

KISA AYAK MADENCİLİK METODUNDA KAZICI - YÜKLEYİCİ VE ARABALAR ALT SİSTEMLERİNİN STOKASTİK OLARAK İNCELENMESİ

Dr. Müh. OSMAN UNUTMAZ (*)

Kısa ayak maden işletme metodu ilk defa 1959 yılında Avustralya'da geliştirilen bir kömür madenciliği metodudur. Önceden hazırlanan 45-90 metre eninde ve 600-900 metre boyunda bir kömür bloğu kazıcı-yükleyici (Continuous Miner) ile enine olarak yaklaşık 3 metrelik dilimler halinde kesilip arabalara** (Shuttle Cars) yüklenir. Arabalar yüklerini bu kömür bloğunun yanında açılmış galerilerden birine yerleştirilmiş olan konveyör bant yükleme ünitesine boşaltırlar ve tekrar yük almak için kazıcı-yükleyiciye doğru hareket ederler. Fakat yollar yeteri derecede geniş olmadığı için bazı bölgelerde aynı anda iki arabanın çalışması mümkün olmayabilir. Bu nedenle belirli noktalarda arabalardan biri diğerini beklemek zorundadır (8)***. Ayak içine ve dışına saçılan kömür bir sıyırıcı (Scoop Car) ile temizlenir. Ayakta meydana gelebilecek göçükleri önlemek için tavan taşı yürüyen hidrolik tahkimatla desteklenir (5,6,7).

Kısa ayak işletme metodundaki pano içi faaliyetler bir bütün olarak göz önüne alınırsa; bu sistemdeki üniteler aynı anda çalışmadıkları ve üretim esnasında farklı faaliyetler gösterdikleri için bu üniteleri üç ayrı grupta toplamak mümkün ve lüzumludur.

- 1) Kazıcı-yükleyici ve arabalar
- 2) Temizleme arabası (Sıyırıcı)
- 3) Hidrolik tahkimat ve pompalar.

Bu araştırma kısa ayak metodunda kazma-yükleme ve taşıma esnasında meydana gelen şans arızalarının üretime etkisini incelemek için geliştirilen stokastik modeli kapsamaktadır. Kısa ayak metodunda bir alt sistem olarak düşünülebilen kazıcı-yükleyici ve ara-

* Kayseri Üniversitesi İşletme Fakültesi Öğretim Görevlisi

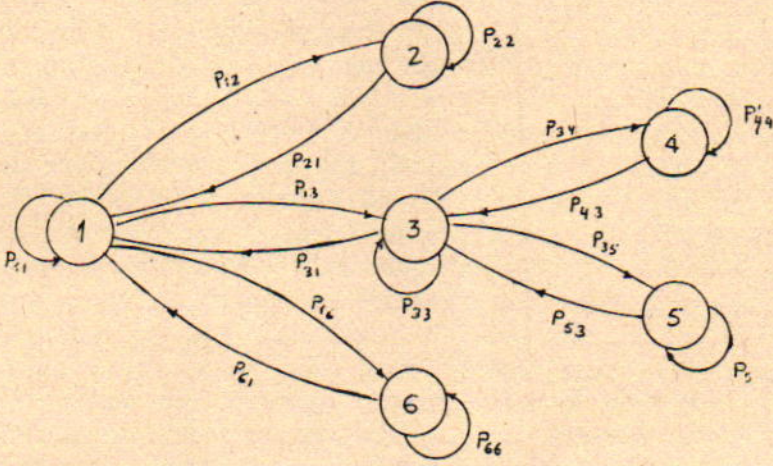
** Bu sistemde sadece iki araba kullanılmaktadır.

*** Parantez içindeki sayılar bu çalışmanın sonunda verilen referansları gösteriyor.

balarda bir açıdan seri faaliyet göstermekle beraber bazı durumlarda arabalar seri ya da paralellik gösterebilirler. Eğer herhangi bir sistemdeki ünitelerin faaliyetleri seri bir faaliyet ise bu sistemi teşkil eden ünitelerden biri arızalanınca üretim tamamen durur. Ünitelerin paralel çalışması durumunda ise bunlardan birinin arızalanması üretimi etkilemez. Kısa ayak metodunda ise kazıcı-yükleyici, veya arabalardan biri sadece bir arabanın çalışabileceği yolda (tek yol) arıza yaptığı zaman üretim tamamen durmakla beraber arabalardan biri, iki arabanın aynı anda faaliyet gösterebileceği yolda (çift yol) arıza yaptığı zaman üretim durmayıp düşük bir seviyede devam etmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde kısa ayak maden metodunu uygulayan bazı işletmelerden elde edilen veriler arızalar arasındaki zaman ve arıza süreleri dağılımlarını istatistiki olarak değerlendirip uygun teorik dağılımların tesbiti için yetersiz kalmıştır. Bu nedenle başlangıçta istatistiki dağılımlarla ilgili bir kabul yapmaktan kaçınılmıştır. Fakat, tecrübeler açıkça göstermektedir ki bu tür araçları kullanan maden işletmeleri genellikle bu araçları üreten firmaların her araç için tesbit etmiş oldukları koruma bakımını sistematik olarak yapmaktadırlar. Yaşlanmadan dolayı fonksiyonlarını yapamaz duruma gelmemiş, aşınmalardan etkilenmemiş ve başlangıç arızalarına maruz kalmamış bir araç eğer düzenli koruma bakımına tabi tutulursa bu araç sadece şans arızalarına maruz kalır. Şunu da açıkça belirtmek gerekir ki; bu araçlar ne kadar düzenli bir koruma bakımına tabi tutulurlarsa tutulsunlar arızalar arasında geçen zamanlar tam olarak tabii üstel bir dağılım göstermezler. Fakat bu dağılım fonksiyonu büyük ölçüde sağa çarpık olup tabii üstel fonksiyona çok yakın bir fonksiyondur. Bu yakınlık nedeni ile arızalar arasında geçen zamanların tabii üstel olarak dağıldığı kabul edilebilir. Tabii üstel bir dağılım için arıza nispeti sabit olup zamanın fonksiyonu değildir.

Söz konusu kazıcı-yükleyici ve arabalar alt sistemi için, yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda, Altı halli kesikli bir Markov yöntemi (1, 2, 3) benimsenmiştir. Bu altı halli Markov yöntemi için geçiş diyagramı Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1 : Kısa ayak metodunda kazıcı-yükleyici ve arabalar alt sistemi için geçiş diyagramı.

1. Hal : Alt sistemdeki üniteler çalışıyor veya çalışır durumda.
2. Hal : Kazıcı -yükleyici arızalı (Üretim yok.)

3. Hal : Arabalardan biri çift yolda arızalı. Sistemdeki iki arabadan biri diğer arabanın çalışmasına engel olmayacak şekilde arızalandığından sistem çalışıyor. Fakat kömür tek araba ile taşındığından üretim daha düşük seviyede devam ediyor.

4. Hal : Çift yolda arıza yapmış olan arabanın tamiri bitmeden; yani kazıcı-yükleyici ve arabalardan biri faaliyet gösterirken, kazıcı-yükleyici de arızalanıyor. Bu durumda üretim tamamen durmuştur.

5. Hal : Kazıcı-yükleyici ve arabalardan biri faaliyet gösterirken çalışan araba da, ya tek ya da çift yolda arıza yapıyor. İki araba da arızalı olduğundan üretim tamamen durmuştur.

6. Hal : Alt sistemdeki bütün üniteler çalışırken arabalardan biri tek yolda arıza yapıyor. Bu durumda arabalardan biri tek yolda arıza yaptığından yol tıkanmış ve üretim durmuştur.

Bu araştırmada geçiş ihtimalleri ifade edilirken arıza ve tamir nispetleri kullanılmıştır. Arıza nispeti arızalar arasında geçen ortalama zamanın tersidir. Diğer bir deyimle bir bölü arızalar arasındaki ortalama zamandır. Tamir nispeti de tamir için geçen orta-

lama zamanının tersidir. Bir aracın toplam çalışma ömrü göz önünde bulundurulursa arıza nispeti* zamanın artan bir fonksiyonu, bir sabit veya zamanın eksilen bir fonksiyonu olabilir (1, 2, 3). Arızalar arasındaki zaman ve tamir süreleri tabii üstel olarak dağılırsa arıza ve tamir nispetleri zamanın fonksiyonu olmayıp sabit kalırlar. Fakat arıza ve tamir nispetleri zamanın fonksiyonu bile olsalar kısa zaman aralıklarında büyük bir değişme göstermezler. Bu sebeple düzenli bir koruma bakımına tabii tutulan araçların toplam çalışma ömürleri göz önünde tutulursa, bir panelin kazısı esnasında yani birkaç aylık çalışma süresinde bu araçlar için arıza ve tamir nispetleri birer sabit olarak alınabilirler. Kazıcı-yükleyicinin arıza nispetini, λ_{CM} , ve arabaların arıza nispetlerini, λ_{SC} , belirlemek için bu araçların iki arıza arasında geçen fiili çalışma sürelerinin kaydedilmesi gerekir. Kazma ve taşıma zamanında kazıcı-yükleyici ve arabalar sürekli olarak çalışmazlar. Bu nedenle fiili çalışma süreleri kullanılarak elde edilen arıza nispetleri, bu araçların kazma-ve-taşıma müddetinde fiili çalışma süreleri esas alınarak değiştirilmelidir. Her aracın fiili çalışma müddeti sadece plânın, jeolojinin ve araçların özelliklerinin fonksiyonu olmayıp aynı zamanda kazılan kömürü taşımada kullanılan araba sayısının da bir fonksiyonudur. Bu sebeple kazma-ve-taşıma zamanı içinde fiili çalışma oranı tek ve çift arabalı çalışma sistemleri için hesaplanması gerekir. Ayrıca arabaların tek ve çift yolda çalışma oranları da hesaplanmalıdır (8). Bu çalışmada, arabaların tek ve çift yolda geçirdikleri zamanların kazma-ve-taşıma zamanına bölümleri sırası ile p ve (1-p) ile ifade edilmişlerdir.

Neticede, kazma - ve - taşıma zamanı içinde bu araçların fiili çalışma müddetleri ve arabaların tek ve çift yollarda çalışma süreleri hesaba katılarak arıza nispetleri şu şekilde ifade edilebilir :

$$\lambda_1 = P_1 \times \lambda_{CM}$$

$$\lambda_2 = P_2 \times \lambda_{CM}$$

$$\lambda_3 = P_3 \times \lambda_{SC}$$

$$\lambda_4 = P_4 \times \lambda_{SC}$$

* Arıza nispeti için genel ifade :

$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)}$ dir. Burada, f(t) ihtimal dağılım fonksiyonunu, F(t) de kümülatif ihtimal dağılım fonksiyonunu ifade etmektedirler. Tabii üstel fonksiyon için arıza nispeti sabittir.

Burada, λ_1 ve λ_2 sırası ile bu sistemin birinci ve üçüncü hallerde bulunduğu vakit, kazıcı-yükleyicinin düzeltilmiş arıza nispetleridir. λ_3 ve λ_4 sırası ile sistem birinci ve üçüncü hallerde buldukları vakit, arabaların düzeltilmiş arıza nispetleridir. Düzeltme faktörü p_1 , sistem birinci halde iken kazıcı-yükleyicinin panel kazısı esnasındaki fiili çalışma süresinin panel kazısının tamamlanması için geçen toplam kazma-ve-taşıma süresine oranıdır. Düzeltme faktörü p_2 , sistem üçüncü halde iken kazıcı-yükleyicinin fiili çalışma süresinin bu halde panel kazısının tamamlanması için geçen toplam kazma-ve-taşıma süresine oranıdır. Düzeltme faktörü p_3 , sistem birinci halde iken herhangi bir arabanın fiili çalışma müddetinin toplam kazma-ve-taşıma süresine oranı ve p_4 de sistem üçüncü halde iken aynı işlemin tekrarıdır. Tamir nispetleri sistemin içinde bulunduğu halin fonksiyonu olmadığı için tamir nispetlerinde herhangi bir düzeltme söz konusu değildir. Kazıcı-yükleyicinin tamir nispeti $\mu_{CM} = \mu_1$ ve arabaların tamir nispetleri de $\mu_{SC} = \mu_2$ ile ifade edilmişlerdir.

Bu çalışmada, arıza ve tamir nispetlerinin hesaplanmasında üretilen kömür miktarı değil de zaman esas alınmıştır. Kazıcı-yükleyicisinin ince damarlarda aynı miktar kömürü kazabilmek için daha uzun bir zamana ihtiyaç duyacağı esası da dikkate alınır ve ayrıca bu geliştirilen modelin değişik damar kalınlıklarında uygulanabilecek nitelikte olması düşünülürse söz konusu nispetlerin hesabında ton değil de zamanın esas olarak alınması gerektiği açıkça görülmüş olur.

Kesikli Markov yöntemine (3) esas teşkil eden Δt zaman aralığı seçilmiştir. Bu zaman aralığı, Δt , içinde sadece bir olay vuku bulacak büyüklükte seçilmiştir. Δt zaman aralığında bir birini takip eden iki olayın meydana gelmesi şansı sıfır ya da ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

Sistem birinci halde iken kazıcı-yükleyici ve arabaların Δt içinde arıza ihtimalleri sırası ile $\lambda_1\Delta t$ ve $\lambda_3\Delta t$ ile ve sistem üçüncü halde iken bu ihtimaller kazıcı-yükleyici ve arabalar için sırası ile $\lambda_2\Delta t$ ve $\lambda_4\Delta t$ şeklinde ifade edilebilirler. Yine küçük zaman aralığı olan Δt içinde kazıcı-yükleyicinin tamir edilebilme ihtimali $\mu_1\Delta t$ ve arabanın tamir edilebilme ihtimali de $\mu_2\Delta t$ şeklinde ifade edilebilirler.

Tarif edilen kazıcı-yükleyici ve arabalar alt sisteminin geçiş ihtimalleri

$P_{ij} = \text{Prob} \{ t+\Delta t \text{ zamanında sistem } j \text{ halinde ise/ sistem } t \text{ manında } i \text{ halinde idi.} \}$

ile ifade edilmiştir. Bu genel tarifin ışığı altında söz konusu haller için geçiş ihtimalleri aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir :

1. Hal : t zamanında sistem birinci halde ise bunu takip eden Δt zaman aralığında şu olaylardan biri olabilir :

1.a — Sistemde herhangi bir arıza olmamıştır.

1.b — Kazıcı-yükleyici arızalanabilir.

1.c — Arabalardan biri çift yolda arıza yapabilir.

1.d — Arabalardan biri tek yolda arıza yapabilir.

O halde; birinci hal için geçiş ihtimalleri, P_{1i} ,

$$P_{11} = \text{Prob} \{1.a\} = 1 - \lambda_1 \Delta t - 2\lambda_3 \Delta t$$

$$P_{12} = \text{Prob} \{1.b\} = \lambda_1 \Delta t$$

$$P_{13} = \text{Prob} \{1.c\} = 2(1-p)\lambda_3 \Delta t$$

$$P_{16} = \text{Prob} \{1.d\} = 2p\lambda_3 \Delta t \text{ dir.}$$

2. Hal : Eğer t zamanında sistem ikinci halde ise bunu takip eden Δt zamanı içerisinde şu olaylardan biri olabilir :

2.a — Kazıcı-yükleyici tamir edildi.

2.b — Kazıcı-yükleyici tamir edilemedi.

Bu olayların ihtimalleri :

$$P_{21} = \text{Prob} \{2.a\} = \mu_1 \Delta t$$

$$P_{22} = \text{Prob} \{2.b\} = 1 - \mu_1 \Delta t \text{ dir.}$$

Sistem ikinci halde iken arabalar çalışmadığı için arızalanmazlar. Bu nedenle ikinci halden dördüncü hale geçiş söz konusu değildir.

3. Hal : Şayet t zamanında sistem üçüncü halde ise bunu takip eden Δt zaman aralığında şu olaylar vuku bulabilir :

3.a — Kazıcı-yükleyici ve arabalardan biri çalışırken arızalı olan araba tamir edilebilir.

3.b — Kazıcı-yükleyici ve arabalardan biri çalışırken arızalı araba tamir edilemedi.

3.c — Kazıcı-yükleyici ve arabalardan biri çalışırken kazıcı-yükleyici de arızalandı.

3.d — Kazıcı-yükleyici ve arabalardan biri çalışırken arızalı olmayan araba da tek veya çift yolda arızalandı.

Bu hal için geçiş ihtimalleri :

$$P_{31} = \text{Prob} \{3.a\} = \mu_2 \Delta t$$

$$P_{33} = \text{Prob} \{3.b\} = 1 - \lambda_2 \Delta t - \mu_2 \Delta t - \lambda_4 \Delta t$$

$$P_{34} = \text{Prob} \{3.c\} = \lambda_2 \Delta t$$

$$P_{35} = \text{Prob} \{3.d\} = \lambda_4 \Delta t \quad \text{şeklinde ifade edilir.}$$

4. Hal : Şayet t zamanında sistem dördüncü halde ise bunu takip eden Δt zamanında şu olaylardan biri olabilir :

4.a — Kazıcı-yükleyici tamir edilebilir.

4.b — Kazıcı-yükleyici tamir edilmeyebilir.

Bunların ihtimalleri ise :

$$P_{43} = \text{Prob} \{4.a\} = \mu_1 \Delta t$$

$$P_{44} = \text{Prob} \{4.b\} = 1 - \mu_1 \Delta t \quad \text{dir}$$

Sistem dördüncü hale geçtiği zaman üretime tekrar geçebilmek için önce kazıcı-yükleyicinin tamir edilmesi planlanmıştır. Bu nedenle dördüncü halden ikinci hale geçiş söz konusu değildir.

5. Hal : Eğer t zamanında sistem beşinci halde ise bunu takip eden Δt aralığında şu olaylardan biri olabilir :

5.a — Araba tamir edilebilir.

5.b — Araba tamir edilmeyebilir.

Bu hal için geçiş ihtimalleri ise :

$$P_{53} = \text{Prob} \{5.a\} = \mu_2 \Delta t$$

$$P_{55} = \text{Prob} \{5.b\} = 1 - \mu_2 \Delta t \quad \text{dir.}$$

Sistem Beşinci halde iken tekrar üretime geçmek için sonra arızalanan arabanın önce tamir edilmesi planlanmıştır. Bu nedenle beşinci halden altıncı hale geçiş söz konusu değildir.

6. Hal : Eğer t zamanında sistem altıncı halde ise bunu takip eden Δt zaman aralığında aşağıdaki olaylardan biri vuku bulabilir :

6.a — Araba tamir edilebilir.

6.b — Araba tamir edilmeyebilir.

Bu hal için geçiş ihtimalleri :

$$P_{61} = \text{Prob} \{6.a\} = \mu_2 \Delta t$$

$$P_{66} = \text{Prob} \{6.b\} = 1 - \mu_2 \Delta t \quad \text{dir.}$$

Bütün haller için geçiş ihtimalleri belirlendikten sonra geçiş ihtimal matrisi kurulur. Kazıcı-yükleyici ve arabalar alt sistemi için bu matris aşağıdaki şekli alır :

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & 0 & 0 & P_{16} \\ P_{21} & P_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{31} & 0 & P_{33} & P_{34} & P_{35} & 0 \\ 0 & 0 & P_{43} & P_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{53} & 0 & P_{55} & 0 \\ P_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{66} \end{bmatrix}$$

Tamamen ergodik bir Makov prosesinde I ve II no.lu denklemlerin sağlanması gerekmektedir (3).

$$\pi = \pi.P \quad \text{I}$$

$$\sum_{i=1}^6 \pi_i = 1 \quad \text{II}$$

Burada π bir satır vektörü olup i inci elemanı π_i çok sayıda geçişlerden sonra i inci halde bulunmanın ihtimaline işaret eder. π ye nihai hal ihtimalleri vektörü denilir.

Nihai hal ihtimalleri I ve II nolu eşitliklerin açılması sonucu elde edilen doğrusal denklem sisteminin çözümü ile bulunur. I ve II nolu eşitliklerin açılması ile elde edilen denklem sistemi :

$$\pi_1 = \pi_1 \cdot P_{11} + \pi_2 \cdot P_{21} + \pi_3 \cdot P_{31} + \pi_6 \cdot P_{61}$$

$$\pi_2 = \pi_1 \cdot P_{12} + \pi_2 \cdot P_{22}$$

$$\pi_3 = \pi_1 \cdot P_{13} + \pi_3 \cdot P_{33} + \pi_4 \cdot P_{43} + \pi_5 \cdot P_{53}$$

$$\pi_4 = \pi_3 \cdot P_{34} + \pi_4 \cdot P_{44}$$

$$\pi_5 = \pi_3 \cdot P_{35} + \pi_5 \cdot P_{55}$$

$$\pi_6 = \pi_1 \cdot P_{16} + \pi_6 \cdot P_{66}$$

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 = 1$$

şeklini alır. Altı bilinmeyen için çözümü yapılan yedi denklem tek bir sonuç verir. Yukarıdaki denklem sistemi çözülür ve geçiş ihtimalleri yerine bunların arıza ve tamir nispetleri cinsinden değerleri yazılırsa nihai hal ihtimalleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\pi_1 = 1/A$$

$$\pi_2 = (\lambda_1/\mu_1)/A$$

$$\pi_3 = [2(1-p)\lambda_3/\mu_2]/A$$

$$\pi_4 = [2(1-p)\lambda_2 \cdot \lambda_3/\mu_1\mu_2]/A$$

$$\pi_5 = [2(1-p)\lambda_3 \cdot \lambda_4/\mu_2^2]/A$$

$$\pi_6 = [2p\lambda_3/\mu_2]/A$$

Burada

$$A = [1 + \lambda_1/\mu_1 + 2p\lambda_3/\mu_2 + (2(1-p)\lambda_3/\mu_2) \cdot (1 + \lambda_2/\mu_1 + \lambda_3/\mu_2)]$$

Birinci halde sistem tam kapasite ile üretim yapmakta iken üçüncü halde üretim düşük bir seviyededir. Sistem diğer hallerde iken herhangi bir üretim söz konusu değildir.

Neticede bir panelin kazısı esnasında sistemin tam kapasite ile, tam kapasitenin altında üretim yapması ve tamamen üretim dışı kalması ihtimalleri sırası ile π_1 , π_3 ve π_2^* ile ifade edilebilir.

Burada

$$\pi_2^* = \pi_2 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 \quad \text{dir.}$$

Bu ihtimaller ifade edildikten sonra bir panelin kazısının tamamlanabilmesi için beklenen zaman, T_1 , aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$T_1 = \frac{T_{EHP1} \times T_{EHP2}}{\pi_1 \times T_{EHP1} + \pi_3 \times T_{EHP2}}$$

Burada,

T_{EHP1} ve T_{EHP2} sırası ile bir ve iki arabalı kısa ayak kömür nakliye sistemi uygulanması halinde bir panelin kazı işlemini tamamlamak için, arızalanmalardan dolayı gecikmeler hesaba katılmadığı takdirde, ihtiyaç duyulan toplam zamanı ifade ederler.

KAYNAKLAR

1. ARINC Research Corp. Staff. **Reliability Engineering**. Prentice-Hall, Inc., 1964.
2. Bazovsky, Igor, **Reliability Theory and Practice**. Prentice-Hall Space Technology Series. Prentice-Hall, 1961.
3. Barlow, Richard E., and Proschan, Frank. **Mathematical Theory of Reliability**. John Wiley and Sons, Inc., 1965.
4. Howard, Ronald A., **Dynamic Probabilistic Systems**. Volume I (Markov Models). John Wiley and Sons, Inc., 1971
5. Litton, Gilmer C., Jr. and Palowitch, Eugene R., «Shortwall Mining Using Powered Roof Supports.» October 21, 1976.
6. Palowitch, Eugene R., and Zacher, F. R., «Shortwall Mining Experience in the United States.» Paper Presented at the AIME 105 th. Annual Meeting, Las Vegas, Nevada. Feb. 22-26, 1976.
7. Palowitch, Eugene R., «Shortwall Mining Applications in the United States.» SME Fall Meeting and Exhibit, October 18-20, 1972. Birmingham, Alabama.
8. Unutmaz Osman, «A Systematic Analysis of Design and Operational Relationships in Shortwall Mining.» Doctoral Thesis, Columbia University, N.Y., New York, U.S.A., 1980.