

Açık işletmelerde optimum ekipman seçimi

Cengiz KIRMANLI*, Selamet G. ERÇELEBİ

İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, açık işletmelerde son yıllarda kullanımı hızla artan bir üretim yöntemi olan hidrolik ekskavatör - kamyon yöntemi için en uygun ekipman seçimi yapan bir uzman sistem KappaPC kabuğu kullanılarak geliştirilmiştir. Kazıcı ekipman seçimindeki en önemli kriterlerden birisi olan kazılabilirliğin belirlenmesi için, daha önce yapılmış olan çalışmaların doğrultusunda uzman sistemde kullanılmak üzere bir kazılabilirlik sınıflaması oluşturulmuştur. Bununla birlikte, zeminin taşıma direnci, kepçe dolma faktörü, kepçe periyodu gibi diğer ekipman seçimi parametrelerinin de dikkate alınmasıyla hidrolik ekskavatör seçimi yapılmaktadır. Kamyon kapasitesinin belirlenmesi ise, ekskavatör tarafından doldurulan kamyonlarda ekskavatörün optimum kepçe sayısı (4-6) ile doldurduğu toplam hacim ile kamyonun kasa hacmi arasında oluşan farktan dolayı boş kalan kasa hacmine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Ekskavatör ve kamyon satın alma maliyetleri kullanılarak, istenilen üretimi sağlayan her bir ekskavatör ve kamyon kombinasyonunun maliyetleri içinde en düşük maliyetin elde edildiği kombinasyon optimum ekskavatör ve kamyon sayısı olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uzman sistemler, ekipman seçimi, açık işletmeler.

Optimum equipment selection in surface mining

Abstract

In this study, an expert system for equipment selection in surface mining is developed. Expert system selects the optimum hydraulic excavator and off-highway truck combination, which is widely used in surface mining. A shell, developed by Intellicorp Company, KappaPC is selected for developing Equipment Selection Expert Systems. For KappaPC, rules and databases are prepared. Rules are determined according to equipment selection criteria, which are excavability, operating factors and material properties. Excavability is one of the most important parameter for equipment selection and a new excavability system is developed under the lights of the previously developed systems. Excavability and other parameters such as bearing capacity, bucket fill factor, bucket cycle time, etc. determines the best excavator. Truck selection is based on the remaining empty capacity after the excavator loads the truck with optimum number of bucket numbers (4-6). In this way, the expert system developed, selects the optimum hydraulic excavator and trucks. In order to determine optimum excavator and truck numbers the minimum capital cost of each combination is calculated. A combination, which has the minimum cost, is the optimum. In this fashion, an expert system, which optimally selects the hydraulic excavator and truck combination, employed in surface mining is developed.

Keywords: Expert systems, equipment selection, surface mining.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Cengiz KIRMANLI. kirmanli@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 61 84.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Maden Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Açık işletmelerde optimum ekipman seçimi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 12.01.2004 tarihinde dergiye ulaşılmış, 03.13.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Dünya madenciliğine bakıldığında, son yıllarda açık işletme madenciliğinin yeraltı madenciliğine oranla çok hızlı bir şekilde yaygınlaştığı görülmektedir. Hammadde kaynaklarının teknolojinin hizmetine sunulması için uygulanan yeraltı ve açık maden işletmeciliği arasındaki tercih, derinliğin artmasına bağlı olarak yeraltı üretim maliyetlerinin çok artması ve açık maden işletmelerinde kullanılan iş makinelerinin son yıllardaki gelişen teknolojiye paralel olarak büyük gelişmeler göstermesi ile açık maden işletmeciliğinden yana olmaktadır.

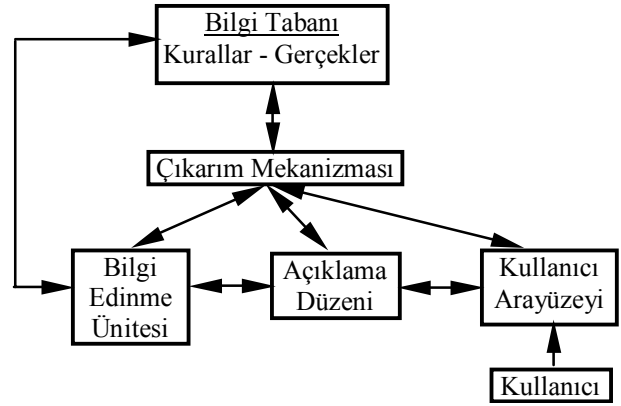
Açık işletmelerde üretim derinliğinin cevherleşmeye bağlı olarak giderek artması sonucu ortaya çıkan maliyet artışları, kazı ve nakliyede kullanılan ana ve yardımcı ekipmanların kapasitelerinin artırılmasını gerekli kılmıştır. Ayrıca, yüksek tenörlü cevherlerin ve yüzeye yakın bölgelerdeki rezervlerin tüketilmesi sonucu düşük tenörlü cevherlerin üretilmesi gerekli olmuştur. Cevherleşmenin dağınık bir yapı gösterdiği sahalardaki kazı miktarı ve malzeme taşımadaki büyük artışlar, bu artışı karşılayacak kapasitedeki yeni ve büyük iş makinelerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Açık işletmelerdeki üretim faaliyetleri, çalışma şekilleri ve kapasiteleri birbirlerinden çok farklı ekipman grupları ile sağlanmaktadır. Bu ekipmanların doğru seçilmesi, üretim sisteminin verimli çalışmasını etkileyen en önemli unsurdur. Ekipman seçiminde yapılacak olan bir hata, sistemin bütün verimliliğini etkileyecek ve birim üretim maliyetlerinde artışlara neden olacaktır. Bu sebepten dolayı, açık işletmelerde ekipman seçiminin çok iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

1960'lı yıllardan sonra gelişmeye başlayan ve ilk olarak 1956 yılında John McCarty tarafından ortaya konmuş olan Yapay Zeka tekniklerinin açık işletmelerde ekipman seçimine uygulanması ancak son yıllarda yaygınlaşmıştır. Endüstri alanında en fazla geliştirilen ve uygulama alanı bulan Yapay Zeka teknikleri, genetik algoritmalar, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve uzman sistemlerdir. Bu tekniklerin içinde madencilik alanında en fazla uygulama bulan teknik ise uzman sistemlerdir.

Uzman sistemler

Uzman sistemler, belirli bir konuda uzmanlaşmış kişiler tarafından yürütülen işlemleri, bunyelerinde bulunan bilgiyi ve verileri kullanarak gerçekleştiren, kullanıcı arabirimine ve çıkarım mekanizmasına sahip olan bilgisayar programları olarak tanımlanabilirler. Başlangıçta, tıp, matematik, kimya ve jeoloji gibi alanlarda geliştirilmeye başlanmış olan uzman sistemler elde edilen başarılı sonuçlardan sonra bütün mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Buna karşılık, madencilik amaçlı geliştirilen uzman sistemler diğer sektörlerle kıyaslandığında son derece az sayıdadır.

Uzman sistemi oluşturan ana elemanlar; çözülecek problemle ilgili bilgilerin toplandığı bilgi tabanı ünitesi, bu bilgileri, bir sonuç elde etmek için mantıklı bir sıra ile icra eden çıkarım mekanizması, kullanıcının uzman sistem ile kolayca bilgi alışverişinde bulunmasına imkan veren kullanıcı arayüzeyi ve bilgi tabanını otomatik olarak geliştirmeye yardım eden bilgi edinme ünitesidir (Şekil 1) (Waterman, 1986; Turban, 1992).



Şekil 1. Tipik bir uzman sistem yapısı

Bilgi temsil metotları

Uzman sistemlerde anlam ağları, mantık senaryoları, nesne-nitelik-değer üçlüsü gibi birçok bilgi temsil metodu bulunmasına karşılık en yaygın olarak kullanılanlar kural tabanlı ve çerçeve tabanlı bilgi temsil metotlarıdır.

Kural tabanlı metotlar, sezgisel bilginin temsili için uygun olup bilgiyi Eğer - O Halde çiftleri

(IF-THEN) şeklinde temsil ederler. Kuralın IF ile başlayan sol tarafındaki ilk kısmı, kuralın uygulanabilmesi için doğru olması gereken koşulları tanımlar. Kuralın THEN ile başlayan ikinci kısmı ise koşullar mevcut olduğunda yapılacak faaliyetleri tanımlar.

Çerçeve tabanlı metotlar ise herhangi bir yer, olay veya fikrin iyi bilinen veya genelleştirilmiş niteliklerini bir araya getirmekte oldukça etkilidirler. Bilgiler, düzenli, hiyerarşik ve özlü bir şekilde depolanarak bilginin aranması için gereken zamandan tasarruf edilir.

Çıkarım mekanizmaları

Bilgi tabanındaki bilginin nasıl ve hangi sıra düzeninde kullanılacağına karar veren ve kontrol eden bileşenine çıkarım mekanizması adı verilir. Çıkarım mekanizmasının ana elemanları, arama teknikleri ile aramanın uygulanmasını ve yönünü belirleyen kontrol stratejileridir.

Uzman sistem geliştirme araçları

Uzman sistem geliştirilmesinde; programlama dilleri ve yapay zeka dilleri kullanılarak geliştirilmiş olan uzman sistem geliştirme kabukları (shell) kullanılır. Kabuklar, bilgi temsili, çıkarım mekanizması ve kullanıcı arabirimini içeren fakat kuralları içermeyen programlardır. Birçok ticari firma tarafından farklı özelliklerde ve kapasitelerde geliştirilmiş olan kabuklar bulunmaktadır. Uzman sistem geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılan Yapay Zeka programlama dilleri Lisp ve Prolog'tur. Bunların dışında, Smalltalk, Ada ve Modula gibi dillerde kullanılmaktadır (Allahverdi, 2002).

Madencilikte uzman sistem uygulamaları

Madencilikğin değişik alanlarında geliştirilen uzman sistemler, uygulama alanlarına göre sınıflandırılmış ve açıklanmıştır. Geliştirilen uzman sistemlerden bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

Jeolojik değerlendirme

Madencilikğin planlama aşamasında doğru bir jeolojik değerlendirme yapmak son derece önemli ve zaman alıcı bir çalışmadır. Verilerin uzmanlar tarafından detaylı olarak incelenmesi ve

değerlendirilmesi zaman alıcı bir çalışma olup veri azlığında hata oranı oldukça yüksektir. Uzman sistemler ile yapılan bir ön çalışma ile saha daha kısa sürede değerlendirilir ve gerekli görülen yerlerde daha detaylı incelemeler yapılmasına olanak sağlanır. Bu amaçla geliştirilen uzman sistemlerden *Prospector* aynı zamanda madencilik alanında ilk geliştirilen uzman sistemlerden birisidir. Bununla birlikte *muProspector*, *Slope Safety Analyser*, *Expert Slope Design System* ve *Şevdur* jeolojik değerlendirme için geliştirilmiş uzman sistemlere örnek olarak verilebilirler (Denby ve Atkinson, 1988; Miller, 1988; Denby ve Kızıl, 1991; Özgenoğlu ve Öcal, 1994).

İş makineleri arıza tespiti

Üretim sırasında arızalanan ekipmanların arızasının tespitinin, arıza yerinin ve nasıl giderileceğinin belirlenmesinin ve tamirinin en kısa sürede yapılması, duran üretimin, bir an önce başlatılarak üretim kaybının en aza indirilmesi son derece önemlidir. *Shearer*, *AHT*, *Hydraulic DIMES*, *INTEX* gibi programlar arıza tespiti için geliştirilmiş olan uzman sistemlerdir (Bodkin, 1988; Zakaria, 1994; Mitchell, 1991).

Kömürün kendiliğinden yanması

Kömürün kendiliğinde yanması birçok parametreye bağlıdır. Bu parametrelerin tek tek analiz edilmesi ve yorumlanması son derece zordur. Ayrıca, o anda hangi parametrenin diğerlerinden daha fazla önemli olduğunun tespiti de çok önemlidir. Uzman sistemler, birçok faktörü aynı anda kontrol etmekte ve normal yöntemlerden daha hızlı ve başarılı olmaktadır. Bu amaçlı geliştirilen uzman sistemlere *Expert System for Spontaneous Heating* ve *Heatings* örnek olarak verilebilir (Ren ve Richards, 1994; Bodkin, 1988).

Maden tasarım ve planlaması

Maden planlama aşamasında kullanılan verilerin azlığı ve değişkenliği, ileriye yönelik tahmin yapma zorunluluğu, birbirini etkileyen planlama parametreleri, uzman tasarımcılara ihtiyaç duyulması, artık uzman sistemler ile karşılanabilmektedir. Gelişen CAD sistemleri ile grafiksel olarak desteklenen uzman sistemler daha verimli sonuçlar vermektedir. *Selex*, *Patas*, ve *Mineexpert*

tasarım ve planlama amaçlı olarak geliştirilen örnekler olarak verilebilir (Yazıcı vd., 1995; Nasuf ve Yazıcı, 1994; Mutagwaba ve Terezopoulos, 1994).

Çalışma emniyetini arttırmak

Üretimin sürekliliği, işçi sağlığı ve emniyeti açısından çalışma ortamının güvenliğinin sağlanması için, metan, diğer gazlar, toz konsantrisi, basınç farklılıkları, yeraltı suyu, sıcaklık, tavan hareketleri vb. gibi parametrelerin sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen uzman sistemler aynı zamanda ocak izleme sistemlerinden de veri olarak çalışma ortamının güvenliğinin artırılmasına, doğru karar vererek planlama yapılmasına ve üretimin artırılmasına yardımcı olmaktadır. Örnek olarak; *UFEL*, *DustPro*, *MethPro*, *Ventex* ve *Dustex* verilebilir (Lilie vd., 1997; King, 1987; Burkert ve Hall, 1992).

Tesis yönetimi ve organizasyonu

İşletmelerde yönetici seviyesindeki kişilere yönelik olarak geliştirilmiş olan sistemler aynı zamanda geçmiş bilgi ve istatistiklerle desteklenerek ileriye yönelik planlama yapılmasında yardımcı olmaktadır. Bu amaçla geliştirilen *Mine Manager Support System* ve *CHOOZ* örnek olarak verilebilir (Grayson vd., 1990; Britton, 1987).

Makine ve teçhizat seçimi

Üretim faaliyetlerini sürdüren veya yeni kurulan bir işletmede ekipman seçimi için kullanılan uzman sistemler, ekipmanlara yapılan ve maliyetlerin önemli bir kısmını kapsayan ekipman satın alma maliyetlerinin en aza indirilmesini ve en uygun ekipman kombinasyonu ile üretimin verimli bir şekilde yapılmasını sağlarlar. *Minder* ve *Dragline Selector* örnek olarak verilebilir (Clarke vd., 1990; Erdem vd., 1994).

Açık işletmelerde ekipman seçimi

Açık işletmelerde ekipman seçimi için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler sınıflandırılarak toplu olarak aşağıda verilmiştir (Erçelebi ve Kırmanlı, 2000).

1- Klasik Sistemler

2- Yöneylem Araştırması Teknikleri

Doğrusal programlama
Simülasyon
Kuyruk Teorisi

3- Yapay Zeka Teknikleri

Bulanık Küme Teorisi
Genetik Algoritmalar
Uzman Sistemler

4- İlişki Matrisi

Bunlar arasında simülasyon, doğrusal programlama ve kuyruk teorisi gibi yöneylem araştırması teknikleri uzun yıllar yaygın olarak kullanılmış ve halen kullanılmaktadırlar. Buna karşılık, Yapay Zeka tekniklerinin madencilikte ekipman seçimine uygulanması ancak son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır.

Ekipman seçimi kriterleri

Açık işletme ekipmanlarının seçimi için ilk olarak ekipman seçim kriterlerinin belirlenmesi gereklidir. Ekipman seçimi kriterleri; kazılabilirlik, üretim, işyeri ve malzeme özellikleri olmak üzere 4 farklı sınıfta toplanmıştır.

Kazılabilirlik kriteri

Kazılabilirlik, kazı makineleri ile kayaçların ne ölçüde buldukları yerden koparılabilirliklerinin ölçüsüdür. Kayaç kalitesini ve mekanik özelliklerini belirleyen bir çok sınıflama sistemi olmasına rağmen (RQD, basınç dayanımı, aşındırıcılık vb.) bunlar tek başlarına kazılabilirliği ve kazılabilirliğe bağlı olarak ekipman seçimini belirleyecek sistemler değildir. Kayaçların kazılabilirliğinin belirlenebilmesi için bir veya bir kaç sınıflama sisteminin veya bu sistemi etkileyen parametrelerin bir arada incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle bir çok parametrenin bir arada değerlendirildiği sınıflama sistemleri çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir (Paşamehmetoğlu, 1988; Rzhovsky, 1985; Müftüoğlu ve Scoble 1985). Bu çalışmaların ışığı altında, uzman sistemde kullanılmak üzere; tek eksenli basınç dayanımı, ayrışma durumu, sismik hız, çatlak aralığı ve tabakalaşma kalınlığı parametrelerine bağlı olarak ekipman seçimi için oluşturulan kazılabilirlik puan sistemi ve sınıflaması sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Her bir parametre değerlerine göre elde

edilen puanlar toplanarak kazılabilirlik puanı oluşturulur. Tablo 2’de verilen kazı sınıfı, kazılabilirlik puanına göre kolaydan çok zora doğru sınıflandırılmıştır. Kayacın kazılması için delme patlatma yapılmasının gerekli olup olmadığı ve eğer gerekli ise hangi kazı ekipmanı için delme patlatma yapılması gerektiği de verilmektedir.

Üretim kriterleri

Üretim kriterleri, işletmede gerçekleştirilecek olan yıllık üretim miktarı, dekapaj miktarı, dekapaj oranı gibi parametrelerdir. Bu parametreler, sahada yapılan çalışmalar sonucu elde edilen rezerv miktarına bağlıdır. İşletme tarafından planlanan yıllık üretim miktarına bağlı olarak üretim miktarı ve sahanın dekapaj oranı değerine bağlı olarak da yıllık dekapaj miktarı belirlenmektedir. Yıllık üretim miktarına göre sahanın ömrü ve bunun ekipman ömrü ile olan ilişkisi de ayrıca belirlenmektedir.

İşyeri kriterleri

İşyeri kriterleri; basamak yüksekliği, basamak genişliği, çalışma süresi, iklim koşulları, yeraltı suyu geliri, nakliye mesafesi (dekapaj, cevher/kömür), nakliye yolu zemininin durumu, operatör verimi, işletme randımanı gibi parametreleri içermektedir.

Malzeme kriterleri

Malzeme kriterlerini, kepçe dolma faktörü, kabarma faktörü, kayaç yoğunluğu, elastisite modülü, Poisson oranı gibi parametreler oluşturmaktadır.

Ekipman kriterleri

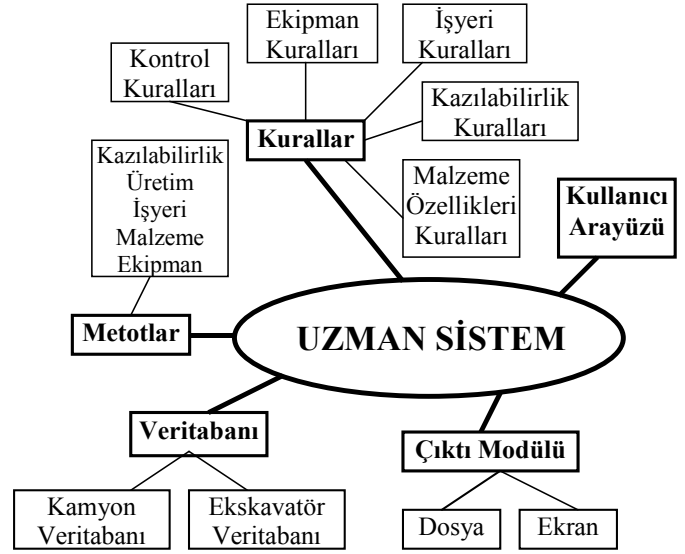
Ekipman kriterleri olarak; ekipmanın zemine uyguladığı basınç, boşaltma yüksekliği, kepçe periyodu, kamyon kasa hacmi kullanılmaktadır.

Ekipman seçimi uzman sistemi

Geliştirilen hidrolik ekskavatör-kamyon seçimi uzman sistemi 4 kısımdan oluşmaktadır. Bunları;

1. Ekipman seçimi ile ilgili kurallar, fonksiyonlar ve metotlar
2. Kullanıcı arayüzü
3. Veritabanları
4. Çıktı modülü

olarak sayabiliriz. Ekipman seçimi uzman sistemini oluşturan ana elemanlar ve sistemin yapısı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Ekipman seçimi uzman sistem yapısı

Ekipman seçimi ile ilgili olarak oluşturulan kurallar 5 ana başlık altında toplanmıştır.

Bu kurallar, daha önce verilen ekipman seçim kriterlerine göre oluşturulmuş olan kurallardır.

1. Kazılabilirlik kuralları,
2. İşyeri kuralları,
3. Malzeme özellikleri kuralları,
4. Ekipman kuralları,
5. Kontrol kuralları’dır.

Veritabanları ise farklı marka ve modele ait 85 adet hidrolik ekskavatör ve 113 adet kamyon olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

Kullanıcıların sonuçları rahatlıkla izlenebilmesi için bir çıktı modülü oluşturulmuştur. Sonuçlar, Windows ortamında açılan bir pencerede izlenebilmekte ve bir metin gibi aşağı veya yukarı kaydırılarak kullanıcıların rahatlıkla incelemesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, sonuçlar bir dosyaya kaydedilmekte ve bu dosyanın çıkışı herhangi bir yazıcıdan alınabilmektedir.

Uzman sistemin sorgulama mantığı gereği soru yöneltirken veya çıkarım yaparken takip ettiği sıra, akım şeması şeklinde Şekil 3’te verilmiştir.

Tablo 1. Uzman sistem geliştirilmesinde kullanılacak kazılabilirlik puan sistemi

Parametreler	Kazı Sınıfı				
	1	2	3	4	5
Tek eksenli basınç dayanımı,(MPa)	<20	20-40	40-60	60-100	>100
Puan	0	10	15	20	25
Ayrışma durumu	Tamamen	İleri derece	Orta derece	Az ayrılmış	Ayrılmamış
Puan	0	5	10	15	20
Sismik hız,(m/sn)	<1750	1750-2000	2000-2500	2500-3200	>3200
Puan	5	12	20	28	30
Çatlak aralığı, (m)	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	1-1.5	>1.5
Puan	5	10	15	20	25
Tabakalaşma kalınlığı (m)	<0.1	0.1-0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	>1.5
Puan	0	5	10	20	30

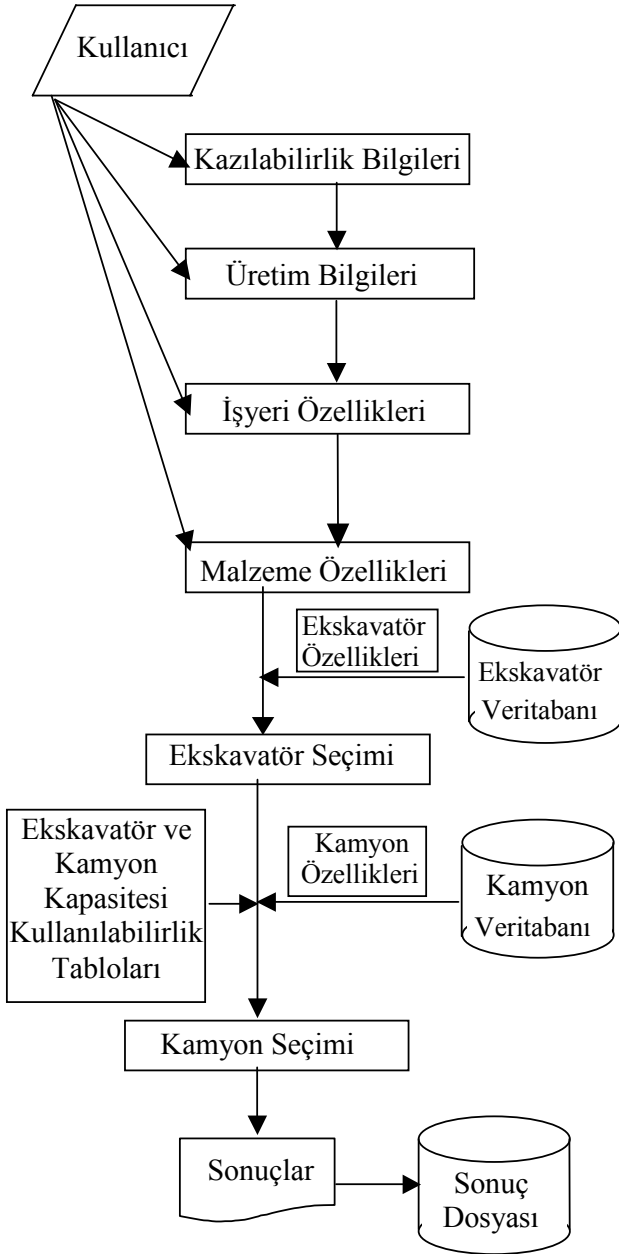
Tablo 2. Kazılabilirlik sınıflaması

Kazı Sınıfı	Kazı Tanımı	Kazılabilirlik Puanı	Kazı Türü ve Aracı		
			Halatlı Ekskavatör	Hidrolik Ekskavatör	Riper
1	Kolay	<20	Doğrudan kazabilir	Doğrudan kazabilir	Rahat kazar
2	Orta	20-40	Patlatma gerekli	Doğrudan kazabilir	D8 ve D9 kazar
3	Orta- Zor	40-70	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	D10-D11 zor kazar
4	Zor	70-100	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli
5	Çok Zor	>100	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli

Uzman sistemde, Şekil 3'ten de görüldüğü üzere kazılabilirlik bilgilerinin sorgulanması, uzman sistemin ilk aşamasını oluşturmaktadır.

Şekil 4'te kazılabilirlik bilgilerinin sorgulama ekranı verilmiştir. Kazılabilirliğin belirlenmesi için ilk olarak; basınç dayanımı, sismik hız, çatlak aralığı, tabakalaşma kalınlığı, ayrışma durumu bilgileri sisteme girildikten sonra ilk olarak Tablo 1'de verilen kazılabilirlik parametrelerinin puanları belirlenmektedir.

Bu puanlardan kazılabilirlik puanı ve sınıfı tespit edilmektedir. Kazılabilirlik sınıfına bağlı olarak, delme patlatma yapılmasına gerek olup olmadığı belirlenmektedir. Kazılabilirlik ekranından sonra işyeri bilgilerinin girildiği ekran gelmektedir. Burada, üretim ve işletme ile ilgili sorgulama yapılmaktadır (Şekil 5). İşyeri bilgileri ekranından alınan yıllık üretim miktarı ve dekapaj oranı bilgilerine bağlı olarak yıllık üretim miktarı ve yıllık dekapaj miktarı ve işletme ömrü tespit edilmektedir.



Şekil 3. Ekipman seçimi uzman sisteminin basitleştirilmiş akım şeması

Şekil 6'da verilen malzeme bilgileri ekranından girilen malzeme türü ve boyut bilgilerine bağlı olarak çalıştırılan kurallar aracılığı ile kepçe dolma faktörü belirlenmektedir. Yağmur durumu ve yeraltı suyu bilgilerine bağlı olarak da çalışma yapılan yerin zemin durumunun iyi veya kötü olduğu ayrıca belirlenmektedir. Zeminin taşıma gücü ise malzeme türüne göre belirlenmektedir. Ekskavatör çevrim süresi, patlatmanın iyi veya kötü olmasına ve malzemenin boyut dağılımına bağlı olarak oluşturulan kurallara göre belirlenmektedir.

Bundan sonra, dekapaj miktarına göre ekskavatör kepçe hacminin belirlenmesi için aşağıda verilen formüllerdeki parametrelere değerler atanmaktadır.

Ekskavatör kepçe hacminin belirlenmesi için ilk olarak gerekli günlük kaldırılacak malzeme miktarının belirlenmesi gereklidir. Bu işletmenin yıllık üretim programına ve yıllık çalışma süresine bağlıdır.

$$q = \frac{V}{T} \quad (1)$$

Ekskavatör kapasitesini kepçe hacmine dönüştürebilmek için günlük ekskavatör çalışma süresini ve ekskavatör çevrim sayısını belirlemek gereklidir.

$$\zeta = \frac{S * i * 3600}{p} \quad (2)$$

Ekskavatör günlük çevrim sayısı belirlendikten sonra günlük dekapaj miktarına bağlı olarak bir çevrimdeki dekapaj miktarı belirlenir.

$$Q = \frac{q}{\zeta} \quad (3)$$

Buradan kepçe hacmi, farklı sayıdaki ekskavatörlere ait günlük kaldırılacak malzeme tonajına bağlı olarak elde edilir.

$$v = \frac{Q * k}{\eta} \quad (4)$$

Böylece, günlük üretim miktarına bağlı olarak ekskavatör sayıları ve bu ekskavatörlerin kepçe hacimleri belirlenmektedir. Günümüzde en büyük hidrolik ekskavatör kapasitesi 59 yd³ (45 m³) olduğu için bu değer üzerindeki kepçe hacimleri ve ekskavatör sayıları iptal edilir.

Üretim miktarına bağlı olarak kepçe hacmi belirlendikten sonra, veritabanından belirlenen ekskavatörler, ikinci bir kriter olan zeminin taşıma gücüne göre taranmaktadır. Ekskavatörlerin zemine uyguladıkları basınçlar veritabanında bulunmaktadır. Zeminin taşıma gücü ise uzman sisteme girilen kurallar ile çıkarılmaktadır.

Session1

Align Image Control Options Window Select

Kazılabilirlik Bilgileri

Basınç Dayanımı (MPa)	106	Kayaç Yoğunluğu (t/m ³)	2.5
Sismik Hız (m/sn)	2800	Kömür Yoğunluğu (t/m ³)	1.4
Çatlak Aralığı (m)	1.3		
Tabakalaşma Kalınlığı (m)	0.6		

Ayrışma Durumu

Tamamen
 İleri derecede
 Orta derecede
 Az ayrılmış
 Ayrılmamış

Devam

Şekil 4. Kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi

Session2

Align Image Control Options Window Select

İşyeri Bilgileri

İşletmenin Adı	Soma	Yağmur Durumu	Nakliye Yolu Zemin Durumu
Rezerv Miktarı (ton)	30000000	<input type="radio"/> Çok yağmurlu	<input type="radio"/> Yumuşak,gevşek
Yıllık Üretim Miktarı (ton)	960000	<input checked="" type="radio"/> Az yağmurlu	<input checked="" type="radio"/> Sert fakat taşlı
Dekapaj Oranı (m ³ /ton)	7	<input type="radio"/> Kurak	<input type="radio"/> Sert
Yıllık Çalışma Günü (Dek.)	270		
Yıllık Çalışma Günü (Kömür)	300		
Günlük Çalışma Saati (Dek)	14		
Günlük Çalışma Saati (Kömür)	18		
İşletmenin Kotu (m)	750		
Basamak Yüksekliği (m)	15		
Nakliye Yolu Mesafesi (m)	3500	(Dekapaj)	
Nakliye Yolu Mesafesi (m)	1250	(Kömür/Cevher)	

Yeraltı Suyu

Var
 Yok

Devam

Şekil 5. İşyeri sorgulama ekranı

Session3
Align Image Control Options Window Select

Malzeme Bilgileri

Kabarma Faktörü (Dekapaj Malz.) Elastisite Modülü

Kabarma Faktörü (Kömür) Poisson Oranı

Malzeme Türü

Sert kil vb.

Gevşek kil vb.

Sert kum-kil vb.

Gevşek kum-kil vb.

Yerinde kumtaşı vb.

Patlatma Sonucu (Kömür)

İyi patlatılmış

Kötü patlatılmış

Ort. Malzeme Boyut Dağılımı (cm)

>70

40-70

25-40

<25

Patlatma Sonucu

İyi patlatılmış kaya

Kötü patlatılmış kaya

Devam

Şekil 6. Malzeme özellikleri sorgulama ekranı

Üretim miktarı ve zeminin taşıma gücüne göre belirlenen ekskavatörler, daha sonraki seçim kriteri olan basamak yüksekliğine göre karşılaştırılırlar. Ekipmanın kazabileceği maksimum kazı yüksekliği ile basamak yüksekliği karşılaştırılmaktadır. Böylece ekskavatörler, sırasıyla üretim miktarına, zeminin taşıma gücüne ve basamak yüksekliğine bağlı olarak seçilmektedirler.

Ekskavatör seçildikten sonra, seçilen ekskavatör için en uygun kamyon kapasitesinin belirlenmesi ise ekskavatör kepçe kapasitesi ile kamyon kapasitesi arasındaki ilişkiye göre gerçekleştirilmektedir. 25-360 ston arasındaki kamyonlar ile farklı kapasitelerdeki ekskavatörler değerlendirilmiş ve ekskavatörler tarafından 4-6 kepçede dolan kamyonlar için bir kullanılabilirlik alanı oluşturulmuştur. (Şekil 7).

Şekil 7’de ortadan geçen eğri ideal uyum çizgisini vermektedir. Tanımlanmış sınırlar içinde kalan kamyon ve ekskavatörler birbirleri ile uyumlu oldukları halde ideal çizgi üzerinde bulunanların seçilmesi en uygun çözümdür. Kapasitesi belirlenen ekskavatör için seçilecek kamyon bu kullanılabilirlik alanı içeri-

sinde bulunmalıdır. Kepçe kapasitesi belirlenen ekskavatör için kamyon seçiminde, ekskavatör tarafından doldurulan kamyonlarda ekskavatörün optimum kepçe sayısı (4-6) ile doldurduğu toplam hacim ile kamyonun kasa hacmi arasında oluşan farktan dolayı boş kalan kasa hacmine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Şekil 7’de verilen diyagramdan görüldüğü üzere, bir ekskavatöre farklı kapasitelerdeki kamyonlar atanabilmesine karşılık bu kamyonların kasa hacimlerinde farklı boş hacimler kalmaktadır. Burada, oluşan boş kasa hacminin minimum olduğu kamyon için üretim kaybı minimum olacaktır. Bunu sağlayan kamyon, sistem tarafından en uygun kamyon olarak belirlenmektedir. Bunun için, ilk olarak farklı ekskavatörlerin kamyonları kaç kepçede doldurduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Ekskavatör kapasitesi ve kamyon kapasitesi kullanılabilirlik ilişkisi, kepçe sayılarına bağlı olarak oluşturulmuş ve Tablo 3’te verilmiştir. Bununla birlikte, kamyon kasaları Tablo 3’te taralı alan olarak verilen kepçe periyotlarında (optimum 4-6 kepçe) hiçbir zaman tam olarak dolmamakta ve boşluklar oluşmaktadır. Bunun için kamyonların aynı kepçe

sayısında, kasalarında boş kalan hacimleri incelenmiş ve boş kalan kasa hacimleri m³ cinsinden oluşturularak Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3 ve Tablo 4 oluşturulurken, kepçe dolma faktörünün 0.75-1.0 değerleri için ve kabarma faktörünün 1.0-1.5 değerleri için 0.5 arttırılarak farklı tablolar oluşturulmuş ve bu tablolardan elde edilen minimum boş kasa hacmine sahip kamyon tonajları kural olarak uzman sisteme eklenmiştir.

Tablo 3 ve Tablo 4’te farklı kapasitelerdeki kamyonlar için 59 yd³ ile 15 yd³ arasındaki ekskavatörler örnek olarak verilmiştir. Tablo 4’ten belirlenen kamyon tonajına sahip olan kamyonlar veritabanı taranmak suretiyle belirlenmektedirler. Belirlenen kamyon kapasitesine sahip olan fakat farklı marka ve modeldeki kamyonlar veritabanında bulunmaktadır. Aynı kapasitedeki fakat farklı markadaki kamyonlar arasında tercih motor gücü daha büyük olan kamyonlardan yana olmaktadır. Kamyonların rampa yukarı çıkışlarında ve ilk harekete geçişleri sırasında yüksek motor gücü olan kamyonlar daha iyi çekiş sağlamaktadırlar. Bu yüzden marka ve model belirlenirken aynı kapasitedeki kamyonlar arasından ilk olarak HP/ton oranına bakılmakta, eğer aynı HP/ton oranına sahip olan kamyonlar varsa onların arasından da motor gücü daha yüksek olan seçilmektedir.

Optimum ekskavatör ve kamyon sayısının belirlenmesi için, ekskavatör ve kamyon satın alma maliyetleri kullanılarak istenilen üretimi sağla-

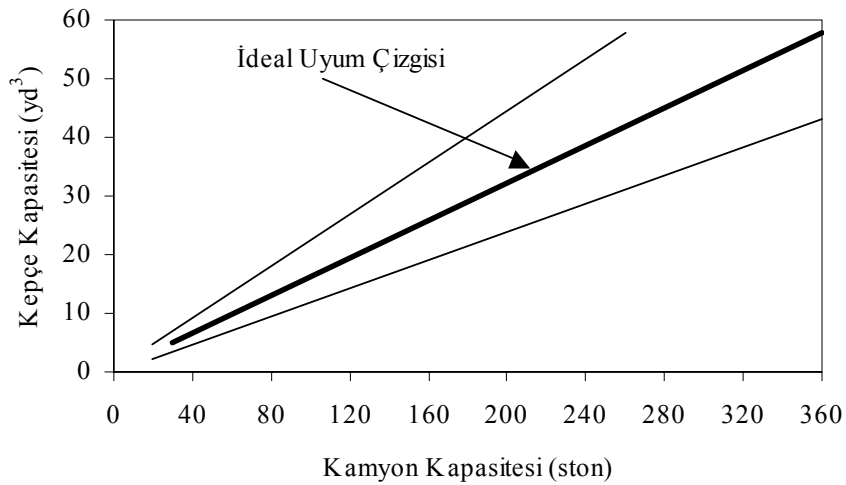
yan her bir ekskavatör ve kamyon kombinasyonunun tahmini maliyetleri tespit edilmiştir. Ekipman fiyatlarının belirlenmesinde ise üretici firmalardan elde edilen fiyatlar ile Çebi ve Aksoy (2000) tarafından verilen ekskavatör ve kamyon fiyatları kullanılmıştır.

Ekskavatör ve seçilen ekskavatöre en uygun kamyon kapasitesinin belirlenmesi için, gerekli üretimi karşılayacak olan uygun ekskavatör-kamyon kombinasyonları içinden satın alma maliyeti en düşük olan ekskavatör ve kamyon kombinasyonu optimum olarak uzman sistem tarafından belirlenmektedir.

Dekapajda kullanılan hidrolik ekskavatör ve kamyon kapasite ve adetlerinin belirlendiği gibi kömür/cevher için de hidrolik ekskavatör ve kamyonların kapasite ve adetleri de aynı şekilde belirlenmekte ve sonuçlar toplu olarak çıkış dosyasına kaydedilmektedir.

Sonuçlar

Geliştirilen uzman sistem, gerek yeni üretime başlayan bir işletme için gerekse de faaliyetlerini sürdürmekte olan bir işletmede en uygun hidrolik ekskavatör ve kamyon kapasitelerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Uzman sistemin, açık işletmelerde maliyetin büyük bir kısmını oluşturan ekipman giderlerinin önlenmesine, hatalı seçilen ekipmanların kullanılması sonucu oluşan verim düşüklüğü nedeniyle oluşan mali kayıpların giderilmesine ve verimli bir üretim yapılmasına katkıları bulunacaktır.



Şekil 7. Ekskavatör kepçesi-kamyon kapasitesi ilişkisi

Açık işletmelerde ekipman seçimi

Tablo3. Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi kullanılabilirlik ilişkisi

(Kepçe Dolma Faktörü = 0.75, Kabarma Faktörü = 1.3)

Kamyon Tonajı (ston)	Ekskavatör Kapasitesi (yd ³)									
	59	46	44	40	38	34	30	25	18	15
360	4	5	5	6	6	7	8	9	13	16
320	3	4	4	5	5	6	7	8	12	14
260	2	3	3	4	4	5	5	7	9	11
240	2	3	3	4	4	4	5	6	9	10
215	2	3	3	3	3	4	4	5	8	9
195	2	2	2	3	3	3	4	5	7	8
190	2	2	2	3	3	3	4	5	7	8
170	1	2	2	2	3	3	3	4	6	7
150	1	2	2	2	2	2	3	4	5	6
120	1	1	1	2	2	2	2	3	4	5
100	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4
85		1	1	1	1	1	1	2	3	3
75		1	1	1	1	1	1	1	2	3
65			1	1	1	1	1	1	2	2
40								1	1	1
35									1	1
25										1

Tablo4. Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi – boş kasa hacmi (m³) ilişkisi

(Kepçe Dolma Faktörü = 0.75, Kabarma Faktörü= 1.3)

Kamyon Tonajı (ston)	Ekskavatör Kapasitesi (yd ³)									
	59	46	44	40	38	34	30	25	18	15
360	4	8	13	2	9	3	2	11	5	2
320	23	19	23	9	15	7	4	9	0	4
260	33	22	25	9	14	3	15	1	8	6
240	25	14	17	1	6	15	7	7	0	7
215	16	4	8	15	18	5	15	12	1	6
195	8	23	25	7	10	17	7	4	3	7
190	6	21	23	5	8	15	5	2	1	5
170	32	13	15	20	1	7	14	9	4	6
150	0	5	8	12	15	19	7	1	7	7
120	13	20	21	1	3	8	12	4	5	4
100	5	12	14	16	17	19	4	10	8	4
85	33	7	8	10	11	13	16	4	2	7
75		2	3	5	6	8	11	14	7	2
65				3	4	6	8	11	5	8
40								1	5	7
35									3	5
25										1

Semboller

q :Günlük kaldırılacak malzeme miktarı (m³)

V :Yıllık kaldırılacak malzeme miktarı (m³)

T :Yılda çalışılan gün sayısı (gün/yıl)

\mathcal{C} :Günlük ekskavatör çevrim sayısı (adet)

S :Günlük çalışma saati (saat)

i	:İşyeri randımanı (%)
p	:Çevrim süresi (sn)
v	:Kepçe hacmi (m^3)
Q	:Bir çevrimde kaldırılacak malzeme (m^3)
k	:Kabarma faktörü
η	:Kepçe dolma faktörü

Kaynaklar

- Allahverdi, N., (2002). *Uzman Sistemler - bir yapay zeka uygulaması*, 248sh, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Bodkin, K.E., (1988). Expert systems for colliery problems, *Colliery Guardian*, **236**, 216-219.
- Britton, S.G., (1987). Computer-based expert system aids underground mine planning, *Coal Age*, January, 69-70.
- Burkert, A. ve Hall, A.E., (1992). An information system to prevent sulphide dust ignition, *CIM Bulletin*, **87**, 80-82.
- Clarke, M.P., Denby, B. ve Schofield, D., (1990). Decision making tools for surface mine equipment selection, *Mining Science and Technology*, **10**, 323-335.
- Çebi, Y. ve Aksoy, M.M., 2000. Belirli bir dekapaj için değişik ekskavatör-kamyon kombinasyonlarının maliyet analizi ile değerlendirilmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **2**, 66-77.
- Denby, B. ve Atkinson, T., (1988). Expert system applications in the mining industry, *The Mining Engineer*, May, 505-509.
- Denby, B. ve Kızıl, M.S., (1991). An application of expert systems in geotechnical risk assessment for surface coal mine design, *International Journal of Surface Mining and Reclamation*, **5**, 75-82.
- Erçelebi, S.G ve Kırmanlı, C., (2000). Review of surface mining equipment selection techniques, *Mine Planning and Equipment Selection 2000*, 547-553, Greece.
- Erdem, B., Çelebi, N. ve Paşamehmetoğlu, A.G., (1994). Development of an expert system for dragline and stripping method selection, *Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, 595-601, İstanbul.
- Grayson, L.A., Watts, M.C., Singh, H., Yuan, S., Dean, J.M., Reddy, N.P. ve Nutter, Jr, R.S., (1990). A knowledge-based expert system for managing underground coal mines in the USA, *IEEE Transaction on Industry Applications*, **26**, 598-604.
- King, R.L., (1987). Design of a methane control expert system, *International Symposium on Underground Mining and Technology*, 11-19, Amsterdam.
- Lilie, N, Obradovic,I ve Stankovic, R., (1997). Ventex: An expert system for mine ventilation systems analysis, *Mining Technology*, **79**, 295-302.
- Miller, B.M., (1988). Future Applications of expert systems for the evaluation of energy resources, *Journal of Petroleum Technology*, March, 384-352.
- Mitchell, J., (1991). Diagnostic expert system techniques for improving hydraulic maintenance of a continuous mining machine, *Mining Engineering*, April, 419-423.
- Mutagwaba, W.K. ve Terezopoulos, N.G., (1994). Knowledge-based system for mine method selection, *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. A: Mining Industry)*, **103**, A27-32.
- Müftüoğlu, Y.V. ve Scoble, M.J., (1985). Kömür açık işletmeciliğinde kazılabilirliği belirleme yöntemleri, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi*, 29-37, Ankara.
- Nasuf, E. ve Yazıcı, S., (1994). A prototype expert system for blasting design, *Third International Symposium on Mine planning and equipment selection*, 619-624, İstanbul.
- Özgenoğlu, A ve Öcal, A., (1994). ŞEVDUR: An expert system for slope stability analysis, *Third International Symposium on Mine planning and equipment selection*, 625-628, İstanbul.
- Paşamehmetoğlu, G.N., (1988). Jeoteknik ve performans verilerinin değerlendirilmesi, kazılabilirlik sınıflama sisteminin önerilmesi, TKİ Final Raporu, 150sh, Ankara.
- Ren, T.X. ve Richards, M.J., (1994). A computerized system for the study of the spontaneous combustion of coal, *The Mining Engineer*, November, 121-127.
- Rzhevsky, V.V., (1985), *Opencast Mining Unit Operations*, 478pp, Mir Publisher, Moscow.
- Turban, E., (1992). *Expert Systems and Applied Artificial Intelligence*, Macmillan Publishing Company, New York.
- Waterman, D.A., (1986). *A guide to expert systems*, 419pp, Addison Wesley Publishing Company, New York, USA.
- Yazıcı, S., Nasuf, E. ve Kırmanlı, C., 1995. Patlayıcı kazı tasarımı için bir karar destek sistemi - PATAS, *Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu*, 147-154, İzmir.
- Zakaria, S., (1994). Automatic haulage truck (AHT) expert system, *CIM Bulletin*, **87**, 74-77.