

Madencilik Endüstrisinde Yöneylem Araştırması Uygulamaları

Operations Research Applications in the Mining Industry

Ertuğrul TOPUZ (*)
Erkin NASUF ()**

ÖZET

Yöneylem araştırması, deterministik (kesin olarak hesaplanabilen) ve probabilistik (tahmini olarak hesaplanabilen) sistemlerin modellenmesi ve bu sistemlerin optimum olarak çalışmalarını sağlama amacıyla kullanılmaktadır.

Bu yazıda, madencilik endüstrisindeki yöneylem araştırması uygulamalarında kullanılan en yaygın teknikler, en önemli uygulama alanları ve bu uygulamaların gelecekteki eğilimini öngören geniş bir literatür taramasının sonuçları sunulmaktadır.

ABSTRACT

Operations Research (OR) is concerned with optimal decision making in, and modeling of, deterministic and probabilistic systems.

This paper presents a summary of the results of an extensive literature survey which was carried out in order to determine the most widely used techniques, the important areas and future trends of the OR applications within the mining industry.

(*) Assoc. Prof., Dept of Mining Eng., Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg
VIRGINIA, USA

(**) Prof. Dr., İTÜ Maden Fakültesi, İSTANBUL

1. GİRİŞ

Son otuz yıl içinde madencilik endüstrisinde, yöneylem araştırması ile ilgili uygulamalarda bir artış görülmektedir. Bu gelişmeye, aynı dönem içinde madencilik endüstrisindeki maliyetlerin hızlı bir şekilde artması, enflasyonun proje maliyetleri üzerindeki olumsuz etkileri ve yüksek tenörlü cevher rezervlerinin azalması gibi nedenler gösterilebilir. Diğer taraftan fiyatlardaki düşüş ya da durgunluğa rağmen madencilik ürünlerine olan talep artmamıştır. Bütün bu şartlar mineral yataklarının daha verimli bir şekilde işletilebilmesi için yeni yöntemlerin uygulanmasını gerekli hale getirmiştir.

Madencilik endüstrisindeki YA (Yöneylem Araştırma) uygulamalarının artışı, bu konuda yazılan yazı ve bildiri sayısının çoğalmasına neden olmuştur. Bu yazının amacı, çeşitli YA tekniklerinin belli başlı madencilik alanlarındaki uygulamaları hakkında mümkün olduğu kadar geniş bir literatür çalışması yapmak ve elde edilen sonuçları sunmaktır. Bu çalışmada çok yaygın olarak kullanılan YA teknikleri ile madencilikteki önemli uygulama alanları ve bu uygulamaların geleceği konusu aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Bu konuda yabancı dilde yazılmış kaynak sayısı çok ve çeşitlidir. Bu çalışmada 1950'den bu yana yapılmış ve İngilizce dilinde yayınlanmış 500'den fazla kaynaktan yararlanılmış olup çoğu madencilik konusunda yapılmış yayınlarda yer almıştır. Ancak kalite ve orijinalite açısından bazı önemli uygulamalara madencilik dışı yayınlarda da rastlanılmaktadır. Yararlanılan kaynaklar genellikle periyodikler, seminer notları ve araştırma raporları ile birkaç kitaptan oluşmaktadır.

2. YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI TEKNİKLERİ

YA, deterministik (kesin olarak hesaplanabilen) ve probabilistik (tahmini olarak hesaplanabilen) sistemlerin modellenmesi ve bu sistemlerin optimum olarak çalışmaları için karar vermede kullanılır.

YA tekniklerinin en önemli özelliği, bir dizi sınırlamalara maruz kalan belirli tasarım parametrelerinin, (optimize) en iyi şekilde saptanmasıdır. Bu önemli özellik, madencilikte YA tekniklerini tespit ederken ve sınıflandırırken gözönüne alınmıştır. Yapılan kaynak taramasında karşılaşılan YA teknikleri Çizelge 1'de İngilizce isimleri ile birlikte sunulmuştur. Simülasyon bir optimizasyon tekniği olmadığı için bu çizelgeye alınmamıştır.

Çizelge 1- Yöneylem Araştırması Teknikleri

TÜRKÇE İSMİ	İNGİLİZCE İSMİ
DOĞRUSAL MODELLER	LINEAR MODELS
Doğrusal Programlama Karışık Tam sayılı Programlama Tam Sayılı Programlama 0-1 Programlama Grafik/Şebeke Teorisi	Linear Programming Mixed Integer Programming Integer Programming 0-1 Programming Graph/Network Theory
ÇOK AMAÇLI MODELLER	MULTIOBJECTIVE MODELS
Çok Amaçlı Programlama Hedef Programlama Uzlaştırıcı Programlama	Multiobjective Programming Goal Programming Compromise Programming
DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLER	NONLINEAR MODELS
Doğrusal Olmayan Programlama Kvadratik Programlama Geometrik Programlama	Nonlinear Programming Quadratic Programming Geometric Programming
STOKASTİK MODELLER	STOCHASTIC MODELS
Stokastik Programlama Stokastikve Markov İşlemi Kuyruk Teorisi Karar Teorisi	Stochastic Programming Stochastic&Markov Processes Queueing Theory Decision Theory
DOĞRUSAL/DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLER	LINEAR/NONLINEAR MODELS
Ayrılabilir Programlama Dinamik Programlama	Seperable Programming Dynamic Programming
OYUN TEORİSİ	GAMETHEORY

3. YÖNEYLEM ARAŞTIRMASININ MADEN - CİLİKTEKİ UYGULAMA ALANLARI

Madencilik endüstrisinde yukarıda verilen tekniklerin hepsi aynı ölçüde kullanılmamıştır. Değişik madencilik alanlarında kullanılan teknikler yapılan kaynak taraması sonucunda tespit edilmiş ve kullanım sıklıkları ile birlikte Çizelge 2'de gösterilmiştir. Bu bilgilerin ışığında YA tekniklerinin madencilikteki önemli uygulama alanları aşağıda özetlenmiştir.

3.1. Üretim Planlaması-Zamanlaması

Üretim planlaması, belirli bir organizasyon yapmak amacı ile üretim planları geliştirmektir ve gözönüne alınan zamana bağlı olarak uzun ya da kısa vadeli olmak üzere iki grupta incelenebilir. Mevcut YA tekniklerinin üretim planlaması problemlerini kolaylıkla çözmesi beklenir. Nitekim, yapılan çalışma sonucunda, üretim planlamasının madencilikteki YA uygulamalarının en önemli kısmını oluşturduğu bulunmuştur. Üretim planlamasında karşılaşılan modelleme ve matematiksel güçlükler sebebiyle YA tekniklerinin hemen hemen tümü bu alanda denenmiştir.

Çizelge 2. Madencilik Endüstrisinde Kullanılan YA Teknikleri ve Kullanım Sıklıkları(*)

YA - TEKNİKLERİ ----- MADENCİLİK UYGULAMALARI	a. Doğrusal Programlama	b. Karışık Tamsayıli Programlama	c. Tamsayıli Programlama	d. (0-1) Programlama	e. Grafik / Şebeke Teorisi	f. Çok Amaçlı Programlama	g. Hedef Programlama	h. Uzlaşıcı Programlama	i. Eğrisel Programlama	j. Quadralik Programlama	k. Geometrik Programlama	l. Aynilabilir Programlama	m. Stokastik Programlama	n. Dinamik Programlama	o. Kuyruk Teorisi	p. Karar Teorisi	Toplam Kullanım
1. Üretim Planlaması	●●	●●	●	●	●●	●	●	●	●●	●	●	●	●	●●	●	●	●●
2. Ekonomik Tenör Üretim Hızı	●			●	●	●	●		●				●	●●			●
3. Açık İşletme Tasarımı	●	●		●	●				●			●		●		●	●
4. Alet Güvenirliliği	●		●		●				●				●	●			●
5. Alet Seçimi	●	●	●	●	●		●		●				●	●	●	●	●●
6. Cevher Nakliyatı	●	●	●		●				●				●	●			●●
7. Cevher Taşımaçlığı	●	●		●	●	●			●	●			●		●		●
8. Cevher Hazırlama	●	●	●		●		●		●		●	●		●			●
9. Besleme Kontrol	●	●		●	●	●		●	●		●	●	●	●			●●
10. Tesis Yeri Seçimi	●	●	●	●	●				●								●
11. Havalandırma	●			●	●				●								●
12. Çevre	●	●		●	●	●			●				●	●			●
13. Arama			●	●		●			●				●	●		●	●
14. Ekonomi / Değerlendirme	●	●	●		●	●		●	●	●			●	●		●	●●
Toplam Kullanım	●●	●●	●	●	●●	●	●	●	●●	●	●	●	●	●●	●	●	●●

Kullanım Sıklığı ● ●●

Teknikler arasında en çok kullanılanları Doğrusal ve Doğrusal olmayan programlamalardır. Bu iki tekniğin daha yaygın kullanılmasının nedeni üretim planlamasında çok sık karşılaşılan harmanlama ve zamanlama problemlerini çözebilme yeteneğine sahip olmalarıdır. Bu iki yöntem ek olarak, Dinamik programlama ve Grafik/Şebeke teorileri de bu alanda kullanılmıştır. Dinamik programlamanın kullanılmasını teşvik edici bir unsur belki de, üretim planlamasının bir madenin ömrü boyunca sıralı bir özellik göstermesidir. Grafik/Şebeke teorisi ise şebeke halindeki sistemlerde süreyi en az ve iş akışını en fazla tutma gibi problemlerin çözümünde yararlı olmaktadır. Bu nedenle, Şebeke analiz tekniklerinin çok yaygın kullanılanlarından bazıları, PERT ve CPM, büyük projelerin elemanlarını planlama ve zamanlamada kullanılmaktadır.

Planlama süresi geleceğe doğru uzatıldıkça üretim planlaması modelleri ilerde yapılacak hazırlık çalışmaları ile ulaşılabilecek maden sahalarını da kapsamak mecburiyetinde kalacaktır. Karışık tamsayıli programlama ile 0-1 programlama teknikleri bu tip uzun vadeli planlamalar için oldukça kullanışlı bulunmuştur.

3.2. Ekonomik Tenör-Üretim Hızı

Ekonomik tenör, madencilikte cevher ile artığı ayırt etmek için kullanılan bir kriterdir. Doğal olarak, ekonomik tenörün tayini; ortalama tenör, cev-

her rezervi, madenin ömrü, yıllık üretim kapasitesi ve sonuçta da madencilik işlemlerinin kârlılığı ile doğrudan ilişkilidir.

Üretim hızı, birim zamanda çıkarılan cevher miktarı olarak tanımlanır. Ton başına maliyet, ekonomik tenör, yatırım tutarı ve yeniden kazanma (recovery) gibi faktörlere etki ettiğinden, üretim hızının saptanması kâr ve maliyet analizleri yapmak için gereklidir.

Yapılan çalışma, Doğrusal ve Doğrusal olmayan programlama YA tekniklerinin, ekonomik tenör ve üretim hızı tayinlerinde kullanılan en yaygın teknikler olduğunu göstermiştir.

3.3. Açık İşletme Tasarımı

Açık işletme tasarımı, üzerinde çok yaygın yapılan bir konu olup bu tür problemlerin çözülmesinde gerekli olan çok sayıda verinin işlenebilmesi amacı ile birçok bilgisayar kökenli algoritma geliştirilmiştir. Açık işletme tasarımının geliştirilmesi iki adımda olur; (1) bir mineral envanteri hazırlamak, (2) bilgisayarla uzun vadeli maden planlaması sistemi oluşturmak.

Mineral envanteri, cevher yatağının mineralleşmesi, jeolojisi ve topografyasını kapsayan bütün bir cevher modelidir. Bilgisayarla uzun vadeli maden planlamasının ise iki amacı vardır. Birincisi açık işletme sınırını tayini ve ikincisi de cevher ya da artığın tenörleri ile miktarlarının tespiti-

Açık işletme planlaması için kullanılan optimizasyon yöntemleri; Doğrusal programlama, Karışık tamsayılı programlama, 0-1 programlama, Grafik/Şebeke teorisi, Doğrusal olmayan programlama, Ayrılabilir programlama, Dinamik programlama ve Karar teorisidir. Bunların arasında en başarılı olanı, gerek modeüemesinde ve gerekse de çözümündeki kolaylık açısı-ndan Grafik/Şebeke teorisidir.

3.4. Alet Güvenilirliği - Bakım - Yenileme

Belirli çevre şartları altında çalışan bir madencilik sisteminin güvenilirliği, bu sistemin belirtilen bir zaman aralığı içinde istenilen fonksiyonları yerine getirebilmesi olasılığı olarak tanımlanabilir. Bir sistemin güvenilirliği bakım ve yenileme ile artırılabilir. Eğer sistemin arızalanma süresi, bakım işlerini ekonomik olarak yerine getirecek şekilde kısa tutulmuyorsa, sistemin ya da arızalanan bir parçasının yenilenmesi gereklidir. Güvenilirlik analizinin amacı üretimin optimizasyonunu ve ekonomik olarak işletmeyi sağlayacak en uygun bakım ve yenileme zamanlarını tespit etmektir. Çok sayıdaki YA teknikleri arasında bu konuda en yaygın kullanılan teknik Stokastik programlamadır.

3.5. Alet Seçimi - Tahsisi - Zamanlama

Alet seçimi uzun vadeli maden planlamasının bir parçasıdır. Bu seçime coğrafi konum, teknolojik durum ve mevcut ekonomik ortam gibi faktörler etki eder.

Bir aletin tahsisi ve zamanlanması ise eldeki mevcut aletlerin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bu aktiviteler genellikle kısa vadeli üretim sınırlamaları ve hedefleri doğrultusunda planlanır. Alet seçimi, tahsisi-zamanlaması üretim planlamasından sonra YA tekniklerinin en önemli kullanım alanlarından biridir ve Doğrusal programlama, Tamsayılı programlama ve Kuyruk teorisi gibi teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.6. Cevher Nakliyatı - Taşımacılığı

Madencilikte taşımacılık yapılan işe göre iki sınıfta toplanabilir: (1) cevher, artık, malzeme ya da insan nakliyatı ve (2) cevherin pazara nakliyatı-

Kullanılan teknik ve araç her sınıfın özelliğine göre değişiyorsa da, Doğrusal programlama madencilikte malzeme taşımacılığının analizi ve planlamasında çok sık kullanılan bir YA tekniğidir. An-

cak bir madenin cevher nakliyatının gerçekçi olarak modellenmesi Doğrusal programlama ile sağlanamazsa Dinamik programlama, Doğrusal olmayan programlama, Grafik teorisi ve Kuyruk teorisi gibi diğer YA teknikleri kullanılmaktadır.

3.7. Cevher Hazırlama

Cevher hazırlama, madenciligi takip eden ve değerli minerallerin ayrılabilmesi işlemidir. Bu işlemin optimizasyonu ile ilgili parametreler dinamik bir şekilde otomatik kontrol tekniği ile kontrol edilip düzeltilebilir.

Cevher hazırlamada yaygın olarak kullanılan YA tekniklerinden bazıları Doğrusal, Doğrusal olmayan ve Dinamik programlamalardır.

3.8. Besleme Kontrolü - Cevher Karıştırma-Harmanlama

Besleme kontrolü, çeşitli tenördeki cevherleri uniform bir cevher elde edilecek şekilde metodik ve sistematik olarak karıştırma işlemidir. Bu işlem genellikle bir cevher hazırlama tesisine giren hammaddeler ya da bir madenden çıkarılan cevher kalitesinin piyasa isteklerine uygunluğunu sağlamak için kullanılır.

Özellikle besleme kontrolü problemlerinin çözümünde çok sık kullanılan YA teknikleri Doğrusal ve Doğrusal olmayan programlamadır.

3.9. Tesis Yerleştirme - Yer Seçimi

Ana ocak ve cevher hazırlama tesisleri için yer seçimi, cevherin ocaktan tesise ekonomik olarak taşınması ile uyumlu olmalıdır. Ayrıca bu alanlar seçilirken bazı faktörlerde (örneğin; su, güç, ulaşım ve tumba sahaları) gözönüne alınmalıdır. Bu konuda YA uygulamaları çok azdır. Doğrusal programlama, Doğrusal olmayan programlama, Tamsayılı ve Karışık tamsayılı programlama gibi teknikler bu alanda denenmiştir.

3.10. Havalandırma

Bir havalandırma sisteminin tasarımında, madenin tümünde dolaşacak temiz hava miktarının tayini, temiz ve kirli hava güzergahlarının seçilmesi ve vantilatör kapasitesi ile yerinin seçilmesi, önemli rol oynar.

Hava miktarı ve kalitesi önceden bilinen problemlerin çözümünde çok sayıda alternatif çözümler olacağı için, bu çözümlerin ekonomi ve verimlilik açısından değerlendirilmesi gereklidir. Yeraltı hava yolları kolaylıkla şebekeler şeklinde

modellenebildiğinden, Grafik/Şebeke teorisi bu tür problemlerin çözümüne en uygun olan YA tekniğidir.

3.11. Çevre Kontrolü

Madencilik işlerinin sonucunda bozulan maden çevresinin kontrolü, katı ve sıvı maden artıklarının çevre kirliliği ve sağlığı bakımından uygun şekilde depolanması, yeraltı suları ve hava kirlenmesi, yayılmanın kontrolü, tasman, arazinin ıslahı vb. konular ile ilgilidir. Bir çok madende çevre kontrolü, üretimi sınırlayıcı bir faktör olarak gözükmektedir. Son yıllarda gittikçe önem kazanan bu problemler ile ilgili sadece birkaç YA uygulaması mevcuttur.

3.12. Mineral Ekonomisi ve Madenlerin Değerlendirilmesi

Madencilik ekonomisi, tükenen mineral kaynaklarının ekonomik olarak aranması, işletilmesi ve pazarlanması ile ilgilidir. Yapılan çalışmalarda, ilgili bazı değişkenlerin zamana bağlı davranışlarının gerektirdiği belirli sınırlamalar göz önüne alınarak, optimum arama ve üretim stratejileri önceden belirlenir. Bu alanda Doğrusal, Doğrusal olmayan ve Dinamik programlama olmak üzere çeşitli YA teknikleri kullanılmaktadır.

Madenlerin değerlendirilmesi ise maden sahalarının ekonomik değerinin tespiti işlemidir. Bir projeye bağlı olan tüm mühendislik, çevre, jeolojik ve diğer faktörleri göz önüne alarak yapılacak ekonomik analiz ile gerekli yatırımların bu projeyi yürütecek firmanın öngördüğü ekonomik ve sosyal amaçlara uygunluğu, bir yatırım projesinin diğerinden daha iyi olup olmadığı vb. sorulara cevap verilebilir. Bu konuda birkaç YA tekniği kullanılmış olup bunlar arasında Doğrusal olmayan programlama ve Karar teorisi gibi teknikler vardır.

* 4. SONUÇLAR

YA teknikleri madencilik endüstrisinde aramadan madenin değerlendirilmesine kadar her türlü sahada geniş bir şekilde kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan teknikler Doğrusal ve Doğrusal olmayan programlama olup bunları sırasıyla Grafik/Şebeke teorisi ve Dinamik programlama izlemektedir. Bu dört teknik bu çalışmada izlenen yöntemlerin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır.

Üretim planlaması YA tekniklerinin kullanıldığı en önemli uygulama alanı olup diğer uygulama alanlarının %35'ini oluşturmaktadır. Bu alanda hemen hemen tüm YA teknikleri denenmiştir. İkinci olarak en geniş uygulama alanı alet seçimidir. Bu-

nu takip eden uygulamalar sırasıyla besleme kontrolü, cevher nakliyatı- taşımacılık ve mineral ekonomisidir.

Madencilik endüstrisinde karşılaşılan problemlerin birçoğu YA teknikleri kullanılarak formüle edilebilmekte ve çözümlenebilmektedir. Bu teknikler önceden tanımlanmış sistemlerin amaçlarını optimize etmek ve ekonomik parametreleri saptamak için kullanılır. Bu avantajlar simülasyon gibi açıklayıcı modellerle uğraşan tekniklerde yoktur. Diğer taraftan çözülebilir bir model oluşturulabilmesi için gerekli basit kabullemeler YA teknikleri ile elde edilen çözümlere olan güveni azaltmaktadır.

Gelecekte simülasyon, istatistik ve diğer nümerik teknikler ile YA tekniklerinin avantajlarını birleştirebilen yeni tekniklerin bulunması belki de madencilik sistemlerinin optimizasyonunda kullanılabilecek en uygun bir yaklaşım olacaktır.

Şüphesiz ki kişisel bilgisayarların yaygınlaşması ile de YA tekniklerinin uygulama alanları genişleyecek ve bu teknikler madencilik endüstrisinin yönetiminde daha etkin bir rol oynayacaktır.

SEÇİLMİŞ KAYNAKLARI

- ABASOV, M. T., BABAYEV, DJ. A., and KARAYEVA, E.M., 1977; "A Systems Approach to the Problem of Drilling and Developing Gas Fields, "Proceedings of the 14th APCOM, SME/AIME, pp. 740-745, [1-b, d, i],
- ALBACH, H., 1967; "Long Range Planning in Open Pit Mining," Management Science, Vol. 13, No.10, pp. 549-568, [1, 12-a, m],
- ALLAIS, M., 1957; "Method of Appraising Economic prospects of Mining Exploration over Large Territories, "Management Science, Vol. 3, No.4, pp. 285-346, [13-p].
- BARBARO, R. W., and MUTMANSKY, J. M., 1986; "Goal Programming Model for determining the Optimal Production Schedules Considering Penalties or Bonuses Dependent on Quality, " Transactions of the Society of Mining Engineers, Vol. 280, pp. 1887-1895, [1-g].
- BARNES, R. J., JOHNSON, T. B., 1982; "Bounding Techniques for the Ultimate Pit Limit Problem," Proceedings of the 17th APCOM, SME/AIME, pp. 263-273, [3-n],
- BURT, O. R., and CUMMINGS, R. G., 1970; "Production and Investment in Natural Resource Industries, "American Economic Review" Vol. 60, No.4, pp. 576-590, [1, 14-i, n].
- CELASUN, M., 1964; "The Allocations of Funds to Reconnaissance Drilling Projects," Quarterly of Colorado School of Mines, Vol.59/4, pp.169-185, [13-c,p].
- DOWD, P., 1976; "Application of Dynamic and Stochastic Programming to Optimize Cutoff Grades and Production Rates," Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 85, Section A, pp. A22-A31, [1,2-m,n].
- DREW, L. J., 1979; "Pattern Drilling exploration: Optimum Pattern Types and Hole Spacing When Searching for elliptical Shaped Targets, " Mathematical Geology, Vol. 11, No. 12, pp.223-254, [13-p].
- ELBROND, J., LIZOTTE, Y., and PLASSE, C, 1982; "Use of an

- Interactive Dynamic Program System as an Aid to Mine Valuation, " Proceedings of the 17th APCOM, SME/AIME, pp. 463-474, [1,2,14-e, n].
- FAULKNER, J.A., 1968; "The Use of Closed Queues in the Development of Coal-Face Machinery, "Operations Research Quarterly, Vol. 19, No.1, pp. 15-23, [4-0].
- GARAKAVI, A.L, MANEVICH, I. Z., and MERKIN, V., E., 1984; "Technological Reliability and Its Safeguard in Mining Operations, " Soviet Mining Science, November-December, pp. 456-462, [4-m].
- GERHSON, M. E., and MURPHY, F.H., 1987; "Using Dynamic Programming for Aggregating Cuts in a Single Drill Hole, " International Journal of Surface Mining, Vol. 1, No. 1, pp. 35-40, [1-n, 2-n].
- GHOSH, S., RAY, S., and BHATTACHARYYA, A., 1978; " A Case Study for Optimal Plant Size Mix Using Integer Linear Programming," Operation Research, Vol. 15, No.1, pp. 35-43, [10-c].
- HALL, G. J., 1978; "Nonstationary Stochastic Gold-Mining;A time-Sequential Tactical-Allocation Problem, "naval Research Logistics Quarterly,Vol. 25, No. 1, pp. 81-93, [1,4,5-n].
- HEWLETT, R.F., and REDMON. D. E., 1963; "Desing and Applications of Some Mathematica Imodels for Mine-Systems Analysis," USBM R| 6158, 51 pp., [1,6,9-a].
- IBOK, E. U., COLLONS, E. W., CHINNARAO, M., AND VENKATA, S. S., 1979; "Optimal Maintenance Scheduling of Molded Case Circuit Breakers in Underground Coal Mines, " IEEE Mining Industry Technical Conference, pp. 57-68, [4-i,m].
- JOHNSON, T.B. 1969; "Improving Returns from Mine Products through Use ofOperations Researc Techhiques^USBM RI7230, 78pp.,[1,7,9-a].
- JOURNEL, A. G., 1975; "Convex Analysis for mine Scheduling,* Advanced Geostatistics in the mining Industry, NATO Adv. Study Inst. Series, Vol. 24, Reidel, The Netherlands, pp. 185-194, [1-j].
- KOUDSTAAL, J., and PEVERETT, N. F., 1977; "The Control of Rotary Vacuum Filters iin a Gold Recovery Plant," Proceedings of the 15th APCOM, Australian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 119-127, [8-i].
- LAMBERT, C., 1972; Application of Integer Programming to Effect Optimum Truck and Shovel Selection in Open Pit Mines, Ph. D. Dissertation, Univerity of Utah, 145pp., [1,5-d].
- LANE, K. F., HAMILTON, D. J, and PARKER, J. J.B., 1984; "Cutoff Grades for Two Minerals, "Proceedings of the 18th APCOM, Institute of Miining and Metallurgy, England, pp. 485-491, [1,2-i].
- LERCHS, H., and GROSSMANN, I. F.,, 1965; "Optimum Design of Open Pit mines, " Transactions of the CIM Bulletin, V. LXVIII, pp. 17-24, [3-e].
- LI, Z., and TOPUZ, E., 1988 "Evalutjon of Mine Size and Mine Life An abjective Approach. "Mining Science and Technology, Vol. b, pp 117-124, [1-i, 14-i].
- ,ANULA, C. B., and KIM, Y.C. 1965; "Application of Linear Programming Methods to Mine Planning and Scheduling," Research Report SR-49, Pensylvania State University, 34pp., [1-a].
- MULAR, A. L.,, 1979; "Process Optimization," Computer Methods for the 80s in the mineral Industry, SME/AIME, pp. 843-849, [8-a, g].
- NAPIER, J. A. L., 1981 ; "Investment Criteria and Choicce of Production Rate in the Planning of Gold-Mine Production," Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy.Vol. 81, No. 7, pp. 221-228, [1,2,14-i].
- OSLEEB, J. P., and RATICK, S. J., 1983; "A Mixed Integer and Multi Objective Programming Model to Analyze Coal Handling in New England," European Journal of Operations Research, Vol. 86, No. 5, pp. 841-861, [1, 13, 14-i].
- RAPOPORT, LA., and HIBBARD, W. R., 1978; "Representation of the U.S. Coal Industry in Context of Integrated Long-Range Energy Modelling, " Materials and Society, Vol. 2, No. 1/2, pp. 59-66, [7, 9, 10, 12-i].
- REDDY, J. M., 1971; Operations Research Applications in Mine Planning, Ph. D. Dissertation, Columbia University, NewYork, 131pp., [1-a].
- ROGADO, J. Q., 1976; " An Optimization Method for the Mining and Benefication of Ore Blocks, " International Journal of Mineral Processing, Vol. 3, No. 3, pp. 219-246, [1,8, 9-a, i].
- SCHAAP, W., 1983; "Cutoff Grade Theory as a Tool for Open Pit Planning, " Erzmetall, Vol. 36, No. 5, pp. 233-240, [1, 2, 3-i, n].
- /SEVİM, H., and YEGULAP, T.M., 1983; "A Dynamic Programming Approach in Designing Underground Coal Slurry Haulage Systems, " International Journal of Mining Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 43-56, [6-n].
- SHERER, H. E., and GENTRY, D. W., 1982; "An Operations Research Approach to the Equipment Replacement Problem," Proceedings of the 17th APCOM, SME/AIME, 1982, pp. 161-169, [4-c,e,n].
- SU, Y. L., 1986; "A Computer Solution to the Queueing Problem 'at a Mine-Mill Interface, " Proceedings of the 19th APCOM, SME/AIME, pp. 394-400, [9-0].
- TANASKOVIĆ, P., 1977; "Mathematical Modelling of Control of Mining Ventilation Networks," Proceedings of the 15th APCOM, Australian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 341-347, [11-e].
- TOPUZ, ERTUĞRUL, 1979; "An Optimal Determination of Capital Investment, Capacity and Cut-off Grade Under multiple Objectives," Proceedings of Council of Economics, AIME, pp. 97-103, [2, 14-f, h].
- TOPUZ, E., and LOU, Z., 1987; "Models for allocating and Dispatching Trucks in Surface Mining Operations," Bulk Solid Handling, Vol. 7, No. 1, pp. 47-52, [1-a, n, o].
- VENKATARAMANI, R., 1970; Mathematical Programming Applications in the Crushed Stone Industry, Ph. D. Dissertation, Pennsylvania State University, 121pp., [1,6, 7-a].
- WANG, Y.J.,1983; "Minimizing Power Consumptiting Multi-Fan Networks by Equalizing Fan Pressure, " International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts-, Vol. 20, No. 4, pp. 171-179,11-i, 11-i].
- YEGULALP, T. M., 1977; "Improving Production Efficiency 4,14-m, p].
- YEGULALP, T. M., 1983; "Stochastic Characteristics of Slurry Flow in Underground Face-to-Surface Coal Slurry Haulage, " Transactions of Society of mining Engineers, AIME, [6-m].
- ZHANG, Y.G., YUN, Q.X., GUI, E.Y., and XU, L. J., 1986; " New Approach for Production Scheduling in Open-Pit Mines," Proceedings of the 19th APCOM, SME/AIME, pp. 71 -78, [1-n, 3-n].
- HALAÇ, O., 1984; "Kantitatif Karar Verme Teknikleri" Istanbul Üniversitesi Yayınlan, Yayın No: 3212.
- KARA, I., 1986; "Yöneylem Araştırması, Doğrusal Olmayan Modeller" , Anadolu Üniversitesi Yayını, Yayın No.139.

(*) Kaynağı takip eden parantez içindeki sayı ve harfler Çizelge 2'de gösterilen madencilik uygulama sahaları ve YA tekniklerinin kullanımını belirtmektedir.