyetlerini ister. Keza o istekler bir otomatik program kesme özelliği-ve bir multi-programlama operasyonudur. Eğer hat üzerinde bilgisayar varsa pek yüksek güvenilirlik bulunabilirlik gereklidir.

Proses bilgisayar sisteminin tipik komponentleri şekil. 5'de gösterilmiştir.

Kapasite; yapısalığın, hızın ve hafıza ölçüsünün bir fonksiyonudur. Hafıza ölçüsü işe kelime uzunluğu ve hafızalanan kelimelerin sayısının ürünüdür. Hız; hafıza devir süresi ve emirleri yerine getirme süresi ile ölçülür. Yapısalık fonksiyonu ise çeşitkenlerin sayısı ve makina lisanında faydalı emirlerle belirlenir.

Operasyonel flexibilité, sistemin gelişme safhalarında hardware değişikliklerinin nasıl kolaylıkla dahil edilebildiğinin ve nasıl kolaylıkla program değişikliklerinin yapıldığının bir fonksiyonudur. Fortran prosesi programlama için sarf edilecek gücü büyük ölçüde basitleştirir ve «software» maliyete tesir eder.

### MİNERAL KONSANTRE İŞLETMESİNDE GEREKLİ ALETLER :

Bir flotasyon işletmesindeki bilgisayar kontrol sistemi için hissedilen en önemli ihtiyaçlar hat üzerindeki kimyasal analizler ve kütle akımlarıdır. Gereklilikler aşağıda gösterilmiştir :

- A — X-ray floresans spektroskopisi
  - Prensipler
  - Hat dışı
  - Hat üzeri
  - Slurry numune alma metodları

- B — Flowmetreler
  - Slurry
  - Konsantre

C— Pulp yoğunluğu

A — X-ray Analizleri :

Flotasyonda değişim gösteren en mühim etken beslenen cevherin mineral kompozisyonudur. Devrede bu kontrol edilemeyen kışkırtıcı bir etkidir, ölçme için kabul edilen metod x-ray emisyon spektroskopidir. Bu x-ray analizörü mineralin spesiyal kompozisyonlarını ölçmek için yaklaşım yapan bir analitik alettir. Bu alet, spesifik x-ray frekanslarının şiddetine göre davranır. Fakat numunenin Jdmyasâi element yönünden yüzde tomporâsyonunu gösterir. Çoğu zamanda cevher yapısı bilgileri metallurjistlerin mineral kompozisyonunu tahmin edebilmeleri olanağını sağlar.

Mevcut teçhizatın kullanılma sahası bir taraftan hat dışındaki laboratuvar tipi x-ray ölçenleriyle ve diğer taraftan hat üzerindeki çok akışlı slurry analizörleriyle sınırlanmıştır. Laboratuvar ünitesinin avantajı ucuz olmasıdır. Fakat gerekli numunelere hazır-

lanması takriben İki saat alır. Bu nedenle kontrolün frekansı tahdit edilmiştir; ve sadece cevher kompozisyonundaki çok küçük frekanslı değişikliklerin etkisi hesaba katılabilir. Hat üzeri çok akış dallı artık analizörü düzenli bir esas üzerinde tesis devresindeki 7'den 15'e veya daha fazla sayıya kadar olan noktaları otomatik olarak ele alabilir ve akış dalı başına takriben 1 dakikanın biraz üstünde bir zamanda analizleri verir ve devirleri istenildikçe tekrar eder.

X-ray teçhizatını satın almak için bir analitik cihaz veya radyasyon şiddetini ölçen cihaz olmak üzere İki yol vardır.

Esas hardware radyasyon şiddetini ölçen sistemdir. Buna karşıt, şiddet sinyallerinden izah etmek için metotların geliştirilmesinde analitik sisteme ek olarak element kompozisyonunun bilinmesi de gereklidir. En ekonomik yaklaşım genellikle uygulayıcının metod geliştirmesini kendisinin yapmasıdır.

Doğal halinde cevher çok geniş bir bileşenler topluluğuna sahiptir. Bunun anlamı belli bir cevher kütlesi için geliştirilmiş olan metodların diğer bir cevher kütlesi için büyük ölçüde değiştirilmesinin gerekliliğidir. Hammaddenin oldukça sabit olduğu çimento sanayinde durum böyle değildir.

X-ray spektroskopisi teknikleri çok iyi bilinmektedir ve geniş ölçüde yayınlara sahiptir. Fakat matrix iç bağlantıları tesirleri genellikle ampirik olarak hesaba katılmalıdır. Satıştan önceki devrede cevher numuneleri genellikle müşteri tarafından satıcıya yollanır ve bazı deneylerden sonra satıcı bu numune üzerine dayandırılmış hassasiyeti belirtir. Teçhizat fabrikada yerine geldiği zaman numunenin gerçek şartlarını (cevher yönünden) temsil etmediği çok görülmüştür. Ve uygun bir sistemin geliştirilmesinden önce daha birçok deneylerin yapılması gereklidir. Assayleme ne kadar hassas olursa olsun cihaz sistemlerinin ne kadar lüzumlu ve başarılı olduğunu göstermek için gittikçe artan sayıdaki kullanıcılara ve bunların bu tip teçhizata bağlılıklarına bakmak yeterlidir.

B — Flowmetreier :

Slurry için kullanılan İki çeşit flowmetre vardır:

I — Manyetik flowmetreier :

Bunlar az geçirgen pulp'ın (ki bunda tekrar havalandırılmış slurry mevcut) akış hızını saptamak amacıyla kullanılırlar. Bazı durumlarda bir seviye kontrolüne havi surge tankların önüne bu metrelerden koymakla yol üzerindeki slurry'nin daima dolu olması teminat haline getirilebilir.

2 — Küfle hızı metreler :

Bu yeni cihaz gerçekte küflenin sabit bir hızdan farklı hızlara doğru ivme kuvvetinin davranışını ölçer. Bu, slurry'nin akış gravitesinin düştüğü bir lokasyona yerleştirilmelidir. Az miktarda hava ile etkilennememesi nedeniyle konsantre için launder lie head - tank arasında uygulanabilir.

C — Pulp yoğunluğu ölçümleri :

Her İki tipteki flowmetrelerde density ölçülmesi veya diğer bir su ihtivasının saptanması da gereklidir. Bu amaç için nükleer yoğunluk ölçü aletleri en uygun olarak gözükmektedir. Katıların spesifik graviteside gereklidir. Bazı durumlarda bu faktörün değişimi ortalama bir değer kullanılması yeterli kılacak derecede küçüktür. Diğer durumlarda değişim derecesi bunun sık aralıklarla saptanmasını gerekli kılar. Nükleer yoğunluk ölçü aletleri dolu olarak çalışan borularada konulmalıdır. Ve sadece tekrar havalandırılmış slurry için faydalıdır.

## OTOMATİK KONTROL

4 — ÖĞÜTME VE FLOTASYONDA

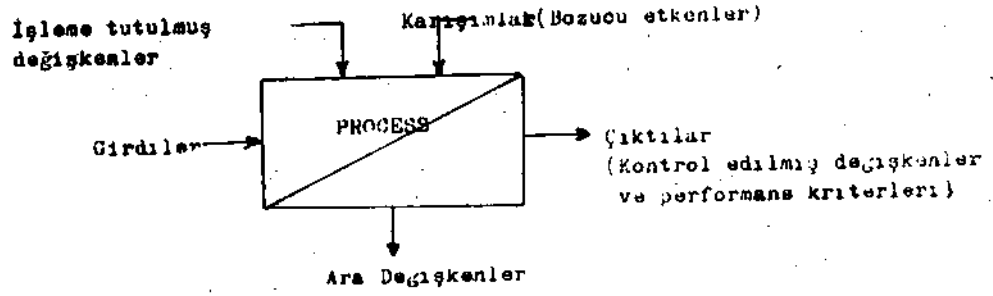
Proses değişimlerinin tarifi :

Herhangi bir proses için otomatik kontrol sisteminin geliştirilmesinde ilk adım olarak prosesi bilen proses mühendisi ile modern kontrol tekniklerini bilen kontrol mühendisi arasındaki terminoloji ve anlayış farklarını gidermek gereklidir.

Kontrol mühendisi, kontrol amaçları için girdi ve çıktı bağlantılarının yeterli bir hassasiyetle temsil edildiği bir kontrol modeli formüle edecektir. Kontrol modelinin genellikle dizayn ve ölçekleme amaçları için geliştirilecek model kadar karışık olmayacağı not edilmelidir. Bugüne kadar cevher işletmelerinde teklif edilmiş olan kontrol sistemleri şu şekilde sınıflandırılabilir: Statik, yarı-dinamik ve dinamik (kinetik) modeller. Zamana bağlı olsun veya olmasın kontrol modellerinin o kadar karışık olması gerekli değildir.

Proses mühendisi kontrol değişkenlerinin seçilmesi için gerekli metalurjik bilgiyi temin eder, ölçü kriterlerini formüle eder, proses değişim sahasını ve kontrol noktalarını saptar. Sonuç olarak proses mühendisi ilk kez proses tanımlama problemini ölçerler, kontrol değişkenleri için, istenen adayları seçer, kontrol objektiflerini belirtir ve bir kontrol felsefesi kurar : Kontrol mühendisi proses modelini formüle eder, parametreleri buna uydurur ve bir kontrol stratejisi tarifler.

Bunu başlatmanın en verimli yollarından birisinin şekil. 6'da gösterilen diagramı kullanma olanağını deneyler göstermiştir.



### PROSESİN GENEL TARIFI

ŞEKİL : 6

Prosesteki bozucu etkenler şunlardır :

#### Öğütme

- Cevherin öğütülebilirliği
- Cevher tane iriliği

#### Rotasyon

- Cevherin mineral ihtivası
- Tane iriliği dağılımı
- Cevherin oksidasyonu
- Sekonder mineral ihtivası
- Mineral disseminasyonu
- Selül tarifi
- Overflow
- Sedimentasyon

incelenmekte olan bir proses için materyal ve enerjinin girdi ve çıktılarını liste etmekle işe başlanmalıdır. Bu yöntem, ölçümleri göstermek ve ünitelerin izahını yapabilmek için faydalıdır, örneğin, flotasyon prosesinde çıktılar konsantre ve artıklardır. Sözü geçen ölçüler ise ton/gün olarak ürünün çıkma hızı ile mineral yüzdesidir.

İşleme tabi tutulmuş veya kontrol edilmiş değişkenler liste edilmelidir. Bunlar prosesi kontrol etmede rol oynayan değişken faktörlerdir. Proses girdilerinin çoğu işleme tabi tutulmalıdır (manipüle edilmelidir). Fakat bazıları edilmemelidir. Manipüle edilen bazı değişimler materyal veya enerji girdileri olarak saptanılmamalıdır. Örneğin, öğütme devresindeki siklon üst valfinin ayarında olduğu gibi.

Bozucu etkenlerin listesi, bunların prosesi bozmaları nedeniyle kontrol edilmelidir, ve bu gereklidir. Tüm ara değişkenlerin listeleri (basınç, sıcaklık, v.b.) kontrol bilgisini temin etmek için ölçülmelidir.

Öğütme ve flotasyon proseslerinin genel tarifleri şekil 7-8'de gösterilmiştir.

Öğütme Prosesindeki Değişkenlerin Tarifi :

Öğütme devresindeki esas etkileyici faktörler, mineral ihtivası ve cevherin öğütülebilirliğidir. Öğütme

tünelirlik, klasifikatör ayarı ve sirkülasyon yükünün ayarlanması ile düzeltilir.

Flotasyon Prosesindeki Değişkenlerin Tarifi :

Flotasyon prosesindeki esas bozucu etkenler, cevherdeki faydalı mineral ihtivası, cevherin oksidasyon durumu ve liberasyon derecesidir. Bilgisayar ile kontrol altına alınan önemli değişkenler ise reaktif besleme hızı, hava miktarı ve selül kenar yükseklik ilaveleridir.

### KONTROLÜN AMACI

Kontrol metodlarının serilerini tariften önce ilk etap olarak kontrolün amaçlarını saptamak faydalıdır. Flotasyon ve öğütme devresinde ve diğer tüm bir bütün halinde alınan proseslerdeki amaç, ürün değerini maksimize etmek ve masrafları minimum yapmaktır. Prosesin verdiği değer (ürün değeri ile materyal değeri arasındaki fark) ile belirlenebilir. Esas önemli tahdit konsantre yüzdesinin izabe mukavele şartlarına eşit veya daha fazla yapılmasıdır.

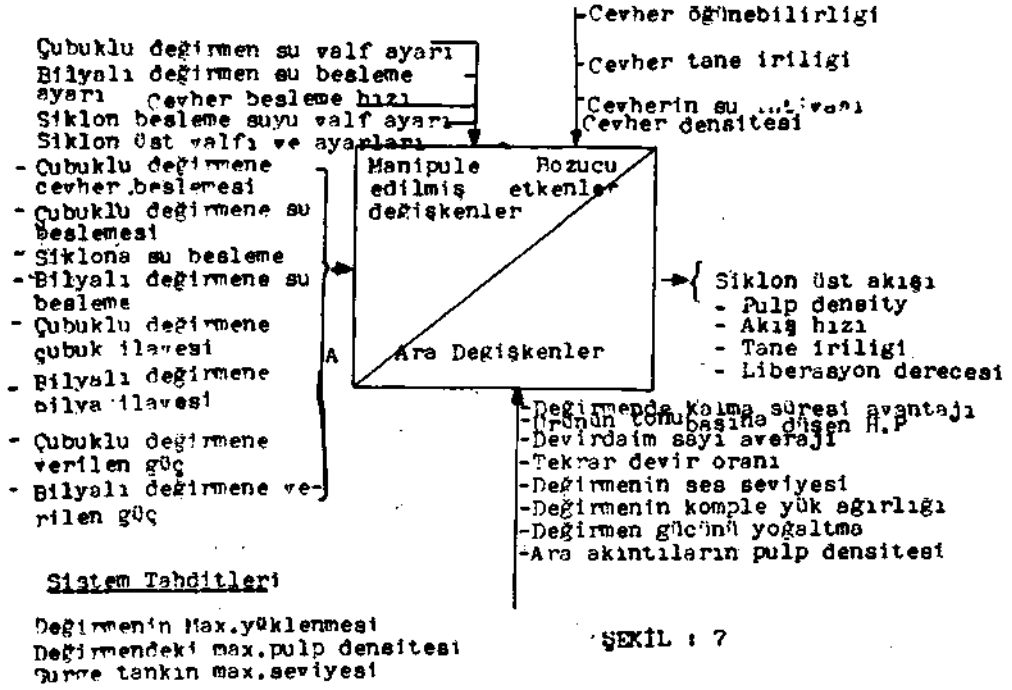
Öğütme ve flotasyon devresinin amacı konsantre değerinin maksimize edilmesi ve bunun yanında öğütme ve reaktif giderlerinin minimuma indirilmesini öngörür.

Kontrolün amacı, dolar cinsinden günlük kâr (SP) olarak aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

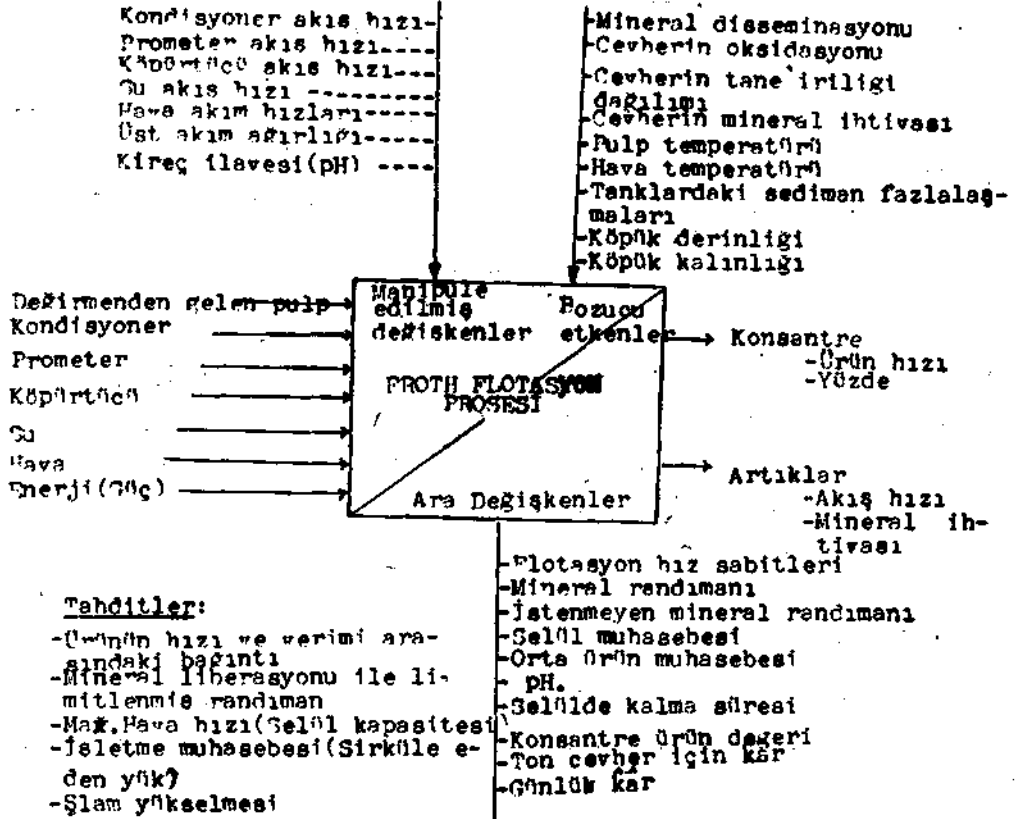
$$\begin{aligned}
 &\text{Maximize} \\
 &\text{Cevher ton} \\
 \$P = &\frac{\text{gün}}{\text{gün}} \times \frac{\% \text{ metal}}{\% \text{ Randıman}} \times \frac{\$}{\text{ton metal}} \\
 &\frac{100}{\$KWHR} \times \frac{100}{\$ \text{Bilyalar}} \times \frac{\$}{\text{ton metal}} \\
 &\frac{\text{ton}}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{\text{ton}} \\
 &= \$ 32,800/\text{gün}
 \end{aligned}$$



## ÖĞÜTME PROSESİNİN GENEL TARİFİ



## FLOTASYON PROSESİNİN GENEL TARİFİ



Eğer idari amaçlar ton/gün olarak ürün çıktılarının yükselmesine izin verirse bunu da hesaba katmak gerekir. Yukardaki denklem öğütme ürün çıktılarının yükselmelerini, kontrol değişimlerine dolu krediler olarak vermektedir. Diğer taraftan madenin ömrü veya pazarlama gibi düşüncelerle ton/gün lük üretim sabit kalacaksa kontrol sisteminin dizayn edicisi denklemdeki parantez içindeki miktarlar ile kendiliğinden ilgilenmelidir.

Eğer tek bir konsantreden fazla olarak ürün çıkışı varsa, ki genellikle böyledir, bu takdirde denklem her bir konsantrenin bir terimi ile ve öğütme fiyatı için kompozite bir terimle gruplandırılmalıdır. Örneğin;

$$\text{Maximize } \$ P = \$ P_a + \$ P_b + \$ P_c - \cdot \$ G$$

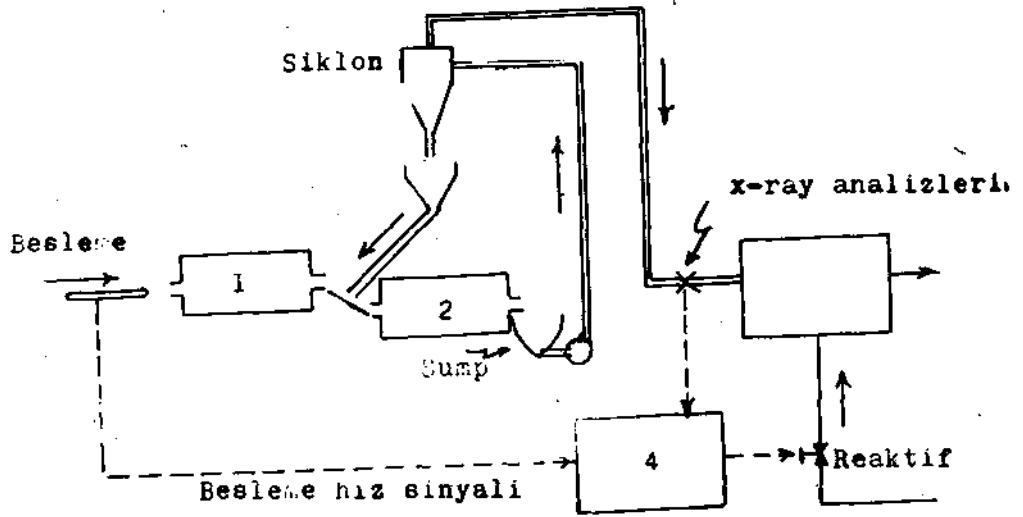
(a) konsantresindeki (b) ve (c) minerallerinin fazla miktarları için ceza hükümleri varsa bu,  $P_a$  için ve-

rilmiş denklemde bir ceza olarak kolaylıkla ifade edilebilir. Aynı şekilde izabeci ile yapılmış olan mukavele tipik olarak, elde edilen metal tonuna düşen dolar ile izabe fiyatı farkı esasına göredir. Buda denklemlerde kolaylıkla hesaba katılabilir.

Hat üzerindeki komputer sisteminin çok değerli fonksiyonlarından birisi tüm operasyon değişimlerinin hesabını tutmak ve mümkün olabildiği kadar saat, vardiya ve gün esas alınarak operasyonu yukardaki gibi hesaplamaktır. Bu bilinen bilgilerle operatörler ve idare, günlük kârı maximize edebilmek için yöntemi ayarlayabilirler ve değerlendirebilirler. Aynı şekilde gereği duyulunca mümkün olan en iyi performansı başarmak için komputerdeki kontrol denklemleri ayarlanabilir.

Reaktif kontrol sistemi : En basit komputer kontrol reaktif orantılı ayarlayıcı sistem Şekil 9'da gösterilmiştir.

#### ELE ENTER REAKTİF.ORAÜTİLL AYAR EDİCİ SİSTE\*



- 1=Çubuklu Değirmen
- 2=Bilyalı Değirmen
- 3=Flotasyon
- 4=Computer

Bu sistem mümkün olan en düşük maliyet fiyatını sağlar ve iyi kâr sağlayabilir. Fakat bazı mühim konularla ümitlenmiştir.

1 — Çubuklu değirmen beslemesindeki ağırlık skalası, x-ray analizinden mineral yüzdesi ile çarpılır. Ve bu işlem devreye giren en geniş bozucu et-

kenlerin ölçülmesinde faydalıdır. Bu noktada ağırlık skalasının kullanılması\* daha sonraki safhalardaki akım ölçmelerinin masraflarını önler. Fakat uzun ve değişkenli proseslerde ölçüm noktaları çubuklu ve bilyalı değirmenler arasındaki ve reaktif ilavesi arasında kalır. Bu kontrol manzarası yönünden istenmeyen bir noktadır.

2 — Kontrol ediciler yalnızca mineralin besleme hızındaki bozucu etkenleri düzeltirler. Yüzebilme, randımana ve mineral yüzdesine tesir eden bozucu etkenleri düzeltir.

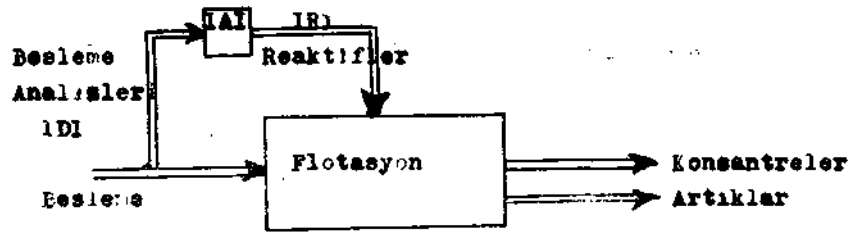
3 — Bu «heads-only» analiz, çok basit akım şemalarının dışında, statik model seviyesinde işlet-

menin proses kontrolüne geniş ölçüde tahdit edilmiştir.

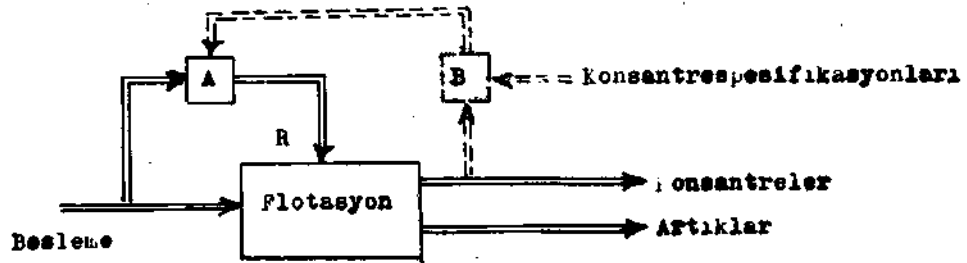
Daha fazla özentili kontrol yöntemleri uygulanabilir ki onlar proseste daha fazla bilinmesi gereken noktaları gerektirir. Daha komplike akım şemaları için en azından semi-dinamik model tavsiye edilebilir, öyleki protosteki gecikmeler kontrol stratejisi için faktör olabilirler.

Flotasyon devresinde, çoklu ayarlanmış ve kontrol edilmiş değişkenler vardır. Bunlar ise çok değişkenli kontrol sistemi ile incelenmektedir.

### ÇOK DEĞİŞKENLİ İLERİ BESLEME REAKTİF KONTROL



### YUKARAKI SİSTEMİN GELİŞTİRME METODU



--- Hatırla. EVOF kullanılarak performans analiz edilmiştir. Veya ideal perf. r.ansı elde etmek için eşdeğer teknikte matrix kontrol katsayısı A ayar edilmiştir.

ŞEKİL; 10

Kireç ilavesi ile pH kontrolü yönünden birkaç devre tek başına ayrı olarak gözükülebilir. Diğer taraftan daha yakın inceleme gösterecektir ki hatırı sayılır iç bağlantı pH seviyesi ile randıman ve mineral seperasyonu yönünden ihtiyaç duyulan diğer reaktiflerin arasındadır. Bu nedenle kontrol devrele-

ri bağımsız olarak analiz edilemezler.

Feedback kontrolünün yanı sıra proseste ileri besleme (feed forward) kontrol olanağı da vardır, ileri besleme kontrolündeki amaç, bozucu etkenleri sistemde etkinliklerini göstermeden önce saptamaktır. Böylece herhangi bir hatanın oluşmasını

dan önce tahminde bulunulabilir ve düzeltici tedbirler alınabilir. Bu sistem «predictive control» olarak isimlendirilir. Feedback kontrol ile kontrol edilen değişkenlerin değerleri set-point'e göre karşılaştırılır ve eğer hatalar varsa kontrolörler manipüle edilen değişkenleri düzeltirler. Burada önemli olan varolan bir hatayı düzeltmeden önce anlayabilmek olanağıdır.

Feedforward kontrol ile ilgili olarak iki nokta üzerinde durulabilir :

1 — Bozucu etkenleri ölçme kabiliyetinin gerekliliği

2 — Stratejiye zaman faktörünün tesiri ve kontrol hareketinin uygunluğunu proses modeline saptamak.

Feedforward kontrolörlerinin hassasiyeti, modelin hassasiyetine bağlı olduğundan ileri ve geri beslemeleri (feedforward - feedback) bir arada kullanmak genellikle avantajlıdır. İleri besleme esas olarak çabuk etki ve geri beslemenin kalıcı hatalarının sayısal değerlerini yuvarlamak için faydalıdır, kullanışlıdır.

Flotasyon devresinin kontrol sistemlerini düzenli durum (steady state), geri besleme (feedback) ve ileri besleme (feedforward) olmak üzere başlıca üç yönden ele alabiliriz. Bunlar arasındaki seçim, işletmede hissedilen bozucu etkenlerin frekansına bağlıdır. Cevher tipi, operasyonel cevher yüzeyi sayısı ve buna bağlanacak zaman, ön işlemlerin miktarı, materyalin ocaktan stoka getirilmesindeki politika, öğütme devresinin stabilitesi, ve tüm bunların şimdiye kadarki durumları yönünden bu işlem çok önemli değişimler oluşturacaktır. X-ray analizörleri, flowmetreler veya yoğunluk ölçücülerin tesis edilmesi kadar birçok madencilik operasyonları kendi akım semalarında bozucu etkenlerin frekans veya değerlerinin farkında olmamışlardır. Steady-state için operasyonlar göze gerçekte inanılmayacak şekilde gözükabilir. Elle alınan numuneler ve hat dışı kompozisyonlar, selül konsantrasyonunda ve flotasyon hızında günden güne değişimler gösterir. Bu durum ise değirmende kullanılan x-ray analizörlerine ve ortalama reaktif sistemlerine umut bağlamanın genişliğini gösterir.

Literatürde en azından 3 rapor vardır ki bunlar reaktif besleme kontrolü için çok değişkenli steady state kontrol stratejisinin üstüne geniş testler yapmışlardır. Bunlara ait düşünceleri şöyle toplayabiliriz :

1 — Bunlar çok değişkenli ileri besleme, düzenli durum stratejileridir.

2 — Önemli bir nokta çok değişkenli ileri besleme kontrolü kavramıdır. Bu değirmenlerden herhangi birisinden elde edilen nümerik değerler pek önemli değildir, çünkü bunlar değişik değirmenlerde dikkatli deneylerle saptanmalıdır.

3 — Reaktifler arasında geniş ölçüde bir bağıntı vardır, örneğin, bir akım şemasında bulk rougher'larda daha fazla asidin olması daha az xanthate kullanılmasını sağlar. Bu nedenle denklemleri kurarken ilgili reaktiflerin masraflarını hesaba katmak ve reaktiflerin toplam masrafını her durumda minimum tutmaya gayret etmek, yani masraf optimizasyonu tatbik etmek için serbestlik vardır.

4 — Yavaş değişmelere karşı gösterilen hassasiyet ve davranış, eğer denklemler reaktif ayarlarını konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak ifade edip geliştirilirse ve bunları model parametrelerini gününe getirmek için hat dışı hesapların yerine hat üstünde kullanarak iyileştirilebilir. Esas olarak konsantrasyon derecesi yeterli ise ileri besleme denklemleri egemen etkiye sahiptir. Eğer ileri besleme denklemleri kontrolde iken konsantrasyonlarının karşılanmasında kalıcı hataların olduğu görülürse geri besleme denklemleri adaptif düzeltme uygulamaları ve bu ileri besleme katsayılarını otomatik olarak gününe getirir.

5 — Proses datasının toplanmasında bu bağlantıların kurulmasında ve neticelerin kontrol için uygulanmasında işletmenin ölçü aletlerinden toplanmış data ile birlikte bir hat üzeri bilgisayarın kullanılması hemen hemen şarttır. Eğer data, selüllerin büyük guruplar halinde toplanmasıyla veya/ hatta işletmeni ntek bir ünite olarak gözetilmesiyle elde edilmiş ise randımanında meydana gelen değişimler küçük olacaktır ve gelişigüzel değişimler ve hatalar tarafından kolaylıkla gizlenecektir.

#### Flotasyon Prosesinin Modelleri :

Eğer feedforward kontrolü uygulanacaksa bir proses için gerekli referanslar hazırlanmıştır. Diagramlar ve analizler, giren ve çıkan bağlantılarla flotasyon ünitesinin tek bir bütün olarak ele alındığını göstermektedir. Keza objektif denklemlerine göre randıman yüzdesi anahtar kontrol değişimlerinden biridir.

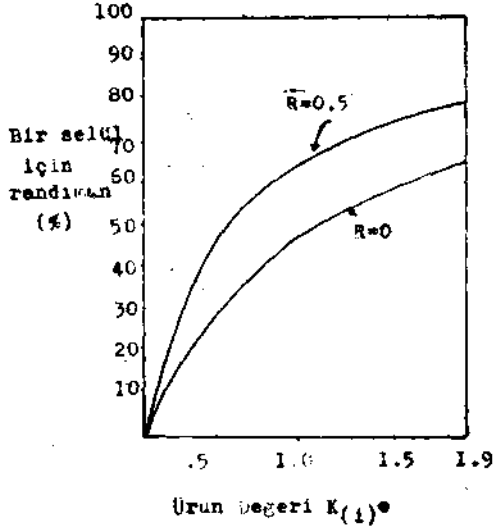
Flotasyona uygulanan komputer kontrol için çalışma metodları göstermiştir ki proses modeline uygun bir yaklaşım kullanmak çok önemlidir. Bunun birçok nedenleri vardır :

Herne kadar randıman yüzdesi optimal kontrol için uygun bilgiyi temin ederse de, kısa bir zaman süresi için kontrol değişimindeki esas yeterli hassasiyetin saptanması oldukça zordur. Bununla beraber bu mümkün olduğu kadar aranacaktır. Gerçekte aranan kontrol değişimleri için ara ve ima edilmiş ölçümlerin yerine konulması sık sık gereklidir.

Komputer, işletme randımanının mümkün olduğu kadar elle yapılan data kolleksiyonları ve analizlerinden daha sık olarak hesaplanmasını sağ-

lar. Ayrıca buna ek olarak komputer tek tek selül-lerin ölçüm datalarına göre flotasyon hız sabitesini hesaplar ve bu bilgileri çok çabuk olarak mümkün başka yollara kontrol hareketi verebilir.

Mineral yüzdesini elde tutarken maximum randımanı bulmak orta ürünlerin uygun bir işleme tabi tutulmasına bağlıdır.



Ürün Değeri  $K(i)^*$

$$R(i) = \frac{k(i)^2}{1-R+k(i)^2}$$

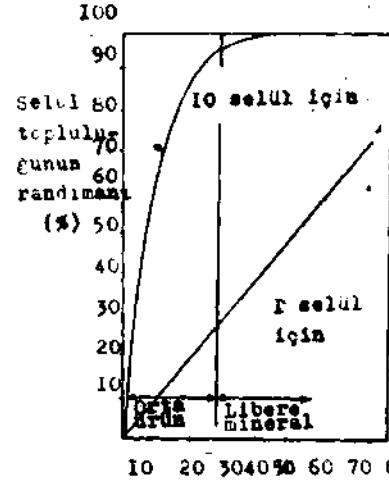
$R(i)$  = Selüle beslenen ve yüzdürülen (i) mineralinin fraksiyonu

$k(i)$  = Selüldeki (i) minerali için spesifik flotasyon hızı

0 = Selülde nominal kalma süresi

R = Yüzdürme için selüle toplam besleme fraksiyonu.

ŞEKİL : 11



Bir selüldeki randıman (%)

$$R_n = R \{ 1 + (1-R) + (1-R)^2 + \dots + (1-R)^{n-1} \}$$

$$R \left\{ \frac{1-(1-R)^n}{1-(1-R)} \right\}$$

ŞEKİL : 12

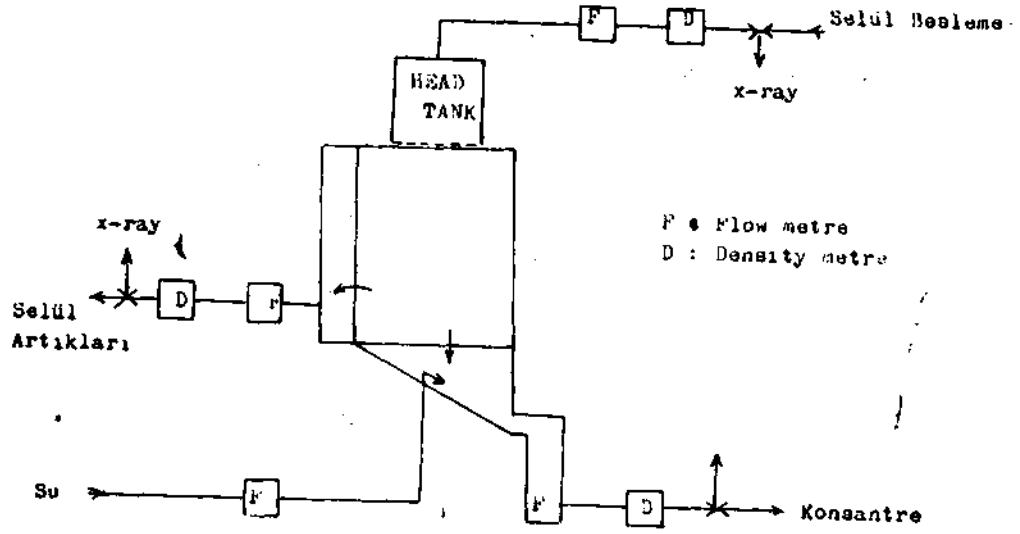
Flotasyon selüllerini ve selül banklarını temsil eden modeller göstermiştir ki, besleme 3 kısımdan meydana geliyormuş gibi görülebilir.

1 — «k» flotasyon hız sabiteli istenen mineral, «k» 10 veya daha fazla selüllü bir bankta flotasyonun hemen hemen mutlak olduğunu garanti eder.

2 — «k» flotasyon hız sabiteli istenilmeyen gang. «k» 10 veya daha fazla selüllü bir bankta flotasyonun mümkün olamayacağını garanti eder.

3 — Yüzebildiği için yüzdeyi azaltan veya yüzemediği için randımanı azaltan materyal (genellikle orta ürünler)...

ölçü aletleri ile teçhiz edilmiş selüllerin ve kısımlarının kullanılması, farklı kısımlar arasındaki mineral ve gang için randıman değerlerinin karşılaştırılmasına izin verir. (Şekil. 13). Bu durum, işletmeyi tüm olarak ele alan dataların kullanılmasına nazaran daha fazla hassasiyet ve kontrol için daha fazla hassasiyet ve kontrol için daha çabuk varolan bilgileri temin eder.



TAM TEÇHİZATLI SELÜL

ŞEKİL : 13

Komputer Fonksiyonel Programları :

Ferdi olarak komputer fonksiyonel programları toplu olarak aşağıda gösterilmiştir.

- 1 — X-ray numune seçme
- 2 — X-ray kontrol
  - dedektör pozisyonlama
  - tahrik sırası kontrolü
  - radyasyon sayma
- 3 — X-ray kalibrasyonu
- 4 — Element inter-action düzeltmeleri
- 5 — Reaktif kontrol programı
- 6 — Direkt Digital kontrol
  - Reaktif akışı
  - öğütme devresindeki değişimler (besleme hızı, density, v.b)
- 7 — Logging programları
  - Operatör loğları
  - Araştırma ve geliştirme loğları
  - Günlük idari raporlar

1 — X-ray numune seçme programı :

Takip edilecek yolu seçmek ve doğru yolu seçme ereği ile kontaklar sağlama alınır ve hareket etki başlatılır.

2 — X-ray operasyon programı :

X-ray ile numunenin tahriki başlar. Kontrol hareketi olarak değerlendirilebilir ki bu durumda bir tek dedektör baş alet olarak kullanılır. Toplanmış

radyasyon dedektörden ve toplanmış değerler bir harici integratörden sayılır veya okunur.

3 — X-ray kalibrasyon programı :

Radyasyon sayısının mineral kompozisyonuna bağlı olarak ifade eden denklem sistemlerindeki katsayıların elde edilmesinde kullanılan regresyon tipindeki programdır. Bu sadece kalibrasyon sırasında kullanılır.

4 — X-ray inter-action düzeltme programı :

Yukarda bahsedilen kalibrasyon programıyla bulunan çok bilinmeyenli denklem katsayılarını kullanmak suretiyle, radyasyon sayım datasından, rutin esaslara dayanarak mineral yüzde kompozisyonunu hesaplar.

5 — Reaktif kontrol programı :

Yukarda incelendiği gibi, reaktif akımlarını kontrol etmek için ileri ve geri besleme devreleri kullanılır.

6 — Direkt digital kontrol :

Lokal tâli devrelerin çoğu alışılmış analog ölçü sistemi kullanabilir, veya alternatif olarak computerin DDC kabiliyetinden yararlanılabilir. Devrelerin çoğu öğütme devresindedir. örneğin, besleme hızları, sump seviyeleri ve pulp yoğunlukları.

7 — Logging programları :

En azından üç tane log programlaması arzu edilir.

a) Operatör loğları - Günlük dataları veya isteyince x-ray analizleri, akış hızları, selül muhasebesi için düzeltilmiş randımanı verir.

b) Araştırma ve geliştirme loğu - yukardakilere ek olarak daha fazla bilgi olanağı vardır, örneğin, hız sabiteleri ve işletme akışı için yazı halinde alınmış daha fazla detaylı bilgiler gibi.

c) idari günlük rapor normal bir çalışma günü için operasyonların özetini verir. Konsantre ve artıkların tüm averajları ve tonajları ile konsantre ürününün değeri, reaktif ve enerji masrafları program halinde toplanmıştır.

öğütme ve flotasyonda komputer kontrol prosesi için sonuç olarak şunları çıkarabiliriz :

- 1 — Ekonomik yönden fizibil bir çalışma yapmak.
- 2 — Teknik yönden fizibil bir çalışma yapmak.

- 3 — Kendilerini başarıya vermiş kalifiye, yeterli bir teknik personeli görevlendirmek.
- 4 — İş için yeterli ve çeşitli işleri başarabilen bir komputer proses şirketini seçmek.
- 5 — Basit, hassas ve çok dengeli bir x-ray analizörleri şirketini seçmek.
- 6 — Kontrol elemanlarının DDC'nin analogu olacağını kararlaştırmak fakat gerçekten gerekli olan daha özentili bir kontrol ayarlayıcı sistemi uygulamak için değerli insan gücü kullanmaktan kaçınmak.
- 7 — Kontrolün supervisory seviyelerine Maximum çaba harcamak.
- 8 — Proses modeli kurmak, hat üzerinde testler yapmak ve parametrelere uymak.
- 9 — Mümkün olduğu kadar orijinal objektiflere yakın kontrolü uygulamak.
- 10 — Kâr hesaplamak, çünkü bu kâr mümkündür.

