

Madenciliğindeki Son Gelişmeler

Saldıray Heri*
İrfan Bayraktar**

Her yılın ilk aylarında dünya madencilik yayın organları, geçen yılların irdelemesini yaparak gelecek yıllarda maden endüstrisinin yönelimini saptamaya çalışırlar. Dünya madenciliğindeki gelişmelerin, ülkemizde yeni yeni canlanmaya başlayan maden endüstrisini büyük ölçüde etkileyeceği şüphesizdir. Bu nedenle dünyadaki madencilik gelişmelerinin yurdumuzda da ilgiyle izleneceği ve değerlendirilmesinin ülke madenciliğine yansıcağı kanısındayız. Bu yazıda, dünya madenciliğinin ağırlık verdiği ve madencilik endüstrisine yenilik getiren konulara daha fazla önem vererek, açık işletme madenciliği, cevher hazırlama, hidrometalurji, çözümlü madenciliği ve aramalarla ilgili gelişmeleri toplamaya çalıştık.

AÇIK İŞLETME MADENCİLİĞİ

Bugün gelişen, teknolojinin sonucu olarak, açık işletme madenciliğinde boyutlar hızla büyümeye devam etmektedir. Mineral endüstrisinin büyük oranlardaki üretimi açık işletmelerden elde edilmekte ve yüksek tenörlü mineral kaynaklarının çoğunun rezervlerinin küçük, düzensiz veya derinde olmasına karşın bu oran düşük tenörlü yataklara yönelim nedeniyle büyümeye devam etmektedir, örneğin; 1950 lerde ekonomik bakır tenörü % 1 Gu iken bugün ekonomik bakır tenörü (uygun rezervlerde) % 0,28 Cu a kadar düşmüştür. (Bakır için en iyi örnekler bu yazının aramalar bölümünde verilmektedir.)

Geçen yıllar gözden geçirilecek olursa, açık işletmeciliğin bu günkü yönelimine doğru kayışındaki etkili faktörlerin başında, endüstrinin hızlı gelişimi ile artan talep* az gelişmiş ülkelerin yeraltı kayırlıklarına sahip çıkma eğilimlerinin artması ve gelişmiş ülkelerde toplumun çevre sorunlarına karşı gösterdiği duyarlılık gelmektedir:

Artan talep daha fazla üretimi gerektirirken az gelişmiş ülkelerin uyanmaya başlaması ve kendi yeraltı kaynaklarına sahip çıkmaları fakat teknik ve teknolojik yetersizlikleri nedeniyle üretime yeterince katkıda bululamamaları, diğer yandan batı ülkelerinin çevre sorunlarına büyük önem vermeleri, üretim kaynaklarını kısıtlamış ve yatırım harcamalarını yükseltmiştir. Bunun sonucu olarak da artan talebi karşılayabilmek için ortalama ekonomik tenörler düşmüş, yatırım karşılığı olan rezervler birkaç milyon ton yerine birkaç yüz milyon ton olmaya ve işletme boyutları, işletme yöntemleri, araç ve gereçler de buna paralel olarak hızla değişmeye

Açık işletmenin Planlanması ve Dizayını : Açık işletmelerin bugünkü boyut ve ölçekte planlanmasında ve dizaynında, işletmenin bütün evrelerini kesinlikle kontrol edebilmek ve planlamada en uygun ekonomik sınırları saptamak için bilgisayar programlarında yönelim «yapılabilir mi?» den «yapılamaz mı?» ya dönüşmüştür. Bunun da nedenleri yukarıda açıklandığı gibi kaynakların azalması ve «yapıla-

(*) Dr. Jeolog, Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Enstitüsü, öğretim Görevlisi
(**) Maden Y.Müh., Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Enstitüsü, Asistan

maz* cevabına karşı teknolojinin •> tjeniş alternatiflerle olanak sağlamasıdır; Planlamanın ekonomik yönünü etkileyen gerçek parametrelerin bulunması (araç-gereç kapasiteleri, teknolojik olanaklar-, pazarlama koşulları vb.) malzeme seçimi ve programlanması, işgücü değerlendirilmesi ve diğer kriterlerin kullanılmasıyla, en düşük işletme harcamalarının pratik madencilik limitleri içinde saptanması şeklinde olur. Açık işletmenin alacağı en son şeklin dizaynı ise, bugün, cevher kütlesini, küçük bölümlere ayırarak, her bir bölümü ayrı ayrı değerlendirme şekline doğru yönelmiştir. Bu yöntemde; jeoloji, mineraloji, minimum ekonomik tenörler, dekapaj oranları, cevher tenörleri, metalürji, yan ürünler ve rezervlerin dizaynı üzerindeki etkileri, uygulanan model ve benzetiş (simulation) değerlendirilmekte ve optimum faydalanma olanakları saptanmaktadır.

Kaya Mekaniği, Duyar Eğimi ve Duvarların Duraylılığı : Şimdiye kadar yapılan çalışmalar, yamaç eğimlerinin yeterince dik olmasını sağlamak amacıyla güdüyordu. Fakat bugün, araç-gereçlerin çok büyük boyutlara erişmesi (bu araçların kolayca hareket edememeleri ve kaza anındaki kayıplar nedeniyle) yamaç eğimlerini sınırlayıcı faktör olarak etkilemektedir. Bunun yanında yamaçların duraylılığını da sağlanması büyük önem kazanmaktadır. Yamaç eğimlerini ve duraylılığı kontrol eden jeolojik faktörler (faylar, kırık sistemleri, kayaların dayanımlarına göre sınıflandırılmaları ve yeraltı suyu) yine aynı önemle ele alınırken (kaymaları önceden saptama) ve yapay duraylandırma çalışmaları da hızlandırılmıştır.

Kaymaları önceden Saptama :

A.B.D. Maden Dairesi (The Bureau of Mines) açık işletmelerde yeni bir araştırma yapmaktadır. Bu araştırmanın amacı, işletmede olabilecek herhangi bir kaymanın sorun yaratmadan önlenmesi için önceden haber almasına yardım edecek bir yöntem geliştirmektedir.

Bu yöntemde, sismik odakların saptanma tekniği kullanılmaktadır. Açık işlet-

me basamaklarında gelişebilecek kaymayüzeyinin konumu, eğer o yörede öncel sismik gürültüler (seismic noise) başlarsa bu yöntemle kolayca bulunabilmektedir.

- Birkaç ivmeölçer (accelerometer), hız aleti veya diğer sismik ileticiler (geophones) açık işletmenin çevresine yerleştirilmekte ve kaya içinde oluşan herhangi bir titreşim sismik ileticilerden birkaçı tarafından kaydedilmektedir. Bu kayıtlardan odak noktası, kesiştirme yöntemi ile kolayca bulunabilmektedir., Böylece, işletme mühendisi muhtemel kayma yüzeyine uygulanmakta olan kuvvetlerin konum ve değişen yönlerini hesaplayabilmektedir.

Yapay Duraylandırma : Son senelerde bazı açık işletmeler gerek yamaç eğimini gerekse emniyeti arttırmak amacıyla bazı yapay duraylandırma yöntemleri geliştirmişlerdir. Bunlardan bazıları şunlardır:

1. Basamak topraklarının taban kısmını doldurma veya beton duvarlarla destekleme '...;.. •" •;'

2. Kayaç çivisi (rock bolting) ile sağlamlama

3. Çimentolama

Yukarıdaki yöntemlerden herhangi biri uygulanmadan önce, yapılacak birşey varsa o da ekonomik yorumlardır.

Makinalar : Açık İşletmeciliğin gelişimi boyunca, işletme boyutları genişlemiş ve derinleşmiş ocak ile tesis arasındaki nakliye yolları uzamış, dekapaj miktarları artmış ve cevher tenörleri düşmüştür. Bütün bu faktörler nedeniyle, işletmeyi ekonomik kılabilmek için üretimleri yüksek, operasyon bacakları düşük makinaların yapılmasına doğru yönelmiştir. Uzun denemelerden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile büyük makinelerle ilgili birçok problemler çözülmüş ve büyük makinelerin uygulama alanına girmesi gerçekleşmeye başlamıştır. Örneğin, 20 - 25 yarda küplük mekanik kürekler, 150-200 tonluk kamyonların kullanılması bu gerçeğin sonucudur.

Günümüzün olanakları, mühendislere bu büyük makinaların karmaşık yapılarındaki yük ve gerilim dağılımını kolaylıkla sap-

tama olanaklarını verememektedir. Eski yöntemlerde birçok varsayımlardan giderek sağlamaştırılması gereken kısımlar, gerilim analizlerinin sonucuna göre saptanırken, bugün yük dağılımı, değişik koşullar altında oluşturulan benzetişlerden (simulation) yararlanılarak görülebilir duruma getirilebilmektedir.

Açık işletme madenciliğine ilave edilen en yeni makinalardan biri de paletler üzerine oturtulmuş «hidrolik cevher sürücüleridir» (Hydraulic Slurrifier). Bu 225 tonluk makina 8 ile 15 m. kalınlıktaki gevşek örtü tabakasını veya patlatılmış cevher yığınını, basamaklardan veya aynadan aşağıya yıka-bilmektedir. Aynadan aşağıya yıkanan çamur halinde cevher «sürücü» yü izleyen hareketli elek ve kırıcılara gelir. Çamur halinde kırıcılardan geçen cevher 40 cm lik çamur pompaları ile «pipeline» na Verilir ve istenen yere gönderilir. Makinanın hidrolik püskürtücülerini 600 H.P türbin pompaları ile beslenirler ve 250 P.S.I pounds per-square inch) basınçla su fişkırtırlar. Bütün bu malzeme. 1000 H.P lik değişik hızdaki pompa dahil hidrolik olarak yürüyen paletli bir gövde üzerinde oturtulmuştur.

CEVHER HAZIRLAMA

Son yıllar, özellikle 1973, dünya politikasının, çevre değişimlerinin, sermaye problemlerinin ve madenciliğin belirsiz geleceği bir anda mineral endüstrisi üzerinde geçmişte görülmemiş bir ölçüde etken olduğu ve bir endüstri dalında en kritik değişmelerin başladığı yıllar olarak görülür.

Bir yandan, millileşmeye yönelik, çevre sorunları ve enflasyon bazı üretim güçlükleri getirirken, diğer yandan artan talep cevher hazırlamada da büyük değişimlerin yapılmasını gerektirmiştir. Bu değişikliklerin bazıları devreye girmiş, bazıları geçen yılların deneme sonuçlarının getireceği yeniliklerle önümüzdeki yıllarda uygulamaya gireceklerdir.

Kırma-öğütme : Kaba kırıcılarda alışılmış olanlardan çok daha büyük boyutlu

olanlara doğru gidiş birçok şirketlerde görülür, örneğin, «B. Columbia» da Similkameen Mining Co., ve Arizona'da Inspiration Copper, 54 inç giriş açıklığı olan gyratory kırıcılar kullanırlarken, İsveç'te LKAB şirketi, besleme ağız açıklığı 83X66 inç olan ve kapasitesi, sert kayalar için; 14 inçlik çıkışla 3000 ton/saat ve 10 inçlik çıkışla 2100 ton/saat olan çeneli kırıcılar yapmıştır.

İnce kırmada görülen en büyük aşama ise 10 feet (3 m) çaplı Nordberg konik kırıcıların yapılması olmuştur. Güney Afrika'da «Cape Province» de bir demir projesi için kurulan bu kırıcıların kapasitelerinin 300 ton/saat olduğu söylenmektedir.

Çubuklu değirmenler hâlâ iki kademe- li öğütme devrelerinde (çubuklu + bilyalı) sınırlayıcı faktörlerdendir. Küçük çaplı çubuklu değirmenler daha olumlu sonuçlar vermesine karşın çok büyük boyutlardaki çubuklu değirmenler için uygun çubuk boyutları, büyük hacimdeki pulp çıkışı ve bunlarla ilgili çeşitli sorunlar henüz çözümlenmiş değildir. Buna karşın bilyalı değirmenler de böyle sorunlar olmadığı için boyutlar büyütülmektedir. St. Lawrence çimento fabrikasında 17 feet çapında 56 feet uzunluğunda bir bilyalı değirmen, kuru öğütme için, 8700 H.P. gücünde bir motorla Nisan 1973 ten beri başarıyla kullanılmaktadır.

Son yıllarda öğütmede görülen belki de en önemli gelişme, yarı otojen değirmenlerin (yaklaşık çap-uzunluğu oranı 3/1 olan değirmenler) bakır ve metalik olmayan cevherlerin öğütülmesinde kullanılmaya başlanmasıdır. Otojen değirmenler, daha önceleri benimsenen yalnız bazı demir cevherlerinin öğütülmesi prensibi dışında çok nadir belki bakır cevherleri için kullanılabilirdi.

Yarı otojen değirmenlerin, yeni cevher tiplerinin öğütülmesi ile getirilen yeniliğin yanı sıra boyut ve kapasitelerde de büyümeler olmuştur. Kanada'da bir demir şirketi (Iron ore Company of Canada) 2 adet 34 1/2 X 7 1/2 feet boyutlarında «aerofall»

otojen değirmenler kurmaya başlamıştır. Bu değirmenlerden herbirinin kapasitesi 1500 ton/saat olacak ve 2 adet 3000 H.P gücündeki motorlarla çalışacaklardır. -Diğer yandan, Minnesota'daki Hibbing ta-konitlerinin (silisli demir cevheri) öğütül-mesi için Bethlehem Steel Company 6 adışt 36X14 1/2 feet boyutlarında otojen değirmenleri kuracağını açıklamıştır. Bu değirmenlerin 2 âdet 6000 H.P lik motor-larla çalışacağı belirtilmiş fakat ayrıntılar-la ilgili hiçbir bilgi verilmemiştir.

Değirmenlerin büyümesiyle ortaya çıkan sorunlardan biri de güç kaynağı motorların geliştirilmesi olmuştur. Büyük değirmenleri tek motorla çalıştırmak ola-nakları güçleştirdiğinden, değirmenlerde çift pinyon dişli sistemlerin uygulanması ön-görölmüş fakat motorların yükü eşit paylaş-ması sağlanamamıştır. Yalnız British Colum-bia'nın Lornex Mining Corp. da Canadian General Electric özel bir sistem olan «Quad-rotorque» sistemini geliştirmeyi başarmış-tır. Bu sistem bir elektrik çifti ile sinkron-ize çalışan iki 4000 H.P motora güç verir ve iki yarı otojen değirmeni çalıştırır. Buna pa-ralel olarak görülen diğer bir gelişme de değirmenlerin üzerine monte edilen motor-ların (wrap - around motor) yapılmasıdır. Bu tip motorlarda hiçbir dişli sistemi yok-tur. Değirmenin kendisi motorun hareketli eksenini oluşturmaktadır.

Bugün dünyada, boyları çaplarından küçük olan 150 otojen veya yarı otojen de-ğirmen endüstride çalışmaktadır. Bunların 65 i demir, 28 i bakır ve geri kalanı uran-um cevherlerini öğütmede kullanılmakta-dır.

Son yılların hiç kuşkusuz ki en önemli gelişmesi «Snyder» prosesinin birkaç yıllık denemelerden sonra bazı şirketler tarafın-dan büyük kapasiteli pilot çalışmalar için uygulanmaya konmasıdır. Prosesin en bü-yük avantajı, kırma sıkıştırıcı gerilimlerle değil, çekici gerilimlerle oluşturmasıdır. Bilindiği gibi bir kayacın çekme gerilimle-rine olan dayanımı, sıkışma gerilimlerine o-lan dayanımından çok daha küçüktür. Bu

özellikten yararlanan proses, cevher mine-rallerinin tane sınırlarından ayrılmasını gerçekleştirebildiğinden ideale yakın ser-bestleşmeyi sağlayabilmektedir. Cevher bir oda içinde buhar basıncı ile sıkıştırılmakta sonra ani olarak açılan bir kapaktan ses hızı ile fırlayan cevher çarpma levhalarına çarp-maktadır. Üzerinden ani basınç kalkması ile oluşan çekici gerilimler çarpma ile destek-lendiğinden cevherin kırılması istenilen bo-yutlarda olmaktadır. Şimdiye kadar yapı-lan denemelerde 0,6 - 60 ton/saat kapasite-li sistemler başarılı olmuştur. Yakında 90 ton/saat lik denemelerin yapılmasına başla-nacaktır.

Sınıflandırma : Güney Afrika'da stan-dartlaştırman geniş çaplı siklonlar diğer ül-kelere de yayılmaktadır. Bouganville Cop-per ve Gibraltar 30 inçlik siklonları kulla-nırlarken U.S. Pima Mining 26 inçlik siklon-ların başarı ile kullanıldıklarını açıklamışlar-dır.

İlginç bir sınıflandırma devresi de Si-milkameen (Kanada) dadır. Burada yarı otojen değirmenlerle 96 inçlik spiral Masi-fi katör kapalı devre çalışmakta ve spiral klasifikatör eleklerin yerini almaktadır. Spiral üst akımı yaklaşık 20 meş olup bir siklona basılmaktadır.

Gayrimetrik Zenginleştirme : Bu yolla zenginleştirmedeki bir gelişim, flotasyon artıklarından ince kassiteritin (SnO_2) Bart-les - Mozley masalarında kazanılmasıdır. Masaya beslenen ince cevherin % 98 i — 200 meştir ve % 0,19 Sn içermektedir. Bu yenilik Texasgulf'un Ecstall konsantratör-ründe yapılmıştır. The Bartles - Mozley masalarından % 0,7 Sn lik bir konsantre % 50 verimle kazanılacak ve bu ilk kon-santre Holman şlam masalarında % 27 Sn tenörüne çıkarılacaktır.

Flotasyon : Son yıllarda geliştirilen büyük hacimli selüller, büyük üretilere ve işletme kolaylıklarına cevap vermesi nedeniyle benimsenmeye başlanmışlardır. Bunun sonucu olarak da büyük hacimli se-lüllerin kullanılması gittikçe yaygınlaş-maktadır, örneğin, 400 - 500 kübik feetlik

tek milli selüllerle 600 kübik feetlik çift milli selüller birkaç tesiste hemen uygulamaya girmiştir; Aynı zamanda Maxwell firmasının yaptığı 700 ve 2000 kübik feetlik selüller ilgi görmektedir. 1970 den önce kullanılan 40 - 60 kübik feetlik selüllerin son yıllarda bu denli büyümesinin nedeni bugünkü ekonomik koşullardır.

Flotasyon selülleri büyütülürken, şamların flotasyon yada başka bir yöntemle kazanılması ve ksantatların mineraller üzerindeki reaksiyonları belli başlı araştırma konuları olmuştur.

Submikroskopik tane boylarının değerlendirilmesi bilindiği üzere zordur. Buna karşın, endüstride ince öğütmenin artmasının sonucu böyle ince tanelerin değerlendirilmesi ya da sorun yaratmadan, atılabilmesi için etkin yöntemler geliştirilmesine çalışılmaktadır. Onuncu Uluslararası Cevher Hazırlama konferansında böyle ince tanelerin çeşitli teknikler kullanılarak işlenebilmesinin olanak içinde olduğu tartışıldı. Bu yöntemler flotasyon, farklı çöktürme (differential precipitation), sıvı - sıvı ayırımı (liquid - liquid separation), manyetik ayırma gibi yöntemlerdir. Aynı kongrede Michigan Tilden madenindeki hematit cevherinin hazırlanmasında seçimli topaklaşma (selective Flocculation) planlanması ve smiflandırıcı siklonlarla çok ince tanelerin işlenmesi anında topaklaştırıcıların (flocculants) kullanılması tartışılmıştır. Fosfat şamlarının suyunun daha etkin bir biçimde atılması için yeni yöntemler açıklanmıştır. Şlam çöktürmesinde şlamın kendisinden daha büyük taneler kullanılarak çökmenin arttırılmasında kum (sand) un başarılı olduğu açıklanmıştır.

Sülfür minerallerinin flotasyon mekanizması belli başlı araştırma konularından birini oluşturmaktadır, örneğin, flotasyonda çok önemli rolü olan ksantatlarla ilgili sorunlar henüz bütünüyle çözümlenmiş değildir. Mineralin tipi ve elektrot potansiyeline bağlı olarak ksantatların veya diksantojenlerin yüzey reaksiyonları araştırmaları zaman, zaman açıklamalarla devam etmektedir. ;

AIME nin yıllık toplantısında Prasad, Kuhn ve Fuerstenau tarafından verilen tebliğlerde ksantat çeşitlerinin sülfür mineralleri üzerine adsorbsiyon özellikleri ile ilgili bazı düzeltmeler sunulmuştur. Prasad'ın verdiği tebliğde, galenit üzerindeki yüksek diksantojen duraylılığının diğer birçok sülfür minerallerinden fazla oluşu galenit mineralinin kristal yapısındaki atomlar arası uzaklığın diksantojen molekülü ile uyumluluk göstermesinden ileri geldiği öne sürülmüştür. Natarajan ve Iwasaki tarafından yapılan çalışmalarda ise sülfür minerallerinin Eh a karşı gösterdikleri tepkinin bazı koşullarda pH'in fonksiyonu olduğu görülmüştür. Bu denemelerde ölçülen Eh m (belirli koşullar altında) soy metallerinkine yaklaştığı saptanmıştır. Bu olay belki de sülfür mineralleri üzerinde pasif bir tabakanın oluşması nedeniyledir, bu koşullar ise sülfür minerallerinin flotasyon veya liçinge daha az yatkın olduğu bir ortam oluşturmaktadır. Sülfürlerle ilgili diğer önemli bir çalışmada Lierde tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada galenitin ksantatla flotasyonunda hafif molekül ağırlığına sahip poliakrilitlerin bastırma etkisi konu edilmektedir. Diğer yandan Banerji, bastırılan sfaleritin aktivasyonu için gerekli bakır iyonlarını $CuSO_4$ yerine bakır elektrotların kullanılabilirliğini denemiştir. Malahit sülfürleştirildikten sonra flotasyonunda, sülfür iyonlarının flotasyonu olumsuz yönde etkilediği Sato ve Laskowski tarafından saptanmıştır.

HİDROMETALURJİ

20 yıl öncesine kadar dinamik bir gelişme içinde olan hidrometalurji kısa bir duraklama devresi geçirdikten sonra yeniden canlanmış ve bugünkü koşullarda çeşitli avantajları nedeniyle daha hızlı gelişmeye başlamıştır- örneğin, konvensiyonel fırınların çıkardığı SO_2 gazının etkisinin azaltılması gerekliydi. Ayrıca teknolojinin metal gereksiniminin artışı düşük tenörlü cevher yataklarının işletilebilirliğini gerektirdi. Bu süreç içerisinde madencilik ve metalürji kuruluşları, yeni cevher yatakları bul-

ma, işletme ve yeni prosesler geliştirmeye yöneldiler. SO₂ gazının çevresel sorunlar üzerindeki etkinliğini azaltmak için bu gazı değerlendirerek sülfirik asit yapmaları bu asiti kullanacak yeni tekniklerin gelişmesine yardımcı oldu. Maden şirketlerinin, yatırımları ve işletme harcamalarını azaltmak için girişimleri de hidrometalurjinin daha ilginç duruma gelmesini sağladı.

Bugün yapılan hidrometalurjik araştırmalarda bakır yine en aktif bir birey olmaya devam etmekte ve bu alanda alışılmamış sülfirik asit - demir sülfat liçinin pek çok proses alternatifi sunulmaktadır, örneğin, kısa süre önce nitrik asitle yapılan sülfürlü bakır minerallerinin liçingi ile ilgili çalışmalardan sonra bu prosesten element kükürtün de elde edilmesini öngören bir yöntemin uygulanması olarak kazanmıştır. Ayrıca bakır minerallerinin bir otoklav içinde perklorik asitle liçingi de geçtiğimiz yıllarda araştırılmıştır. Kovellin, kalkosin ve bornitin her birinin liç hızları yaklaşık olarak aynıdır fakat kalkopiritinki oldukça düşüktür. Asitleliçing prosesiyle kalkosinden bir mol bakır alınarak kovelline dönüştürülebilir fakat yapay kovellinin oluşması liç hızını yavaşlatır. Nitrik asitle (içte ve basınçla liçte iki proses için aktivasyon enerjileri sırasıyla 1,8 ve 11,4 Kcal/mol dır.

Nikel üretim prosesleri son yıllarda ilgi çekici olarak gelişmeye devam etmektedir. Bu prosesler içerisinde ilginç olanlarından birisi otoklavlardaki nikel üretim prosesidir. Bu proseste nikel cevherleri otoklavda sülfitleştiriliyor, çözünür sülfatlara oksitler niyor, nütürleştiriliyor ve demirle semente edilerek sonunda manyetik seperasyon ve kimyasal rafinasyon ile semente edilen üründen saf nikel üretiliyor. Japonlar, lateritik nikel yataklarından nikeli, klorürleştirme - buharlaştırma prosesi ile kazanmak için çalışmaktadırlar. Diğer bir yandan lateritlerden nikel kazanmak için sülfatlaştınci kavurmadan sonra sıcak sülfirik asit ile çözme olanakları araştırılmaktadır.

Son zamanlarda altın fiyatlarının yükselmesi karşısında altının siyanür liçingi ile üretim yöntemi yeniden ilgi kazanmıştır.

Bu arada A.B.D. (Nevada - Carlin) de karbonatlı kayaçlar içerisindeki nabit altın yığın liçingi ile kazanılmaktadır. Aynı konuda, Rus araştırmacılarının Özellikle daha aktif olduğu sanılıyor.

Bugün Japonya'da kazanılması metalleri yönünden büyük problem olan ilrrienit'in yapay rutile dönüşümü uygulamaya sokulmuştur. İlmenit 900°C de kok kömürü ile redüklenmekte, manyetik seperasyona sokulmakta ve sülfirik asitle liçi yapılmaktadır.

Okyanus nodüllerinin düşük SO₂ gazı içeren fabrika gazlarına benzer gazlarla Sülfatlaştırılması da geçtiğimiz yılda yapılmıştır. Sülfatlaştırılmış nodüllerin kaynar su ile liçinginde Ni, Co, Cu'un % 80 inden fazlasının kazanıldığı bildirilmektedir.

ÇÖZELTİ MADENCİLİĞİ

Son yıllarda çözelti madenciliğinde git-tikçe yoğunlaşan çalışmalar nihayet laboratuvarlardan pilot çalışmalara ve arazide uygulamalara dönüşmüştür. Pek çok kuruluş, çözelti madenciliğini konvensiyonel madencilik ve cevher hazırlamaya karşı bir alternatif olarak görmektedir, örneğin, Kennecott Copper Corp. ve AEC nin Lawrence Livermore laboratuvarı, nükleer patlayıcılarla parçalanmış bir cevher kütleisindeki birincil bakır sülfür minerallerinin (özellikle kalkopiritin) yerinde çözelti madenciliği yoluyla (in - place solution mining) kazanılma işleminin fizibil olması için ortak bir program geliştirmişlerdir. Bu ortak çalışma programı gerçekleştiğinde teknik ve çevresel sorunların, yeraltı uygulamalarının, yeryüzündeki tesislerin bütünüyle ekonomik olduğu ortaya konmuş olacaktır.

Nükleer patlayıcılar kullanılarak parçalanmış cevher kütleisinin liçing denemelerinde liç hızının beklenenden daha hızlı olduğu kanıtlanmıştır. Bunun başlıca iki etkene bağlı olduğu söylenebilir. Birinci etken, oluşan liç reaksiyonları ekzotermiktir ve kayaçlar zayıf bir ısı ileticisidir. Dolayısıyla sıcaklığın yükselmesi reaksiyon hızını arttı-

rır. ikinci etken, 2000 feet lik hidrostatik basınç altında, derin bir yatağın liç edilebilmesinden doğan yüksek basınç, liç çözültisi içinde yüksek oksijen derişimine izin vermesidir. Bu arada liç zonundaki feldispatların asitlerle olan reaksiyonlarının ekzotermik olması nedeniyle bu olayda açığa çıkan ısının reaksiyon hızı üzerindeki etkisi henüz saptanmamıştır.

Anaconda Company Butte. Montana da çeşitli yığın şekilleri üzerinde üç denemelerine devam etmektedir. Bu denemelerde liçing prosesinin en yüksek düzeyde verimle uygulanabileceği yığın şekli ve boyutları araştırılmaktadır- Burada en önemli sorunlardan birisi, bu yığınlara havanın en etkin şekilde nasıl işleyeceğidir. Küçük yığınlarda havanın her.yere erişmesi olanaklı olduğundan bakır üretimi yüksek olmakta fakat işletme harcamaları artmaktadır. Çalışmalar sonucunda bir optimum ekonomik yığın boyutunun ortaya çıkarılması olasıdır. Yığın içerisinde havanın (O₂) etkisinin önemi açıkça belli olduğundan, bir oksijen tesisi kurularak yığın içine oksijen verilmesi düşünülmektedir.

Çözeltinin liç edilecek kütle içindeki dağılımı da Anaconda tarafından çalışılmaktadır. Bu çalışmada çözelti yığın içine, yığının eğimine dik olarak açılan deliklerden enjekte edilmektedir. Böylece bakır üretiminin 30 gün verimli olarak devam ettiği, 30 uncu günden sonra azalmaya başladığı izlenmiştir. Bütün bu çalışmalardan yığın geometrisi ve yığından yapılan üretimlerle ilgili yeterli bilginin toplandığı sanılmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmaların daha da verimli olacağı beklenmektedir.

Üçen yıl, akademik bir topluluk çözelti madenciliğinin çeşitli fazlarını araştırdı. Çalışmaların.önemli bir bölümünü modellerin geliştirilmesi oluşturdu. . Modellerin geliştirilmesi, laboratuvar çalışmalarının sonuçlarını, yığın ve yerinde liçing proseslerine götürmeyi amaçlıyordu.. (Scale - up)-

Stanford ve New Mexico Bureau of Mines tarafından iki model geliştirildi. Model-

lerin birbirinden farkı çok âzdır. Birisi bakır minerali ile reaktan'ın ani reaksiyonuna göre diğeri yavaş bir reaksiyon hızına göre kurulmuştur. Her iki model de farklı tipte kfv cevherler için sonuçların duyarlılıkla tahminini gösterecek niteliktedir. Stanford modelinin matematiksel karışıklığı nedeniyle yığın liçing uygulaması için önce basitleştirmek gerekebilir. Liçing çözeltisinin bileşimi liçing zonunun her yerinde aynı ise Stanford modeli uygulanabilir görünümündedir. (Nükleer patlama ile parçalanmış cevher kütlelerinin, patlama merkezinden yüzeye doğru çok daha fazla kırılmış bir baca gelişir. «Rubble Chimney». Bu bacada liçing hızı beklenenden çok yüksektir.) Diğer taraftan New Mexico Bureau of Mines modeli oksitli cevherlerin liçinginden veya çözünmenin diffuzyon yoluyla değil doğrudan kimyasal reaksiyona geçtiği cevherlerin liçinginde daha kolay uygulanabilmektedir. Bunlara paralel olarak The New Mexico Institute of Mining and Technology yeni bir mikrop üzerinde çalışmaktadır. Bu mikrop 45 - 70°C arasında Fe ve Mo bileşiklerinde Si oksitliyerek indirgeyebiliyor. Thiobacillus olarak bilinen mikroplar ise bu gibi yüksek sıcaklarda etkin değildir. Ekzotermik reaksiyonlar sonucu, yığın içinde sıcaklığın yüksek olması nedeniyle yeni bulunan mikrop daha sıcak zıplara enjekte edilerek molibden üretimini arttırabiliyor. The U.S. Bureau of Mines'in Raporlarına göre, kalkopiritin liçinginde liç çözeltisine NaCl ilave edildiğinde reaksiyon hızının arttığı belirtiliyor. Bütün bu çalışmalardan anlaşılacağı gibi çözelti madenciliği, konvansiyonel madencilik ve cevher hazırlamaya ciddi bir alternatif olarak görülmektedir, özellikle düşük yatırım harcamaları çözelti madenciliği çalışmalarının yayılmasını, tekniğin geliştirilmesini zorlamaktadır.

A R A M A L A R

1973 deki yüksek fiyatlar özellikle Cu, Zn ve Au aramalarını hızlandırmıştır. Fakat Avustralya, British Columbia, Zaire, Peru ve Zambia'mn madenciliği daha siki kontrol altına almaları aslında aramalar yönün-

dön oldukça önemli olan bu bölgelerde aramaları minimuma indirmiştir. Aynı zamanda Güney Batı Afrika, İngiltere, İspanya ve Güney Batı Pasifik ülkeleri aramaları çekici yapan uygulamalara başlamışlardır.

Uzun zamandan beri sözü edilen ve beklenen petrol bunalımının 1973 de patlak vermesi, kısa süre içinde de olsa, uçak benzini sıkıntısı ve para darlığı nedeniyle aramaları etkileyeceği sanılmaktadır. Fakat bunun yanında politikacılarında bildikleri bir enerji problemi vardır ki o da «ekonomik jeoloji» uygulayıcılarının bilinen ve bilinmeyen kömür, petrol şeyli, petrol kumu ve uranyum yatakları ile jeotermal enerjinin geliştirilmesine yardımcı olmaları ile çözümlenebilecektir. Bu nedenle endüstriyel gerçekler uygulamalı jeolojiyi ileriye doğru itmektedir.

Kanada Kalkanı : Geçen yıl Nöranda'nın kuzeybatısında başlıyan aramalar havadan yapılan E.M. (Airborne electro - magnetic) ölçmelerle büyük ve yaygın (Iso - Copperfields) kütle tipi Cu - Zn - Pb - Au yataklarının bulunmasıyla sonuçlanmıştır. Matagami deki benzer yatakların uzantısı Texasgulf tarafından yapılan sondajlarla Kidd Creek ve Phelps Dodge'da saptanmış ve yeni rezervler devreye girmiştir. Yellowknife'in 300 mil kuzey doğusunda Arkeen Volkaniklerinin izlenmesi ile aynı volkanikler içinde belli bir yapısal dizilim üzerinde olan Arvik ve Greenex, Cominco - Bathurst Norse madenlerinin devamında 8 milyon tonluk kütle tipi Ag, Zn, Cu, Pb, Au yatakları bulunmuştur.

Kanada ve Güneybatı ABD : Apalaş'larda Imperial Oil - Cuvier tarafından devam ettirilen porfiri, kütle tipi sulfid ve Mississippi Vadisi tipi yatakların aranması zengin Zn yataklarının bulunması ile sonuçlanmıştır. El Arco'da (Baja California - Mexico), Asarco Mexicana Şirketi 600 milyon ton oksit ve sulfid şeklinde % 0,6 Cu içeren yeni bir yatağın bulunduğunu açıklamıştır. Çeşitli dalga boylarında çekilmiş uydu fotoğraflarının yorumlanması Ely (Nevada) da daha önce saptanmamış fakat bölgede cev-

herleşme ile yakından ilgisi olduğu bilinen kayaç topluluklarının olduğunu ortaya koymuştur.

Yeni Çinko Provensi : MacKenzie dağlarında (Yukarı - Kanada) jeologlar uzun aramalardan sonra yeni bir çinko provensi bulmuşlardır. Burada zenginleşmenin genellikle breş ve fay zonlarında görüldüğü ve tenorun % 25-30 Pb ve Zn olduğu büyük tabakalara uyumlu (Stratiform) kütlelerin bulunduğu bildirilmektedir.

Bu arada çinko aramalarını kolaylaştırıcı yeni bir yöntem geliştirilmiştir, önceden karıştırılmış dithizone şüpheli görülen kaya üzerine çok az miktarlarda püskürtülmekte ve tanınması güç olan simitsonit ve hidrozinkit yüzeyi parlak pembe bir renk almaktadır.

Yeni Bakır Alanı : Falconbridge şirketi, Sustut Peak de (Merkez British Columbia), kalın seriler halindeki Triyas andezit tüfleri içinde geniş Boleo tipi stratiform bakır yataklarının varlığını saptayarak «eski ada yayı» teorisinin geçerliliğini kanıtlamıştır.

Orta ve Güney Amerika : Cerro Colorado (Panama) da 3 milyar ton rezervli % 1 Cu içeren yatağın bulunmasından sonra, Şili de, Canadian Javelin şirketi tarafından 1.4 milyar ton rezervli % 0,6 - 0,7 Cu içeren yeni bir yatak daha bulunmuştur. Miyosen andezit, kuvars diorit ve monzonit - porfirleri içinde dissémine olarak yüzeyden 900 m derine kadar uzanmaktadır. CODELCO, EL Abra, Chuquicamata yakınında (Şili) 1.5 milyar ton rezervli % 0,8 - 1 Cu içeren yeni bir yatağın daha bulunduğunu da bildirmişlerdir.

Avustralya : Doğu Timsah Nehri (East Alligator River) bölgesinde çok zengin yeni uranyum yatakları bulunmuştur. 125.000 metrik ton U_3O_8 içeren bu yataklar normal olarak 5-27 libre/ton U_3O_8 taşımaktadır. Uraninit başlıca uranyum mineralidir. Bu yataklar kloritik şeyi ve alt Proterozoic şistleri içinde bulunmaktadır.

Pasifik : Güney batı Pasifik ile en az beş ada yayını kapsayan geniş bir bakır provensinin bulunduğu, rapor edilmiştir. Bu yataklar Kuzey Amerika'daki yataklardan 2 ile 10 milyon yıl daha gençtirler.

Porfir tipi yatakların ve ofiyolitlerin «Plaka Tektoniği» ile olan ilişkisinin saptanmasından sonra uygulamalı ekonomik jeolojideki gelişme eski ve yeni volkan yayları ve plaka kenarları ile metalojenik bölgelerin ilişkilerini ortaya koyma yönünden ilginç bir yön almaktadır.

EROS PROGRAMI

ERTS — 1 (Earth Resources Technology Satellite) uygulamasının ikinci yılında da major ve kıtasal tektonik analizlerin, volkan ve yer sarsıntıları ile ilgili yorumların kaya ve toprak ayırımlarının yapılmasında

Bu yazı, «Mining Engineering» Şubat 1974 ve «Mining Congress Journal» Şubat 1974 sayılarından yazarlar tarafından önemli görülen bölümlerden derlenmiştir.

ve maden aramalarında başarı ile devam etmektedir. Uydu, her 18 günde bir, herbiri 34225 km² yi kaplayan yeşil, kırmızı ve iki yakın infrared bandeden fotoğraflar çekmektedir. Bu fotoğraflardan yapılan mozayikler plaka tektoniği ilgili açılma merkezlerinin ve transform fayların saptanmasında yardımcı olmaktadır. Saptanan çizgisel yönelimlerin (fay doğrultuları ve açılma merkezleri) maden bölgeleri ile yakından ilgili olduğu görülmüştür. Kuzey Nevada da bilinen cevher yatakları ile ilgili bir çizgisel yönelim bu fotoğraflar yardımı ile 1200 km Kuzeye doğru izlenmiştir. Benzer çizgisel yönelimler Alaska'da yeni metalojenik provenslerin yorumlanmasına yol açmıştır. Geçenlerde Columbia Üniversitesinde Ypma - İleri - Drake gurubunun yaptığı araştırmalar porfir tipi bakır yatakları üzerindeki çam ağaçlarının sarıyı fazla fakat kızıl ötesi dalgaları normal çamdan daha az yansıttığını ortaya koymuştur.