

175787

**AÇIK İŞLETMELERDE OPTİMUM EKİPMAN
SEÇİMİ**

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. İ. Cengiz KIRMANLI
505972061

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Eylül 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Ocak 2004

Tez Danışmanı :
Diğer Jüri Üyeleri

Doç.Dr. Selamet G. ERÇELEBİ (İTÜ)

Prof.Dr. Senai SALTOĞLU (İTÜ)

Prof.Dr. Ali KAHRİMAN (İÜ)

Prof.Dr. Nuh BİLGİN (İTÜ)

Doç.Dr. Yalçın ÇEBİ (DEÜ)

OCAK 2004

ÖNSÖZ

Ülkemizdeki ve dünyadaki açık işletmelerde hidrolik ekskavatör ve kamyon üretim yöntemi hızla yaygınlaşmaktadır. Açık işletmelerde kullanılan büyük kapasiteli ve satın alma maliyetleri çok yüksek olan ekipmanların, işletme şartlarına uygun seçilmesi ve kullanılması, hem birim üretim maliyetlerinin azalmasını, hem de üretim veriminin artmasını etkileyen en önemli unsurdur. Bu nedenle, optimum hidrolik ekskavatör ve kamyon seçimi ülkemiz açık işletmeciliği açısından büyük öneme sahiptir. Bu ekipmanların seçiminde, son yıllarda hızla yaygınlaşan Yapay Zeka tekniklerinden birisi olan Uzman Sistemler kullanılarak madenciliğimize katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

Gerek çalışmam sırasında gerekse de her konuda yardımlarını esirgemeyen hocam, Sayın Doç.Dr. Selamet G. ERÇELEBİ'ye teşekkürlerim sonsuzdur.

Ocak 2004

Cengiz KIRMANLI

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1 GİRİŞ	1
2 YAPAY ZEKA VE UZMAN SİSTEMLER	4
2.1 Yapay Zeka	4
2.1.1 Yapay Zekanın tarihçesi	5
2.1.2 Yapay Zeka uygulama alanları	6
2.2 Uzman Sistemler	7
2.2.1 Uzman sistem uygulama alanları	8
2.2.2 Uzman sistemlerin avantaj ve dezavantajları	8
2.2.3 Uzman sistemlerin yapısı	12
2.3 Uzman Sistemlerde Bilgi Temsili	13
2.3.1 Üretim kuralları	13
2.3.2 Çerçeve tipi bilgi temsili	15
2.3.3 Karatahta ile bilgi temsili	17
2.3.4 Semantik şebeke ile bilgi temsili	17
2.3.5 Yüklemler mantığı ile bilgi temsili	19
2.4 Çıkarım Mekanizması	19
2.4.1 Arama teknikleri	20
2.4.1.1 Ayrıntılı arama tekniği	21
2.4.1.2 En iyi ilk arama tekniği	21
2.4.1.3 Önce derinlemesine arama tekniği	21
2.4.1.4 Önce enlemesine arama tekniği	22
2.4.2 Çıkarım teknikleri	23
2.4.2.1 İleri zincirleme çıkarım tekniği	24
2.4.2.2 Geri zincirleme çıkarım tekniği	25

2.5 Uzman Sistem Geliştirme Araçları	25
2.5.1 Uzman sistem dilleri	25
2.5.2 Uzman sistem araçları	26
2.5.2.1 Sınırlı geliştirme araçları	27
2.5.2.2 Tümevarımlı geliştirme araçları	27
2.5.2.3 Melez geliştirme araçları	27
2.5.3. Kabuklar	28
3 MADENCİLİKTE UZMAN SİSTEM UYGULAMALARI	29
3.1 Jeolojik Değerlendirme	30
3.1.1 PROSPECTOR	30
3.1.2 muPROSPECTOR	31
3.1.3 Slope Safety Analyser	31
3.1.4 ESDS	32
3.1.5 Şevdur	33
3.2 İş Makineleri Arıza Tespiti	34
3.2.1 Shearer	34
3.2.2 AHT	34
3.2.3 Hydraulic Dimes	35
3.2.4 Sürekli kazıcı elektrik arıza tespit uzman sistemi	35
3.2.5 Intex	35
3.2.6 Dragline Expert System	35
3.3 Kömürün Kendiliğinden Yanması	36
3.3.1 ESSH	36
3.3.2 Heatings	37
3.4 Maden Tasarım ve Planlaması	37
3.4.1 Selex	37
3.4.2 Patas	38
3.4.3 Expert System for Mining Property Selection	40
3.4.4 Expert System for Mining Method Selection	40
3.4.5 Minexpert	40
3.5 Çalışma Emniyetini Arttırmak	41
3.5.1 UFEL	41
3.5.2 DustPro	41
3.5.3 MethPro (Methane Professional)	42
3.5.4 Ventex	42
3.5.5 Dustex	42

3.6 Tesis Yönetimi ve Organizasyonu	43
3.6.1 Mine Manager Support System (MMSS)	44
3.6.2 CHOOZ	44
3.7 Makine ve Teçhizat Seçimi	44
4 AÇIK İŞLETME EKİPMAN SEÇİMİNDE UYGULANAN TEKNİKLER	45
4.1 Klasik Sistemler	45
4.2 Doğrusal Programlama	46
4.3 Simülasyon	47
4.4 Kuyruk Teorisi	49
4.5 Bulanık Kümeler Teorisi	50
4.6 Genetik Algoritmalar	52
4.7 Uzman Sistemler	53
4.7.1 Scraper	53
4.7.2 Equipment Selecting Expert System	54
4.7.3 MİNDER	54
4.7.4 Dragline Selector	55
4.7.5 Expert System for Equipment Selection	57
4.8 İlişki Matrisi	58
5 AÇIK İŞLETME EKİPMAN SEÇİMİ KRİTERLERİ	61
5.1 Kazılabilirlik ve Sınıflama Sistemleri	61
5.1.1 Kayaç dayanımı ve çatlak sıklığına göre sınıflama sistemi	62
5.1.2 Sismik hıza göre sınıflama sistemleri	63
5.1.3 RQD değerine göre sınıflama sistemi	64
5.1.4 Tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflama sistemleri	64
5.1.5 Rzhevsky kazılabilirlik sınıflama sistemi	65
5.1.6 Müftüoğlu kazılabilirlik sınıflama sistemi	70
5.1.7 Paşamehmetoğlu kazılabilirlik sınıflaması	70
5.1.8 Özgül kazı enerjisine göre kazılabilirlik sınıflaması	73
5.1.9 Uzman sistem kazılabilirlik sınıflaması	73
5.2 Üretim Kriterleri	76
5.3 İşyeri Kriterleri	78
5.4 Malzeme Kriterleri	82

5.5 Ekipman Kriterleri	83
6 EKİPMAN SEÇİMİ UZMAN SİSTEMİ	88
6.1 Örnek Uzman Sistem Uygulaması	108
6.2 Uzman Sistem Kabuğunun Tanıtılması	114
7 SONUÇLAR	116
KAYNAKLAR	119
EKLER	126
ÖZGEÇMİŞ	143



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1	Uzman sistem uygulama alanları (Allahverdi, 2002)	9
Tablo 2.2	Avantajlarına göre uzman sistem ve uzman insan karşılaştırılması.....	10
Tablo 2.3	Dezavantajlarına göre uzman sistem ve uzman insan karşılaştırılması.....	12
Tablo 4.1	İlişki derecesi ağırlık katsayıları.....	58
Tablo 5.1	RQD değerlerine göre kayaç kalitesi sınıflaması (Deere)	64
Tablo 5.2	Tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflama (ISRM).....	64
Tablo 5.3	Kayaçların kazılabilirlik sınıflaması (Rzhevsky, 1985)	67
Tablo 5.4	K _k katsayısına ait ortalama değerler (Rzhevsky, 1985)	68
Tablo 5.5	Kırılmış kayaçların kazılabilirlik sınıflaması (Rzhevsky, 1985) ..	69
Tablo 5.6	Ekipmanların kazılabilirlik ve diğer parametre özellikleri (Rzhevsky, 1985)	69
Tablo 5.7	Kazılabilirlik parametreleri ve puanlama sistemi (Müftüoğlu, 1983)	70
Tablo 5.8	Kazılabilirlik sınıflaması (Müftüoğlu, 1983)	71
Tablo 5.9	Kazılabilirlik parametreleri ve puanlama sistemi (Paşamehmetoğlu, 1988).....	72
Tablo 5.10	Kazılabilirlik sınıflandırması (Paşamehmetoğlu, 1988)	72
Tablo 5.11	Özgül kazı enerjisine göre kazılabilirlik sınıflaması (Ceylanoğlu, 1994)	73
Tablo 5.12	GLİ Tunçbilek Bölgesi kayaçlarının basınç dayanımı ve sismik hız değerleri	75
Tablo 5.13	Çatlaklar arası mesafe-çatlak sınıfı ilişkisi (Rzhevsky, 1985)	76
Tablo 5.14	Uzman sistem geliştirilmesinde kullanılacak kazılabilirlik puan sistemi	77
Tablo 5.15	Kazılabilirlik sınıflaması	77
Tablo 5.16	Ekskavatör kepçe hacmi - basamak yüksekliği ilişkisi (Aydın ve diğ, 1988)	78
Tablo 5.17	Ekskavatör kepçe hacmi - basamak yüksekliği ilişkisi	79
Tablo 5.18	Kepçe dolma faktörü değerleri	83
Tablo 5.19	Ekskavatörlerin zemine uyguladığı basınç değerleri	84
Tablo 5.20	Kamyon tonajına bağlı olarak ekskavatör boşaltma yükseklikleri	85
Tablo 5.21	Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi kullanılabilirlik ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü = 1, Kabarma Faktörü = 1)	87
Tablo 5.22	Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi – boş kasa hacmi (m ³) ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü = 1, Kabarma Faktörü = 1)	87
Tablo 6.1	Ekskavatör veritabanını oluşturan alanlar ve açıklamaları	91
Tablo 6.2	Kamyon veritabanını oluşturan alanlar ve açıklamaları	92
Tablo 6.3	Kazılabilirlik kısmında değerleri belirlenen değişkenler	95
Tablo 6.4	Üretim bilgileri kısmında değerleri belirlenen değişkenler	97
Tablo 6.5	İşyeri özellikleri kısmında değerleri belirlenen değişkenler	97

Tablo 6.6	Malzeme özellikleri kısmında değerleri belirlenen değişkenler ...	98
Tablo 6.7	Çeşitli zeminlere ait yaklaşık taşıma kapasiteleri	103
Tablo 6.8	Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi kullanılabilirlik ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü = 0.85, Kabarma Faktörü = 1)	105
Tablo 6.9	Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi – boş kasa hacmi (m ³) ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü = 0.85, Kabarma Faktörü = 1)	105
Tablo 6.10	Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi kullanılabilirlik ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü = 0.75, Kabarma Faktörü = 1.3) ..	106
Tablo 6.11	Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi – boş kasa hacmi (m ³) ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü = 0.75, Kabarma Faktörü= 1.3) ...	106
Tablo 6.12	Kamyon fiyatları	107
Tablo 6.13	Ekskavatör fiyatları	108
Tablo A1	Ekskavatör veritabanı	127
Tablo A2	Kamyon veritabanı	133



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Yapay zeka uygulama alanları ve disiplinler ilişkisi	6
Şekil 2.2	Tipik bir uzman sistem yapısı	12
Şekil 2.3	Çerçeve tipi bilgi temsili	16
Şekil 2.5	Önce derinlemesine arama tekniği şematik görünüşü	22
Şekil 2.6	Önce derinlemesine arama tekniği şematik görünüşü	23
Şekil 2.7	İleri zincirleme çıkarım mekanizması (G1...G10 : gerçekler)	24
Şekil 2.8	Geriye zincirleme çıkarım mekanizması (G1...G10 : gerçekler) ...	25
Şekil 3.1	Prospector çıkarım örneği	31
Şekil 3.2	ESDS ve ilişkili arabirimleri	33
Şekil 3.3	Selex uzman sistemi yapısı	38
Şekil 3.4	Patas uzman sistemi yapısı.....	39
Şekil 4.1	Ekskavatör-kamyon sistemi	49
Şekil 4.3	XSOME yapısı	53
Şekil 4.4	Minder uzman sistemi ve diğer programlarla ilişkisi	55
Şekil 4.5	Minder hidrolik ekskavatör-kamyon seçimi yapısı	56
Şekil 4.6	Dragline Selector yapısı	56
Şekil 4.7	Ağırlık katsayılarına göre ekipman seçimi matrisi	59
Şekil 4.8	Etki -Tepki grafiği	59
Şekil 5.1	Kaya dayanımı ve çatlak aralığına göre kazılabilirlik tayini	63
Şekil 5.2	Sismik hızla bağlı olarak kazı olasılığının belirlenmesi	63
Şekil 5.3	Tek eksenli basınç dayanımına göre kazı makinelerinin uygulanabilirliği	65
Şekil 5.4	Sismik hızla göre Caterpillar D11R Riper performansı	75
Şekil 5.5	Ekskavatör Kepçesi – Kamyon Kapasitesi İlişkisi	86
Şekil 6.1	Ekipman seçimi uzman sistem yapısı	89
Şekil 6.2	Ekipman seçimi uzman sisteminin basitleştirilmiş akım şeması ...	93
Şekil 6.3	Uzman sistem giriş ekranı	94
Şekil 6.4	Kazılabilirlik sorgulama ekranı	94
Şekil 6.5	Kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi	95
Şekil 6.6	Basınç dayanımı puanlaması için geliştirilen “METHOD” yapısı.	96
Şekil 6.7	Üretim bilgilerinin belirlenmesi	97
Şekil 6.8	İşyeri özelliklerinin belirlenmesi	97
Şekil 6.9	İşyeri ve üretim bilgileri sorgulama ekranı	98
Şekil 6.10	Malzeme özellikleri sorgulama ekranı	99
Şekil 6.11	Malzeme özelliklerinin belirlenmesi	99
Şekil 6.12	Uzman sistem açılış ekranı	109
Şekil 6.13	Kazılabilirlik sorgulama ekranı	109
Şekil 6.14	İşyeri bilgileri sorgulama ekranı	110
Şekil 6.15	Malzeme özellikleri sorgulama ekranı	111
Şekil 6.16	Uzman sistem çıktısı	112
Şekil 6.17	KappaPC ana ekranı	115
Şekil B.1	Kazılabilirlik kural örnekleri	139

Şekil B.2	İşyeri kural örnekleri	140
Şekil B.3	Malzeme kural örnekleri	141
Şekil B.4	Ekipman kural örnekleri	142



SEMBOL LİSTESİ

RQD	: Kayaç kalite değeri
σ_c	: Basınç dayanımı
Π_b	: Kırılmaya karşı direnç
K_j	: Kayaç çatlaklılık katsayısı
σ_{sh}	: Kesme dayanımı
σ_t	: Çekme dayanımı
ρ	: Spesifik ağırlık
Π_{ex}	: Kazılabilirlik indeksi
λ	: Masif kayaçlarda yapısal gevşeklik katsayısı
Π_{exm}	: Makine seçimine esas olan kazılabilme indeksi
K_k	: Kazı makinesinin tipini belirleyen katsayı
K_{ss}	: Kazı makinesinin standardını belirleyen katsayı
Π'_{ex}	: Kırılmış kayaçların kazılabilme indeksi
K_l	: Kabarma katsayısı
d_a	: Parça büyüklüğü
AD	: Ayrışma derecesi
BDn	: Nokta yük indeksi
SHV	: Schmidt Sertlik Değeri
E	: Elastisite Modülü
DE	: Dinamik Elastisite Modülü
Yog	: Yoğunluk
ν	: Poisson Oranı
Ç	: Çatlaklar arası mesafe
K	: Katmanlaşma kalınlığı
V	: Yıllık kaldırılacak malzeme miktarı
Q	: Günlük kaldırılacak malzeme miktarı
T	: Yılda çalışılan gün sayısı
Ç	: Günlük ekskavatör çevrim sayısı
S	: Günlük çalışma saati
i	: İşyeri randımanı
p	: Çevrim süresi
Q	: Bir çevrimdeki kaldırılacak malzeme miktarı
v	: Kepçe hacmi
k	: Kabarma faktörü
η	: Kepçe dolma faktörü

AÇIK İŞLETMELERDE OPTİMUM EKİPMAN SEÇİMİ

ÖZET

Yeraltı 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 işletmelerde kullanılan iş makinelerindeki son yıllardaki gelişen teknolojiye paralel olarak büyük gelişmeler göstermesi ile açık maden işletmeciliğinden yana olmaktadır.

Dünyadaki maden üretiminin büyük bir kısmı açık işletme madenciliği şeklinde uygulanmaktadır. 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 unsurlardan birisidir.

Açık işletmelerde üretim derinliğinin cevherleşmeye bağlı olarak giderek artması sonucu ortaya çıkan maliyet artışları, kazı ve nakliyede kullanılan ekipmanların kapasitelerinin arttırılmasını gerekli kılmıştır. Ayrıca, yüzeye yakın bölgelerdeki rezervlerin ve yüksek tenörlü cevherlerin tüketilmesi sonucu düşük tenörlü cevherlerin üretilmesi gerekli olmuştur. Cevherleşmenin dağınık olduğu bir yatak yapısında, kazı miktarı ve malzeme nakliyesindeki büyük artışlar, bu artışı karşılayacak kapasitedeki yeni ve büyük iş makinelerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur.

Açık işletmelerde kullanılan ekipmanlar ilk yatırım masrafı çok fazla olan büyük kapasiteli iş makineleridir. Ekipman seçiminde yapılacak olan bir hata, üretim sisteminin bütün verimliliğini etkileyecek ve birim üretim maliyetlerinde artışlara neden olacaktır. Bu sebepten dolayı, açık işletmelerde üretim sisteminin ve ekipmanların seçiminin çok iyi analiz edilerek bu seçimin sonucunda optimum ekipman konfigürasyonunun belirlenmesi gereklidir.

Son yıllarda ekipman üretimindeki teknolojik gelişmeler sonucu olarak hidrolik ekskavatörler, gerek küçük ölçekli işletmelerde gerekse de büyük işletmelerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmışlardır. Hidrolik ekskavatörlerin, madencilik ve inşaat sektöründeki yaygın kullanımlarından ve kapasitelerindeki büyük artışlardan dolayı açık işletmelerde ekipman seçiminin, en fazla kullanılan üretim yöntemi olan hidrolik ekskavatör ve kamyon için yapılması uygun görülmüştür.

Yapay Zeka'nın; uzman sistemler, yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar gibi tekniklerinin madencilik alanına uygulanması yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu tekniklerden birisi olan uzman sistemler, uzman insanlara ihtiyaç duyulduğunda veya problemin çözümü için karar verecek uzman insan bulunmadığı zaman, onların yerine karar verebilen bilgisayar programları olarak tanımlanırlar. Madencilik gibi çok farklı disiplinlerin bir arada çalışması gereken bir alanda her zaman konularında uzman olan kişilerin bulunamayacağı açıktır. Bunlardan dolayı,

bir Yapay Zeka tekniği olan Uzman Sistemlerin, açık işletmelerde ekipman seçimi için kullanılmasına karar verilmiştir. Böylece, hem gelişen teknolojinin madenciliğe uygulanmasına olanak sağlamak, hem de açık işletme ekipmanlarının seçimi gibi birim üretim maliyetlerine etkisi büyük olan problemin çözümüne katkıda bulunmak amağlanmıştır. Bunun için, uzman sistemlerle ilgili geniş bir literatür araştırması yapılmış, madenciliğe uygulanan uzman sistemler belirlenerek sınıflandırılmış ve bu sınıflara ait örnek uzman sistem uygulamaları tanıtılmıştır.

Aık işletme ekipman seçiminde uygulanan klasik, yöneylem araştırması ve Yapay Zeka teknikleri de ayrıca incelenerek geliştirilen programlar ve bu programların çalışma yapıları hakkında bilgi verilmiştir. Böylece, açık işletmelerde ekipman seçiminde kullanılan teknikler ve bu amaçla geliştirilen programlar hakkında geniş bir bilgi birikimi oluşturulmuştur.

Uzman sistem geliştirilmesinde, bir uzman sistem geliştirme kabuğu kullanılmıştır. Kullanılan kabuk, Intellicorp firması tarafından geliştirilmış olan ve kullanıma aık olan KappaPC isimli kabuktur.

KappaPC kabuğunun yapısı gereği, ekipman seçiminde kullanılmak üzere kurallar ve veritabanları hazırlanmıştır. Veritabanında, 85 adet hidrolik ekskavatör ve 113 adet kamyon olmak üzere farklı marka ve modele ait veriler toplanmıştır. Kurallar ise ekipman seçim kriterlerine göre oluşturulmuştur. Seçim kriterleri; kazılabilirlik, işyeri ve malzeme özellikleri olmak üzere 3 farklı sınıfta toplanmıştır.

Kazılabilirlik, kazı ekipmanının seçiminde kullanılan en önemli parametredir. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalardan elde edilen kazılabilirlik sınıflamaları baz alınarak, uzman sistemde kullanılmak üzere yeni bir kazılabilirlik sınıflaması oluşturulmuştur. Bu sınıflama ve diğer seçim kriterleri göz önünde tutularak uzman sistem tarafından hidrolik ekskavatör seçimi yapılmaktadır. Seçilen ekskavatöre uygun kamyon kapasitesinin belirlenmesi içinse 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.

Optimum ekskavatör ve kamyon sayısının belirlenmesi için, ekskavatör ve kamyon satın alma maliyetleri kullanılarak istenilen üretimi sağlayan her bir ekskavatör ve kamyon kombinasyonunun maliyetleri tespit edilmiştir. En düşük maliyetin elde edildiği kombinasyon ise optimum olarak belirlenmiştir. Böylece, açık işletmelerde kullanılan hidrolik ekskavatör ve kamyon yöntemi için optimum ekipman seçimi yapan bir uzman sistem geliştirilmiştir.

OPTIMUM EQUIPMENT SELECTION IN SURFACE MINING

SUMMARY

Surface mining has been used more and more because of increasing the cost of mining resulting from the increasing depth of ore deposits, and new technological improvement in surface mining equipment.

Most of the world mineral production comes from surface mines. A production activity in surface mining is realized with different equipment configuration, Equipment selection directly affects the productivity.

The costs of mining have been increasing with the increasing depth of ore deposits, and this results using bigger size equipment.

The Capital cost of Surface mining equipment is very high. Wrong equipment selection results in increasing the production cost, and lower productivity. Therefore when selecting equipment for surface mining, detailed analyses should be performed and optimum configuration should be realized.

Recently hydraulic excavators are finding application in small and big surface mines, and this study only hydraulic excavators are taken consideration.

Applications of expert systems, artificial neural networks, fuzzy logic, genetic algorithms, which are branches of Artificial Intelligence, are becoming popular in Mining. Expert systems are defined, as "An Expert System is a computer application that solves complicated problems that would otherwise require extensive human expertise. To do so, it simulates the human reasoning process by applying specific knowledge and inference". Mining is discipline which many expert people are involved in decision making process.

Therefore an expert system makes the life of miner easier. A literature survey is carried out and expert systems applied in mining are classified.

Several other techniques such as classical, operations research, artificial intelligence are examined and knowledgebase for equipment selection is established.

A shell, developed by Intellicorp Company, KappaPC is selected for developing Equipment Selection Expert Systems. For KappaPC, rules and databases are prepared. 85 hydraulic excavators and 113 trucks are included in databases. 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 used under the lights of the previously developed systems. Excavability and other parameters such as bearing capacity, bucket fill factor, bucket cycle time determines the best excavator. Truck selection is based on the remaining empty capacity after the excavators load the truck with optimum

number of buckets (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.



1 GİRİŞ

Dünya madenciliğine bakıldığında, son yıllarda açık işletme madenciliğinin yeraltı madenciliğine oranla çok hızlı bir şekilde yaygınlaştığı görülmektedir. Yeraltı hammadde kaynaklarının teknolojinin hizmetine sunulması için uygulanan yeraltı ve açık maden işletmeciliği arasındaki tercih, derinliğin artmasına bağlı olarak yeraltı cevher/kömür 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 arttırılmasını 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 taşımasındaki büyük artışlar, bu artışı karşılayacak kapasitedeki yeni ve büyük iş makinelerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur.

Son yıllarda açık işletme ekipmanlarının üretim teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak büyük kapasiteli ekipmanların hizmete sokulması ile açık işletme sınırlarının genişlemesi ve çok büyük miktarlarda kazı ve nakliye yapılması mümkün olmuştur.

Açık işletmelerdeki üretim faaliyetleri, çalışma şekilleri ve kapasiteleri birbirlerinden çok farklı ekipman grupları ile sağlanmaktadır. Bu ekipmanların doğru seçilmesi, üretim sisteminin verimli çalışmasını da etkileyen en önemli unsurdur. Ekipman seçiminde yapılacak olan bir yanlışlık, sistemin bütün verimliliğini etkileyecek ve birim cevher üretim maliyetlerinde büyük artışlara neden olacaktır. Bu sebepten dolayı, açık işletmelerde ekipman seçiminin çok iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

Aynı zamanda, açık işletmelerde kullanılan ekipmanların maliyetleri, toplam yatırımın çok büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle, doğru ekipmanın seçimi ekonomiklik açısından da çok büyük öneme sahiptir.

Açık işletmelerde ekipman seçimi için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bunlar arasında simülasyon, doğrusal programlama ve kuyruk teorisi gibi yöneylem araştırması teknikleri uzun yıllar yaygın olarak kullanılmış ve halen kullanılmaktadırlar. 1960'lı yıllardan sonra gelişmeye başlayan Yapay Zeka teknikleri ise endüstrinin her alanında olduğu gibi madencilik sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Genetik algoritmalar, bulanık mantık ve uzman sistemler gibi Yapay Zeka teknikleri yaygın olarak kullanılan tekniklerdir.

Madencilik, diğer mühendislik disiplinleri ile çok yakın ilişkide bulunan bir bilim dalıdır. Maden mühendisi, sorunlara çözüm ararken farklı disiplinlerdeki uzman kişilerin görüşlerini de alarak karar vermek zorundadır. Fakat, uzman kişilere ulaşmak, bu kişileri istihdam etmek veya görüşlerini almak her zaman mümkün olmamaktadır. Bu yüzden, bir Yapay Zeka tekniği olan uzman sistemler bu noktada yardımcı olmaktadır. Uzman sistemler, uzman görüşleri doğrultusunda hazırlanmış ve bir uzman gibi karşılaşılan sorunlara çözüm veya çözüm alternatifleri sunan bilgisayar programlarıdır. Bilgisayar tecrübesi olmayan kullanıcılar bile, uzman sistem sorgulama yapısı gereği olarak sorulan sorulara cevaplar vermek suretiyle bir çözüme ulaşabilmektedirler.

Bu çalışmada, açık işletmelerde ekipman seçimi için bir uzman sistem geliştirilmiştir. Çeşitli jeolojik ve teknolojik faktörlere bağlı olan ve çözümü için uzman kimselerin görüşlerine de başvurulması gereken ekipman seçiminin geliştirilen uzman sistem ile yapılması sağlanmıştır. Geliştirilen uzman sistem ile, tasarım mühendislerinin daha işletmenin planlama aşamasında seçilecek olan ekipmanlar hakkında bir ön fikir sahibi olmaları amaçlanmıştır. Böylece, detaylı planlama ve analiz çalışmaları öncesinde, kullanılacak ekipmanların kapasiteleri, maliyetleri ve teknik özellikleri hakkında bilgi sahibi olunabilecektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, Yapay Zeka ve Uzman Sistemler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ise madencilik sektöründe uzman sistemlerin uygulandığı alanlar sınıflandırılmış ve geliştirilen uzman sistemlere örnekler verilmiştir. Dördüncü bölümde, açık işletme ekipman seçiminde kullanılan teknikler detaylı olarak açıklanmış ve bu teknikler kullanılarak geliştirilen programlara ait örnekler verilmiştir. Ekipman seçiminde kullanılan kriterler ve ekipman seçimi uzman sistemi geliştirilmesinde kullanılan parametreler ise beşinci bölümde sunulmuştur. Çalışmanın altıncı bölümünde, uzman sistem geliştirmek için kullanılan

uzman sistem kabuğu tanıtılmış ve geliştirilen ekipman seçimi uzman sistemi hakkında bilgi verilerek programın ęalıřma yapısı tanıtılmıştır. Ayrıca, bu bölümde örnek bir ęalıřma sunulmuştur. Son bölümde ise yapılan ęalıřma ile ilgili sonuçlar ve öneriler verilmiştir.



2 YAPAY ZEKA VE UZMAN SİSTEMLER

Bu çalışmanın konusu olan uzman sistemler bir Yapay Zeka tekniğidir. Yapay Zeka, 1950'li yıllardan başlayarak yapılan çalışmalar ile artık bir bilim dalı haline gelmiştir. Bu bölümde, Yapay Zeka ve Uzman Sistemler hakkında bilgi verilmiştir.

2.1 Yapay Zeka

Yapay Zeka terimi, ilk olarak 1956 yılında John McCarthy tarafından ABD'de Machine Intelligence (Makine Zekası) kongresinde ortaya konmuş bir kavramdır. Bilimsel olarak 1960'lı yıllarda yaygın olarak araştırılmış ve 1970-80'li yıllarda ise endüstriyel uygulamaları başlamıştır. Yapay Zeka, Türkçe kaynaklarda Yapay Us veya Suni Zeka olarak da isimlendirilmiştir. Yapay Zeka, insanın zeka gerektiren davranışlarının özelliklerini taklit etmek, zeki bilgisayar sistemleri tasarlamak ve geliştirmekle uğraşan bir bilim dalı olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmek üzere programlanmış bir bilgisayarın düşünme girişimi olarak da tanımlanmaktadır. Bir başka tanımda ise, Yapay Zeka, bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekasına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayar olarak verilir.

Yapay Zeka için herkesin kabul edeceği genel bir tanım belirlenememektedir. Bunun nedeni ise yapay zekanın disiplinler arası bir ilişki içinde olması ve herkesin kendi açısından bakarak farklı tanımlar ortaya koymasıdır.

Yapay Zeka bir çok dallara ayrılmasına karşılık, Yapay Zeka denildiği zaman ilk akla gelen genellikle uzman sistemlerdir. Bunun sebebi ise uzman sistemlerin yapay zekanın diğer dallarından daha önce geliştirilmeye başlanması ve endüstrinin bütün dallarında uygulanmasıdır. Yapay Zeka'nın diğer bileşenleri olan yapay sinir ağları, bulanık mantık, makine öğrenme, genetik algoritmalar, zeki öğretim sistemleri gibi dalları da artık yaygın olarak uygulama alanı bulmuştur (Rolston, 1988, Allahverdi, 2002).

2.1.1 Yapay Zekanın tarihçesi

Yapay Zekanın tarihsel gelişimi incelenirse çeşitli dönemlere ayrıldığı görülmektedir. Bu dönemler kronolojik olarak aşağıda sunulmuştur (Turban,1992; Yavuzer,1996).

Bunlardan en eski örnek, Yunan Mitolojisinden verilir. Rüzgarın yaratıcısı olarak bilinen Daedalus'un bir yapay insan yaratma teşebbüsü ilk yapay insan yaratma çalışması olarak görülmektedir.

Yapay Zeka için bir diğer önemli dönüm noktası ise Charles Babbage isimli ünlü matematikçinin 1880'li yılların ilk yarısında yaptığı çalışmalarıdır. Babbage, zeki davranışlar göstermesini istediği bazı makineler üzerinde deneyler yapmıştır. Bununla birlikte, bu makinelerin insanlar kadar zeki olamayacağı üzerinde görüş birliği oluşmuştur. Buna rağmen, Yapay Zeka üzerinde çalışmalar devam etmiştir. Bilgisayarların geliştirilmesinden sonra ise bilgisayarların zeki olup olmadığının belirlenmesi yani bir Yapay Zeka oluşturup oluşturmadığının tespiti için A.M.Turing tarafından kendi ismiyle anılan bir test geliştirilmiştir. Shannon tarafından ise 1950 yılında bilgisayarlara satranç oynattırılabilceği ileri sürülmüştür.

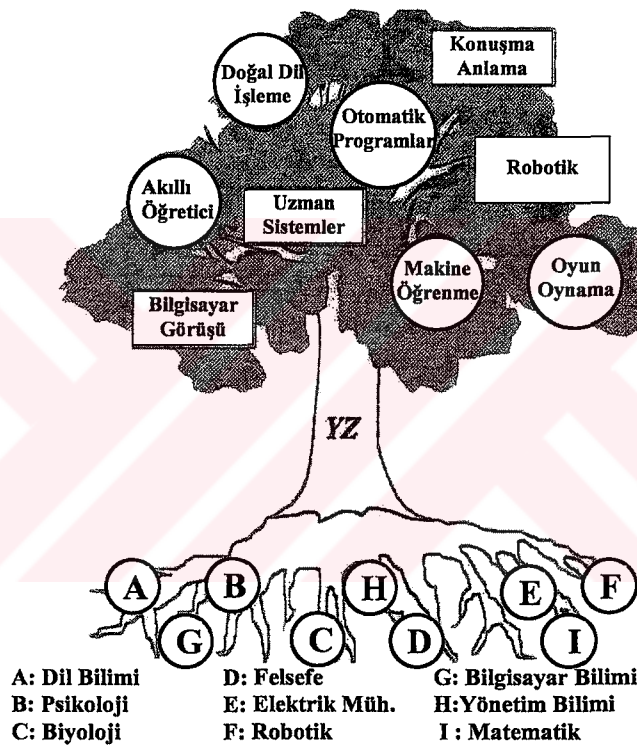
1956 yılında Dartmouth Koleji tarafından düzenlenen Machine Intelligence konferansında ise Yapay Zeka terimi ilk olarak McCarthy tarafından açıklanmıştır. Bu dönemdeki en önemli gelişmeler, zeka testlerindeki benzer geometrik şekillerin ayırt edilmesinde kullanılan bir program ve sembolik bütünleşmeyi sağlayan başka bir programın geliştirilmesi sayılabilir. 1960-1970 yılları arasında ise yapay zekanın gelişimi beklenen hızda devam etmemiştir. Bu dönemde bazı robotlar ve satranç programı geliştirilmiştir. DENDRAL, organik kimyasal bileşiklerin moleküler yapılarının belirlenmesi için organik kimyasal bileşiklerin analiz edilmesinde kullanılmak üzere 1965 yılında ilk uzman sistem olarak geliştirilmiştir. McCarthy tarafından geliştirilen LISP programı da bu dönem içindeki Yapay Zeka için dönüm noktası olmuştur.

1970-1980 yılları arasında ise, bilgi tabanlı sistemler hızla geliştirilmişlerdir. MYCIN, bu dönemde teşhis amaçlı geliştirilen önemli bir uzman sistemdir. Aynı zamanda bir uzman sistem geliştirme dili olan PROLOG'da bu dönemde Alain Colmerauer tarafından University of Marseilles'da geliştirilmiştir.

1980’li yıllardan sonra ise uygulamalar hızla artmış, madencilik açısından jeolojik amaçlı olan ilk uzman sistem PROSPECTOR geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda ise Yapay Zeka geliştirme ve uygulama şirketleri kurulmaya ve yaygınlaşmaya başlamıştır.

2.1.2 Yapay Zeka uygulama alanları

Yapay Zeka teknikleri günümüzde yaygın olarak uygulanma imkanı bulmaktadır. Uygulama alanları ve Yapay Zeka ile ilgili olan disiplinler Şekil 2.1’de verilmiştir. Yapay Zeka kapsamına giren disiplinler bazen çakışır. Bu yüzden yapay zekayı disiplinlere göre sınıflandırmak doğru değildir.



Şekil 2.1 Yapay Zeka uygulama alanları ve disiplinler ilişkisi (Yavuzer, 1996).

Yapay Zeka uygulama alanları ana başlıklar altında özetlenerek aşağıda verilmiştir (Kocabaş, 2002).

- a) Oyunlar: Dama, Satranç, Genel Problem Çözme
- b) Teorem İspatlama: Logic Theorist, Prolog, Paralel Prolog
- c) Bilgi Tabanlı Sistemler: Bilgi Gösterimi, Zeki Etmenler, Uzman Sistemler, Genel Bilgi Sistemleri, Bilgi Tabanlı Modelleme

d) Makine Öğrenmesi: Bilgi Düzeyi Öğrenme Metotları, Sembol Düzeyi Öğrenme Metotları (Genetik Algoritma), Aygıt Düzeyi Öğrenme Metotları (Yapay Sinir Ağları)

e) Makine Buluşları: Bilimsel Buluşların Modellendirilmesi, Bilimsel Araştırma Yardımcıları, Bilgi Madenciliği

f) Doğal Dil Anlama: Metin Anlama, Otomatik Çeviri, Metin Özetleme

g) Örüntü ve Görüntü Tanıma: Şekil ve Ses Tanıma, Optik Karakter Tanıma

h) Robotik: Robot Görmesi, Robot Öğrenmesi, Görev Planlama, Robot Timleri

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan ve araştırılan Yapay Zeka tekniklerini; uzman sistemler, genetik algoritma, bulanık mantık, yapay sinir ağları, doğal dil işleme ve anlama ve robotik olarak sayabiliriz.

Bu teknikler eskiden tek başlarına uygulanmalarına karşılık günümüzde artık birlikte kullanılmaktadırlar. Buna örnek olarak, bilgi yetersizliği durumunda bulanık mantık ile uzman sistem veya esnek bir öğrenme yapısı için yapay sinir ağları ile uzman sistemlerin birlikte tasarlanmasını verebiliriz.

2.2 Uzman Sistemler

Uzman sistemler, en kısa tanımı ile zeki davranış gösteren bilgisayar programları olarak tanımlanabilir. Bu sistemler, belirli bir konuda ve bu konu üzerinde bir uzmanın görüşlerine ihtiyaç duyulan problemlerin çözülmesi için kullanılırlar.

Uzman sistemlerin diğer Yapay Zeka programlarından en önemli farkı, Yapay Zeka programlarının amacını bir insanın çözebileceği problemi çözmesi oluştururken uzman sistemlerin ise bir uzman insanın çözebileceği problemleri çözmesidir.

Uzman sistemler, veri işlemekten bilgi işlemeye geçiş olarak da isimlendirilirler. Veri işleme programlarında veri belirli bir algoritmaya bağlı olarak işlenirken, bilgi işlemek için belirli bir algoritma kullanılmayabilir. Bunun yerine tecrübe ile elde edilen kurallar ve gerçekler ile bilgi işlenebilir.

Bilgi tabanlı sistemler ile uzman sistemler genellikle birbirleri ile karıştırılmaktadırlar. Temel yapılarının benzer olmasına karşılık bilgi tabanlı sistemler uzman sistemlerden daha küçük boyutlu ve kapasiteleri sınırlıdır.

Aynı şekilde uzman sistemler ile karıştırılan bir diğer teknikte karar destek sistemleridir. Uzman sistemler, bir problem hakkında kesin sonucu vermelerine karşılık karar destek sistemleri kesin kararı veremez, sadece kararın verilmesine yardımcı olacak bilgiyi üreterek tavsiye şeklinde öneride bulunurlar.

Geliştirilen ilk uzman sistemler, kimya, jeoloji, matematik ve tıp alanlarındaki problemleri çözmede büyük başarılar elde etmişlerdir. Böylece, ilk geliştirilen uzman sistemler daha büyük ve karmaşık problemler için yeni uzman sistemler geliştirilmesine yol açmışlardır.

Gelişen teknolojiye bağlı olarak düşük maliyetli kişisel bilgisayarların üretimi uzman sistem geliştirilmesini kolaylaştırmış ve yeni bir disiplin olan bilgi mühendisliğinin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Taşgetiren, 1997).

2.2.1 Uzman sistem uygulama alanları

Uzman sistemler, uzman insanların gerekli olduğu bütün alanlarda rahatlıkla uygulama imkanı bulabilirler. Uzman sistemler en fazla teşhis, yorumlama, tamir-bakım ve eğitim amaçlı olarak geliştirilmişlerdir.

Uzman sistemlerin yaygın olarak uygulandığı alanlar ise tıp, kimya, tarım, endüstri, eğitim, tasarım, planlama ve üretim olarak verilebilir. Uzman sistem geliştirilme amaçları ve uygulama alanlarına ait örnekler genel olarak Tablo 2.1’de özetlenerek verilmiştir. İlk uzman sistemler genellikle teşhis amaçlı olarak geliştirilmelerine karşılık günümüzde artık endüstrinin her alanına uygulanan uzman sistemler bulunmaktadır.

İlk uzman sistem, 1965 yılında kimyasal analizler için geliştirilen DENDRAL’dır. MYCIN tıp alanında kan hastalıklarının teşhisinde, MACSYMA ise kompleks matematiksel analizler için geliştirilmiş olan ilk uzman sistemlere örnek olarak verilebilir.

Madencilik alanında geliştirilen uzman sistemler ise Bölüm 3’te detaylı olarak sunulmuştur.

2.2.2 Uzman sistemlerin avantaj ve dezavantajları

Uzman sistem geliştirilmesi ve kullanılması önemli avantajlar sağlamasına karşılık dezavantajları da bulunmaktadır.

Tablo 2.1 Uzman sistem uygulama alanları (Allahverdi, 2002)

Amaç	Problem	Uygulama Alanı
Yorumlama	Sensör verilerinden gelen durumların tanımlanması	Ses tanıma, görüntü analizi
Tahmin	Verilmiş koşullara benzer sonuçların çıkarımı	Hava tahmini
Tehşis	Gözlem neticelerine bağlı olarak bozuklukların tespiti	Tıp, elektronik
Tasarım	Nesne tasarımı	Devre çizimi
Planlama	İşlemlerin tasarımı	Otomatik programlama, askeri planlama
Görüntüleme	Hassasiyet için gözlemlerin karşılaştırılması	Nükleer güç santrallerinin düzenlenmesi
Hata ayıklama	Hata sebeplerinin tespiti	Bilgisayar yazılımı
Tamir	Belirlenmiş yönetim planlarının yürütülmesi	Otomobil
Eğitim	Öğrenci davranışlarının tespiti ve düzeltilmesi	Danışma, tedavi
Kontrol	Sistem davranışlarının yorumu, tahmini ve izlenmesi	Hava trafik, savaş

Uzman sistemlerin avantajları :

Uzman sistemlerin avantajları aşağıda sıralanmış ve Tablo 2.2’de özetlenerek verilmiştir.

- 1- Tecrübe ve bilgisinden yararlanılacak uzman insanın bulunmadığı, işten ayrıldığı veya kendisine ulaşamadığı durumlarda oluşacak sıkıntıyı gidermek açısından uzman sistemler en iyi çözümdür.
- 2- Uzman kimselere ulaşmanın, onlara sık sık başvurmanın ve onlardan bilgi almanın maliyeti çok yüksektir. Uzman sistemler ise, bir kere para ödenip satın alındıktan veya geliştirildikten sonra sürekli olarak kullanılırlar, bundan dolayı uzman insandan daha ucuzdurlar.
- 3- Uzman sistemler, uzman insanlardan daha hızlı işlem yapabildikleri için kısa sürede daha fazla üretim yaparak verimlilik artışı sağlarlar.
- 4- Uzman sistemler tutarlı ve uygun nasihatler vererek ve hata oranını düşürerek kalitenin iyileştirilmesini temin ederler.
- 5- Uzman sistemlerde, insanlarda olan unutkanlık olmadığı için kalıcı bir bilgi kapasitesine sahiptirler.

- 6- Uzman insanlar tarafından verilen bazı kararlar, zaman darlığı, başka işlerle uğraşma zorluğu, acele etmek gibi faktörlerden dolayı yanlış veya eksik olarak verilebilirler. Halbuki uzman sistemlerde böyle bir durum bulunmamaktadır.
- 7- Bir çok uzman sistem hatalı işlemleri tespit etmek ve onarım için tavsiyelerde bulunmak üzere kullanılır. Böylece, arızalanma sürelerinde önemli bir azalmanın sağlanması mümkündür.
- 8- Uzman insanlar, hastalık yorgunluk, işe gelmeme, arandığında bulunamama, sürekli olarak seyahat etmek zorunluluğu gibi sebeplerden dolayı sürekli değildirlir. Bu yüzden, bu sebeplere bağlı güvenilirlikleri düşüktür. Uzman sistem ise sürekli olarak hep aynı kapasite ile çalıştığı için bu açıdan güvenilirliği yüzde yüzdür.
- 9- Diğer bilgisayar programları ile karşılaştırıldığında, uzman sistemler insanlar gibi tam olmayan bilgi ile çalışabilmektedir. Bir görüşme sırasında sistemin bir sorusuna kullanıcı “bilmiyorum” veya “emin değilim” şeklinde bir cevap verdiği zaman, uzman sistem kesin olmamakla birlikte bir cevap üretebilmektedir.
- 10- Uzman sistem, sistemde kendisine verilen bütün ilişkileri gözden geçirebilme kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte uzman insanlar bütün alternatifleri göz önüne alarak karar vermekte çok zorlanmaktadırlar veya karar verememektedirler.

Tablo 2.2 Avantajlarına göre uzman sistem ve uzman insan karşılaştırılması

Uzman İnsan	Uzman Sistem
Daimi değil	Sürekli
Transferi zordur	Transferi kolaydır
Bilgiler kalıcı değildir	Bilgiler kalıcıdır
Tahmin edilemez	İstikrarlı
Pahalı	Ucuz

Uzman sistemlerin yukarıda verilenlerin dışında sayılamayan bir çok avantajı bulunmaktadır. Son yıllarda hızlı bir artış gösteren uzman sistem geliştirme çalışmalarına bağlı olarak uzman sistemlerin sağladığı avantajlar sürekli olarak artış göstermektedir.

Uzman sistemlerin dezavantajları :

Uzman sistemlerin dezavantajları aşağıda verilmiş ve Tablo 2.3'te özetlenerek sunulmuştur.

- 1- Uzman insanların hepsi aynı bakış açısına sahip olamadıkları için konuya yaklaşımları farklı olmaktadır. Bu yüzden tek bir uzmandan alınan bilgiler ile oluşturulan uzman sistemler sadece o uzmanın görüşünü ifade etmektedir.
- 2- Uzman insanlar bilgi ve tecrübelerini kullanarak karşılaşılan problemlere daha yaratıcı olarak yeni çözümler bulabilmekte, buna karşılık uzman sistemlerde bu yaratıcılık günümüzde bulunmamaktadır.
- 3- Günümüzde, uzman sistemler yardım için bilgi mühendisine ihtiyaç gösterir. Bilgi mühendisi de uzman insanlar gibi az bulunur ve pahalı olduğu için sistemin maliyetini yükseltir.
- 4- Uzman sistemin geliştirilmesi aşamasında bazı konularda bilgi alınması için uzman insanlara ulaşılamamakta veya ulaşılsa bile bu kişiler meşguliyetlerinden dolayı bilgilerini paylaşmak için uygun ortam veya zaman bulamaktadırlar. Bu yüzden, uzman sistemlerin geliştirilmesi zor olmaktadır.
- 5- Aynı işi yapan bir uzman insan bulunduğu sürece aynı işi yapabilecek yeni bir uzman sistem için fazladan zaman ve para harcanması, bazı yönetici pozisyonundaki kişiler tarafından uygun bulunmayabilmektedir. Bu da uzman sistem geliştirme çalışmalarını engellemektedir.
- 6- Uzman sistemler ancak sınırlı alanlarda, bazı durumlarda ise çok sınırlı alanlarda iyi çalışabilirler.
- 7- Uzman insanlar sürekli olarak öğrenerek değişen problem ve şartlara daha hazırlıklı olmakta ve uyum göstermektedir. Uzman sistemlerde ise öğrenen uzman sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde bu konu üzerinde geniş kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır.
- 8- Uzman insanlar problemlere yaklaşırken veya çözerken kendilerine özel, kişisel yöntemler kullanmaktadırlar. Bunların uzman insan tarafından açıklanması ve uzman sisteme adapte edilmesinde zorluklar ortaya çıkmaktadır.

Tablo 2.3 Dezavantajlarına göre uzman sistem ve uzman insan karşılaştırılması

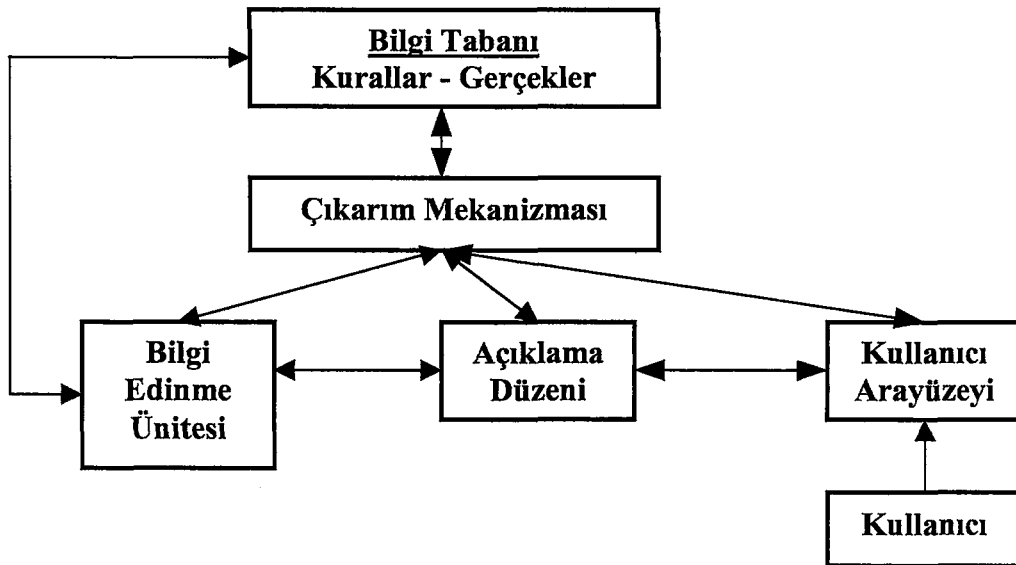
Uzman İnsan	Uzman Sistem
Yenilikçi	Yaratıcılıktan yoksun
Şartlara uyumlu	Açıklamaya ihtiyaç duyar
Sezgisel	Sembolik girdi
Geniş bakış açısı	Dar bakış açısı
Tecrübeye dayalı ve teknik bilgi	Teknik bilgi

2.2.3 Uzman sistemlerin yapısı

Klasik programlama teknikleri ile geliştirilen programlarda yaygın olarak algoritmik yaklaşımlar kullanılmıştır. İnsanlar karşılaştıkları problemleri çözerken, sezgisel olarak elde ettikleri bilgiler arasında kurdukları mantıksal bağları ve eski deneyimlerden elde edilen tecrübeleri kullanırlar. Bilgisayarların algoritmik çözümler yerine insanlar gibi sezgisel tecrübeleri kullanarak problem çözmeleri ise ancak uzman sistemler ile sağlanır.

Geliştirilen uzman sistemler birbirlerine göre farklılıklar gösterirler. Uzman sistem yapısı ve ana elemanları Şekil 2.2’de verilmiştir.

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 arabirimi ve bilgi tabanını otomatik olarak geliştirmeye yardım eden bilgi edinme ünitesidir (Waterman, 1986).



Şekil 2.2 Tipik bir uzman sistem yapısı

2.3 Uzman sistemlerde bilgi temsili

Bilgi tabanı, bir problemin teşhis edilmesi ya da çözümlenmesi amacına yönelik olarak oluşturulmaktadır. Bilgi tabanı, olgular ve kurallar olmak üzere iki elemandan oluşur. Bilgi tabanının modelinin kurulmasında oldukça önemli rol oynayan olgular, yaygın bir şekilde bilinmesine ve herkes tarafından kullanılmasına karşılık probleme ilişkin verileri, problemin tanımı gibi bilgileri içermemektedir. Problemin çözümünde bilgi kullanımının yönetimi ise kurallar tarafından gerçekleştirilmektedir. Kurallardan oluşan problem çözme stratejileri, olguların nasıl ve ne zaman kullanılacağını belirlemektedir (Rolston, 1988).

Günümüz Yapay Zeka araştırmaları sonucunda geliştirilen birçok bilgi temsil metodu vardır. Fakat bunlardan hiçbirisi bilgi temsilde en iyi yol olarak kabul görmüş değildir. Halen uzman sistem sahasındaki araştırmaların büyük bir kısmı, bilgisayarlarda bilgiyi en iyi temsil etme yollarını arama çalışmaları oluşturmaktadır. Geliştirilen birçok bilgi temsil metodu olup bunlardan en sık kullanılanları;

- Üretim kuralları
- Çerçeve tipi
- Karatahta
- Semantik şebeke
- Yüklemler mantığı

olarak sıralanabilir. Her bilgi temsil metodunun kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır.

2.3.1 Üretim kuralları

Üretim kuralları (production rules) günümüzde en yaygın ve en basit bilgi temsil yapısıdır. Kural yapıları (rule structures) veya üretim sistemleri (production systems) olarak da literatürde yer almaktadır. Uzmanlardan elde edilen bilgi genellikle sezgiseldir. Kural formatı, sezgisel bilginin temsili için uygundur. Bilgi temsili için üretim kurallarını kullanan uzman sistemler, kural tabanlı sistemler (rule based systems) olarak anılırlar.

Üretim kurallarının bir çok üstünlüğü vardır. Örneğin; üretim kuralları modüler bir yapıya sahiptir, yani her kural bilginin bağımsız bir kısmını ifade etmektedir. Üretim

kurallarının bir diğ er  ozelliği ise eklenebilir olmasıdır. Yeni kurallar, sisteme diğ er kuralla bağlı olarak veya onlardan bağımsız olarak eklenebilir. Ayrıca, eski üretim kuralları da diğ er kurallardan bağımsız olarak değiştirilebilir.

Üretim kuralları bilgiyi koşul-faaliyet çiftleri şeklinde temsil ederler. Bu ifadeler, “Eğer-O Halde” (IF-THEN) formatında yazılırlar. Kuralın “Eğer” ile başlayan sol tarafındaki ilk kısmı, kuralın uygulanabilmesi için doğru olması gereken koşulları tanımlar ve bir durum, bir nesne veya bir pozisyonla ilgili bir olguyu ifade eder. Kuralın “O Halde” ile başlayan ikinci kısmı ise koşullar mevcut olduğunda yapılacak faaliyetleri tanımlar. “O Halde” cümlecikleri, bir iddia, hipotez veya sonuç olabilir.

Üretim kuralları ile ilgili olarak aşağıda verilen beş önemli kabul vardır.

- 1- Kural bi imciliğinin kabul : Uzmanların kendi bilgilerini formüle edip kurallara dönüştürmesi gerekir. Bununla birlikte her bilgi sahası bu kabul  desteklemez.
- 2- Modus ponens’in kabul : Olgulardan yeni olgular çıkarılmasını sağlayan basit bir mantıksal kuraldır. Basit olarak bir örnekle açıklanırsa;
IF A doğru AND IF A THEN B doğru (ise) THEN B doğrudur.
- 3- Kurallardaki etmenler arasında sınırlı etkileşimin kabul .
- 4- Verilen bir nesnenin sınırlı niteliklere sahip olduğunun kabul : Bilgi tabanındaki kuralların önemli ölçüde arttığı uzman sistemlerde arama zamanının üssel olarak büyümesini engelleyecektir.
- 5- Farklı kullanıcılar arasında genel bir anlayış olduğunun kabul : Aynı temsil dilinin farklı kullanıcı sınıflarına hitap etmesini sağlar ve böyle bir genel anlayışın mümkün olduğunu kabul eder.

Kural tabanlı sistemlerin avantajları :

Kural tabanlı sistemlerin de avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Birimsellik, kural tabanlı sistemlerin en önemli avantajıdır. Yeni kurallar mevcut bilgi tabanına eklenebilir; ayrıca kurallar birbirlerinden bağımsız olabildiklerinden oldukça kolay biçimde değiştirilebilir veya bilgi tabanından çıkarılabilirler. Bu nedenle, kural tabanlı sistemlerin geliştirilme yetenekleri yüksektir.

Tekdüzelik ise bir diğer avantajıdır. Bilgi temsilinin tekdüze olması, kullanılan metodun başkaları tarafından kolayca anlaşılmasını sağlamaktadır.

Sistem, doğal bir bilgi temsil yolu kullanmaktadır. Üretim sistemleri, insanların problem çözümündeki düşünme mekanizmalarına benzer olarak organize edilmişlerdir.

Sistemin önemli bir diğer avantajı ise kendini açıklamadaki kolaylıktır. Sistem bir sonuca nasıl eriştiğini, başka bir deyişle akıl yürütmesini, çalıştırılan kuralların izini sürerek açıklayabilir.

Kural tabanlı sistemlerin dezavantajları :

Üretim koşulları sadece koşul ifadelerinden oluşturdukları karmaşık, geniş ve dinamik kavramları açıklamakta yetersiz kalabilirler.

Kuralların katılığı ise bir diğer dezavantajdır. Önceden belirlenmiş format, uzmanların bilgi ve tecrübesini anlatma özgürlüğünü kısıtlar. Tekdüzeliliğin neden olduğu bu katı yapı, problem çözümünde kontrol akışını izlemeyi de güçleştirir.

Kuralların sırası sistemin etkinliğini etkilemektedir. Kuralların çıkarım mekanizmalarının doğru sıra talebini karşılayacak şekilde uygun bir sırada düzenlenmesi gereklidir.

2.3.2 Çerçeve tipi bilgi temsili

Kurala dayalı sistemlerde, kural sayısı çok fazla olduğunda veya kurallar arası ilişkinin kontrolünün zor olduğu durumlarda alternatif olarak kullanılırlar. Çerçeve (frame) yapısı ilk olarak Minsky tarafından 1975 yılında geliştirilmiştir (Allahverdi, 2002).

Çerçeve özellikle tanımsal bilgiyi bilgi tabanına taşımak için kullanılır. Bir çerçeve yardımıyla herhangi bir nesne ayrıntılı olarak tasvir edilebilir. Çerçevelerin asıl kullanımı, kalıplaşmış bilginin temsil edilmesidir. Çerçeveler herhangi bir yer, olay veya fikrin iyi bilinen veya genelleştirilmiş niteliklerini bir araya getirmekte oldukça etkindirler. Bundan dolayı çerçeve yapısı bilgi temsili için güçlü bir mekanizmadır.

Çerçeveler, hiyerarşik bir yapıda düzenlenirler. Böylece bir çerçeve daha yüksek düzeydeki diğer çerçevelerle ilgili olan ilişkileri kalıtsal olarak alabilir. Diğer bir deyişle, bir çerçeve içindeki bir oluk (slot), bu oluk hakkında daha ayrıntılı bilgi

Çerçevelerin en önemli dezavantajı, çerçeve yapısının tasarımındaki güçlüktür. Bir diğer dezavantajı ise diğer bilgi temsil sistemlerinden daha karışık olmaları sonucu çıkarım mekanizmasının hızını azaltmasıdır.

2.3.3 Karatahta ile bilgi temsili

Karatahta (Blackboard) olarak isimlendirilen bir bellek alanında bilgi ve kurallar karşılıklı ilişki halindedir. Bu bellek alanı iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım bilgilerin bulunduğu disiplin kısmıdır. İkinci kısım ise kuralların bulunduğu planlama kısmıdır.

Karatahta yapısı, sürekli olarak önermelerin ve hipotezlerin oluşturulan bellek alanı yani karatahta içinde yapılmasını sağlar. Karatahtada hipotezler oluşturulmakta ve test edilmektedir. Hipotezlerin oluşturulması ise bilgi kaynaklarının belirlenmesi, aktif hale getirilmesi ve karatahtada sırası ile gereken değişikliklerin yapılması demektir. Hipotez yapısında kayıt edilmiş olan nesneler düğüm olarak adlandırılırlar. Karatahtanın planlama ve disiplin kısımlarında bu düğümler yer alırlar ve birbirleri ile birleştirilerek bir yapı oluştururlar. Başka bir deyişle, çıkarılan bütün ara sonuç ve çıkarımlar karatahta ortamında bulunurlar (Allahverdi, 2002).

Karatahtanın içeriği ile bilgi kaynakları karşılaştırılır ve düğümler oluşturulurlar. Bu düğümler planlama prosedürleri ile çalıştırılırlar ve aktifleştikçe planlama kısmında sunulurlar. Karatahta bilgi parçalarına (düzeylere) bölünebilir. Böylece her sonuç bir düzeye yerleştirilir. Bu şekilde bağımsız bilgi tabanları birbirleri ile eş zamanlı olarak karatahtanın disiplin ve planlama kısımları ile ilişki kurabilirler. Karatahta çözüm düzeyi ve bilgi tabanı ilişkisi Şekil 2.4'te verilmiştir.

Karatahta için en iyi örnek, konuşma ve anlama için geliştirilmiş olan HEARSAY-II uzman sistemidir.

2.3.4 Semantik şebeke ile bilgi temsili

Özellikle hiyerarşik bir yapıya sahip tanımsal bilgi temsiliinde kullanılır. Ayrıca bilginin sınıflandırılabilirdiği veya kategorilere ayrılabilirdiği durumlarda semantik şebeke kullanımı verimli olmaktadır.

Semantik şebeke ile bilgi temsiliinin temel bileşenleri; düğümler ve bu düğümleri birbirine bağlayan bağlardır. Düğümler; kavramlar, nesneler, faaliyetler ve olaylar

eklenebilir. Diğer özelliği ise, düğümlerden ilişkileri kalıtsal olarak alabilme özelliği, başka bir deyişle, bir düğüm ve bu düğümle ilgili hiçbir bağlantısı olmayan diğer düğümlerle ilgili iddialarda bulunma özelliğidir.

Semantik şebekelerin en önemli dezavantajı ise, düğümleri ve ilişkileri tanımlamak için standart bir kuralın olmamasıdır.

2.3.5 Yüklemler mantığı ile bilgi temsili

Yüklemler mantığı (predicate logic), yapay zekada kullanılan ilk bilgi temsil metotlarından birisidir. Mantık esaslı sistemlerin geliştirilmesi nispeten kolay olduğundan, yüklemler mantığı uzman sistemlerin geliştirilmesinde de kullanılmıştır. Yüklemler mantığı gerçekte önermeler mantığının bir uzantısıdır.

Yüklemler mantığının sembolleri atomlar olarak isimlendirilirler. Sabitler, fonksiyonlar ve yüklemler olmak üzere üç tip atom vardır. Sabitler ile ekskavatör, paletli, lastikli, kamyon gibi değişmez nesneler gösterilir. Fonksiyonlar ise yükseklik, uzunluk gibi nesneye etki eden değerleri ifade ederler. Yüklemler ise nesneler arasında bulunan ilişkileri belirtir. Bu ilişkiye örnek olarak “arızalı_olmak” verilebilir.

Nesnelerin özellikleri ve aralarındaki ilişkileri “doğru” ve “yanlış” olmak üzere iki değer ile ifade edilebilir. Nesnelerin sahip olduğu özellikleri doğrulayan veya doğrulamayan ifadeler de kullanılır. Bunlar arasında “ve, veya, değil” olarak bilinen boolean operatörleri ile de işlem yapılması en önemli avantajıdır.

Yüklemler mantığının en önemli dezavantajı ise, bilgi, tabanındaki olguların sayısı arttıkça çıkarımlar yapmak üzere bu olguların birleştirilmesinde kullanılan yol sayısının üssel olarak artmasıdır. Ayrıca, prosedürel ve sezgisel bilginin temsiline uygun değildir. Olasılık unsurlarını içermemesi ve bir bilgi tabanının tasarımıyla ilişkin hiçbir prensibi olmayışı yüklemler mantığının diğer önemli dezavantajlarıdır.

2.4 Çıkarım Mekanizması

Bilgi tabanı tek başına bir programın uzman sistem olması için yeterli değildir. Programın bilgi tabanı dışında, bilgi tabanındaki bilginin nasıl ve ne zaman kullanılacağını kontrol eden bir bileşeni bulunmalıdır. Bu bileşenine çıkarım mekanizması adı verilir.

Uzman sistemlerde iki türlü bilgi depolanır. Bunlardan birisi, uzmanın sezgisel ve olgusal bilgilerinin oluşturduğu ve sistemin bilgi tabanında depolanan bilgidir. Diğeri ise, sistemde depolanmış olan bilgiye uygulanacak olan problem çözme stratejilerinin temsil edildiği yani problemin nasıl çözüleceğine dair bilgilerin bulunduğu bilgilerdir. Bu bilgiler görülmezler ve sistemin çıkarım mekanizmasında yer alırlar. Yüksek düzeyli uzman sistem geliştirme araçları, içerisinde çıkarım mekanizması bulunan fakat bilgi tabanı boş olan uzman sistemlerdir.

Çıkarım mekanizması; mantıksal olarak sonuçlar çıkarmak, çıkarımlar yapmak veya bir problemin niçin gerçekleştiğini kanıtlamak için problem çözme teknikleri yardımıyla bilgi tabanı boyunca arama, çözme ve akıl yürütme işlemlerini gerçekleştirir. Bu işlemler sonucu elde edilen sonuçlar, daha sonra kullanılmak üzere bilgi tabanına da eklenebilir.

Çıkarım mekanizmasının ana elemanları, arama teknikleri ve kontrol stratejileridir. Arama teknikleri, uzman sistemlerin en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Aranılan hedef düğümün nasıl aranacağını belirlemek yani arama taktiğinin türü çıkarım mekanizmasının hızını etkileyecektir. Bu nedenle, ne arandığının bilinmesinin yanında bu aramanın nasıl yapılacağı da önemli olmaktadır. Çeşitli arama teknikleri bulunmaktadır. Bu teknikler, Bölüm 2.4.1’de detaylı olarak verilmiştir.

Kontrol bileşeni ise kuralların uygulanmasının sırasını belirler ve mevcut olan gerçeklerle kuralları karşılaştırır. Eş zamanlı uygulanan kurallar bulunduğu zaman, verilenlere bağlı olarak bu kurallar arasından en uygun olanını seçerek uygulamaya koyar. Bu arada, uygulanan kuralın sağ tarafında bir eylem bulunmakta ise o eylem uygulamaya konulur.

2.4.1 Arama teknikleri

Uzman sistemlerde kullanılan temel problem çözme tekniği, aramadır. Arama, en iyi çözümü bulmak için problemin geniş bir mümkün çözümler kümesinin test edilmesi işlemidir. Arama tekniklerinin en önemli amacı ise sınanacak olan mümkün yolların sayısını azaltmaktır.

Arama tekniklerinin en iyi bilinen örnekleri aşağıda verilmiştir.

- Ayrıntılı arama
- En iyi-ilk arama

- Önce derinlemesine
- Önce enlemesine

En yaygın olanlar ise, önce derinlemesine ve önce enlemesine arama teknikleridir.

2.4.1.1 Ayrıntılı arama tekniği

Her mümkün yolun bir karar ağacı yardımıyla analiz edildiği bir arama tekniğidir. Bu yüzden, tekniğin uygulanması çok zaman gerektirir. Bazı problemlerde, yolların uzunluğundan dolayı uygun olmamasına karşılık zamanın önemli olmadığı ve kesinliğin gerekli olduğu uygulamalar için uygundur.

2.4.1.2 En iyi ilk arama tekniği

Bir çözüme götürmesi en muhtemel sonraki durumu belirlemek üzere bir sezgisel değerlendirme fonksiyonu kullanılır. Bu matematiksel fonksiyon, arama ağacındaki her mümkün düğüm (çözüme uzaklığı) hakkında değerler hesaplar.

Böylece en iyi-ilk arama tekniği, mevcut düğümün hedef düğümünden ne kadar uzakta olduğu hakkında iyi bir tahmin yapar ve hedef düğüme giden en kısa yolu seçer.

2.4.1.3 Önce derinlemesine arama tekniği

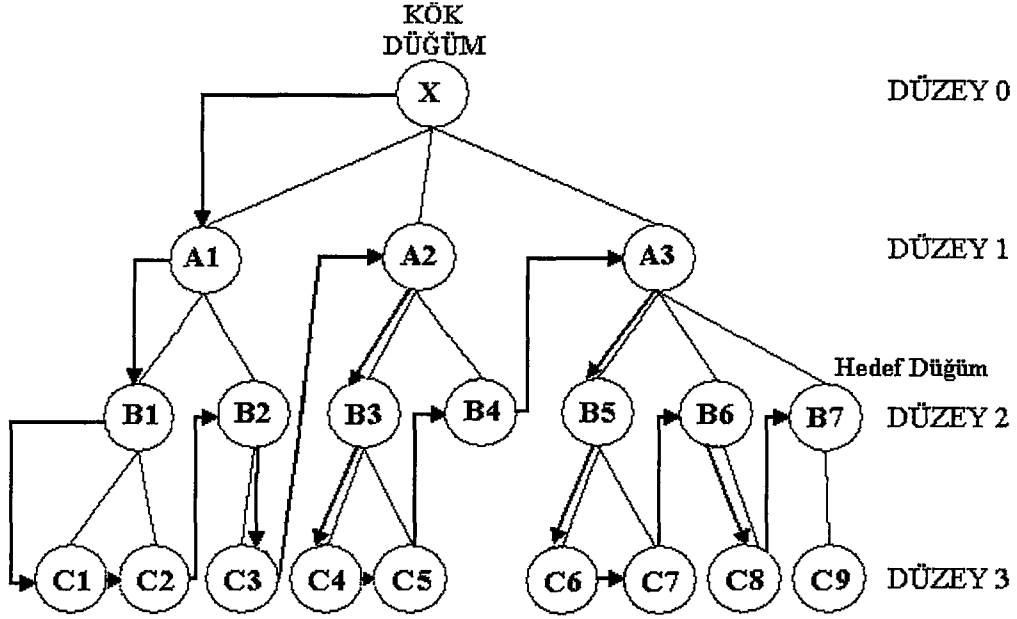
Önce derinlemesine (depth first search) arama tekniğinde, arama işlemi tepeden tabana doğru ilerler. Uygulanan teknik, çok uzun dalların olmadığı ve kısa yolların bulunduğu durumlarda oldukça güçlü bir tekniktir. Önce derinlemesine arama tekniği Şekil 2.5'te şematik olarak verilmiştir.

Aramada, her düğümün sadece en soldaki düğümü sınanır. Eğer düğüm istenilen düğüm değilse, işlem bir alt düzeye iner ve bu düğümün en soldaki düğümünü seçer. Bu işlemler sırasında hareket daima aşağıya doğrudur. Arama işlemi arzulanan düğümü bulamadan en alt düzeye inerse, işlem bir tercih içeren en son düğüme döner ve tekrar aşağıya doğru aramaya başlar. İşlem, hedef düğüm bulunana kadar devam eder.

Önce derinlemesine arama tekniği sadece mevcut yoldaki düğüm noktalarını hafızasında sakladığı için daha az belleğe gereksinim duymaktadır.

Bu yaklaşım, rastlantı sonucu veya derinlemesine sıralama olduğu için bütün arama alanını incelemeyen bir çözüme ulaşabilir. Eğer birden fazla çözüm varsa,

çözümlerden birisi bulunduğu zaman arama duracaktır. Bu durumda da aramanın etkinliği artacaktır.



Şekil 2.5 Önce derinlemesine arama tekniği şematik görünüşü

2.4.1.4 Önce enlemesine arama tekniği

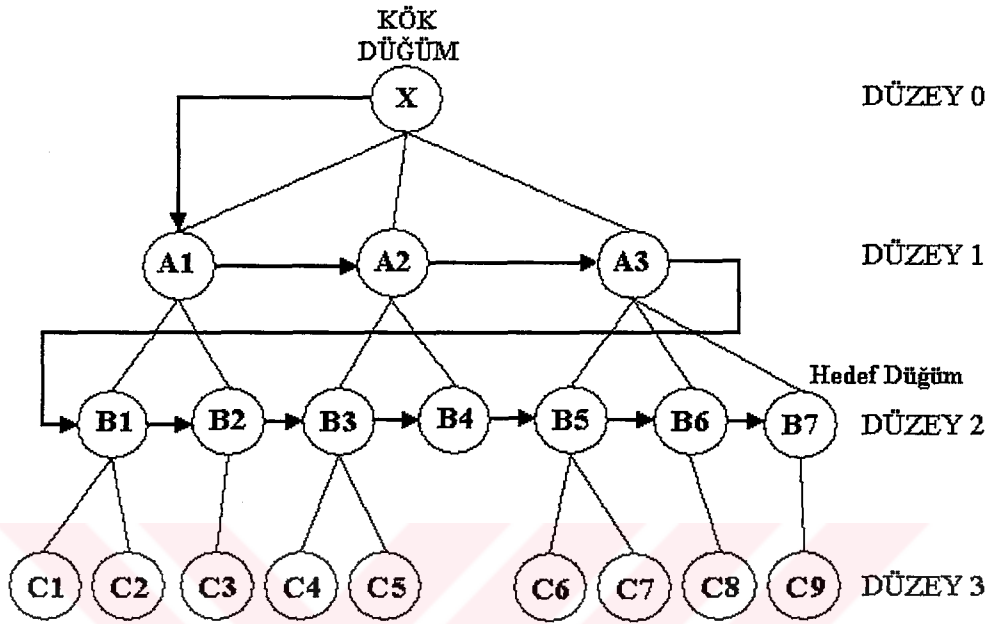
Önce enlemesine (breath first search) arama tekniğinde hareket düzey düzey olarak gerçekleştirilir. İşlem, aynı düzeydeki düğümleri birer birer sınar ve herhangi bir hedef düğüm bulamazsa bir alt düzeye iner, daha sonra tekrar düzey boyunca sınama işlemine devam eder. Önce enlemesine arama tekniği Şekil 2.6'da şematik olarak verilmiştir.

Bir düğümden çıkan yolların sayısı çok fazla değilse, bu teknik oldukça etkilidir. Bununla birlikte bütün düğümlerin genel olarak aynı derinlikteki düğüme gittiği durumlarda tekniği kullanmak doğru olmamaktadır.

Önce enlemesine arama tekniği, bir diğer düzeye geçmeden önce mevcut düzeydeki bütün düğüm noktalarının incelenmesi nedeniyle, her zaman en kısa yol ile amaca ulaşılmasını sağlayacaktır.

Ancak bu teknik, fazla bellek gerektiren ve uzun yolların bulunduğu problemler için etkinliği oldukça zayıf olan bir tekniktir.

Bu teknik, eğer bir çözüm var ise onu bulmayı garanti edecektir. Ayrıca birden fazla çözümün bulunduğu durumlarda en az sayıda aramayı gerektiren minimum çözümü belirleyecektir. Bu durum, bütün kısa yollar inceleninceye kadar daha uzun yolların incelenmemesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.6 Önce enlemesine arama tekniği şematik görünüşü

2.4.2 Çıkarım teknikleri

Çıkarım mekanizmaları, bilgi tabanının yapısına bağlı olarak basit veya karmaşık olabilir. Uzman sistemde bir çözüme ulaşmak için kullanılan problem çözme tekniği, benimsenen bilgi temsil modeline ve uygulamanın türüne bağlıdır.

Uzman sistem için seçilen çıkarım tekniği aynı zamanda çıkarım mekanizması ile aynı isimle tanımlanır. Kullanılan yöntemler;

- İleri zincirleme
- Geri zincirleme
- Tümevarım
- Hipotetik akıl yürütme
- Nesneye yönelik akıl yürütme
- Dinamik kural değişimi

olarak sayılabilir. Kural tabanlı sistemler için, ileri ve geri zincirleme en uygun çıkarım teknikleridir.

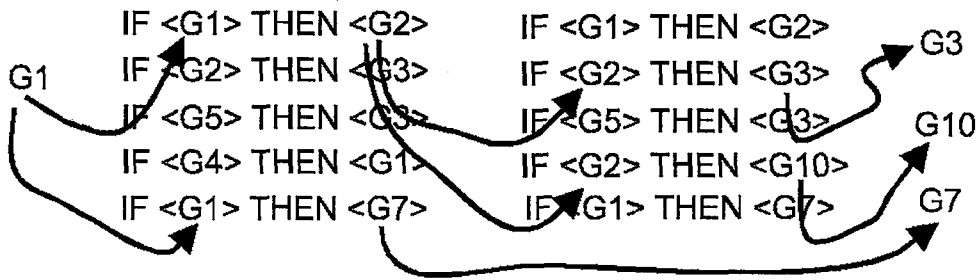
2.4.2.1 İleri zincirleme çıkarım tekniği

İleri zincirleme (forward chaining) çıkarım tekniği, verilen başlangıç koşulları ile başlar ve bir çözüme doğru ileri doğru arama işlemini gerçekleştirir. Çıkarım işlemini yürütmek için elde bazı veriler olmadıkça bu teknik çalışmayacaktır. Bu teknik, ileri zincirleme stratejisi veya veri yürütmeli çıkarım (data-driven) olarak da bilinir.

Bir kural tabanlı sistemde, bir olgudan hareket ederek bütün öncülleri bu olguyla eşlenen (öncüllerinin doğruluğu olgu tarafından kanıtlanan) bir kural buluncaya kadar kural listesi boyunca ilerler. Daha sonra, kullanılan kural, yeni bir olguyu iddia etmek için kullanılır. Kural, aynı arama işleminde bir daha kullanılmayacak fakat bu kuralın çalıştırılması sonucu ulaşılan olgu çalışma belleğinde tutulacaktır. Eşlenen bir kuralı bulma, kuralı çalıştırma ve sonucu çalışma belleğine ekleme işlemi, eşlenen daha fazla kural kalmayıncaya kadar devam eder.

İleri zincirleme çıkarım tekniği, G1 ve G10 arasındaki kural halindeki gerçekler için Şekil 2.7’de verilmiştir. G1 ve G10 arasındaki notasyonlar gerçekleri veya kuralları ifade etmektedir.

İleri zincirleme, problemin anlatıldığı başlangıç evresinde, problem alanı ile ilgili verilerin hepsinin yada bir bölümünün bilindiği durumlar için uygundur. Bu durumda çıkarım mekanizması eldeki veriler ile yüksek düzeyli yorumlar yapabilir ve buna göre teknik belirli verileri analiz eden sistemlere uygulanabilir.

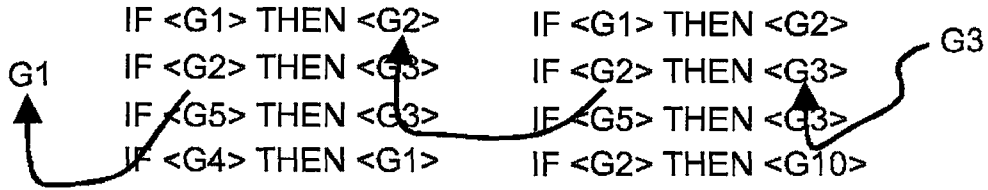


Şekil 2.7 İleri zincirleme çıkarım mekanizması (G1...G10 : gerçekler)

Karar verilecek hipotez sayısı fazla ise ve hangisinden başlanılacağı bilinmiyor ise bu durumlarda ileri zincirleme kullanmak daha uygundur.

2.4.2.2 Geri zincirleme çıkarım tekniği

Geri zincirleme (backward chaining) çıkarım tekniği, son çözümle başlayıp başlangıç koşullarına doğru yani geriye ilerleyen hedef yönlendirmeli arama işlemidir. Geri zincirlemede sonuç bellidir ve bu sonucu oluşturan nedenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Geriye doğru çıkarım tekniği Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8 Geriye zincirleme çıkarım mekanizması (G1...G10 : gerçekler)

Hedefler birden fazla olduğu ve veri sayısı çok olduğu zaman geriye zincirleme daha çabuk sonuç vermektedir.

2.5 Uzman Sistem Geliştirme Araçları

Uzman sistemler, uzman sistem geliştirme dili, araçlar ve kabuklar olmak üzere üç farklı şekilde geliştirilebilirler.

2.5.1 Uzman sistem dilleri

Uzman sistem geliştirmek için en uygun dil PROLOG olup diğer Yapay Zeka geliştirme programlarında etkin olarak kullanılması için uygun değildir. Uzman sistem geliştirme dilleri yapısal olarak Yapay Zeka dillerinden farklıdır. Aynı şekilde uzman sistem dili olarak bilinen LISP’de aslında Yapay Zeka geliştirmek için geliştirilen bir dildir.

Bunların dışında yapay zekada kullanılan KRL, SAIL, IPL-II vb. dillerde uzman sistemlerde sadece araştırma amaçlı olarak kullanılmışlardır. Ticari piyasada bu diller ile geliştirilen uzman sistem bulunmamaktadır.

McCarthy tarafından geliştirilen LISP, 1960’lı yıllarda yazılım piyasalarında kullanılmaya başlanmıştır. Yapay Zeka araştırmacıları ve uzman sistem geliştiricileri tarafından kullanılan ve liste işlem yeteneğine sahip bir programlama dilidir. Liste işlem yeteneği, programların ve verilerin liste şeklinde temsil edilmesidir.

LISP kolay ve esnek olarak sembol işleme yeteneğine sahip olup, hafıza ayarlarını kendiliğinden yapma özelliği bulunmakta ve ayrıca gelişmiş yazım ve hata düzeltme desteği sağlamaktadır. Program kodu ve veri aynı tarzda ele alınarak değiştirilebilmektedir

Piyasada birçok LISP sürümü sunucu ve kişisel bilgisayarlar için bulunmaktadır. Bunlar;

- a) Xerox PARC tarafından geliştirilen INTERLISP, INTERLISP-D ve VAX LISP,
- b) Unix makineleri için Franz LISP,
- c) 3600 Sematic makineleri için ZETALISP,
- d) PC'ler için GC-LISP sürümleridir.

PROLOG ise Fransa'da geliştirilen mantıksal programlama dilidir. Matematik esas alınarak geliştirilmiştir. Bilgiler ve problemler, bilgisayara mantık kullanılarak aktarılır. Problemleri çözmek için mantığa dayanması, geleneksel programlama dillerinden ayrılan en önemli özelliğidir. Turbo-Prolog, Arity-Prolog ve Quintus-Prolog, Visual-Prolog gibi farklı firmalar tarafından değişik isimler altında piyasaya sürülen PROLOG sürümleri bulunmaktadır. Uzman sistem geliştirme dili için en uygun dildir.

FORTRAN, Pascal, BASIC, Qbasic gibi programlama dilleri ile IF-THEN yapıları ve uygun veritabanları yaratılarak sembolik programlama yapmak mümkündür. Bununla birlikte, Prolog gibi bir dille birlikte hazır olarak gelen program yapısının ve bilgi işleme araçlarının tekrar kullanıcı tarafından geliştirilmesi gerekmektedir.

2.5.2 Uzman sistem araçları

Uygulama programlarının geliştirilmesi, bakımının sağlanması ve diğer yardım hizmetleri için geliştirilen programların hepsine araçlar (tools) adı verilmektedir. Bu programlar, grafik ve metin editörleri, hata ayıklayıcıları, kod üreticileri gibi opsiyonları bünyelerinde kapsayabilirler.

Çapraz birleştirici adı verilen programlar ise üretilen kodu farklı donanımlara uygulayabilirler. Bu araçlarla geliştirilen uzman sistem çapraz birleştirici ile VAX için geliştirilen bir sistem Motorola 68000 için de kullanılabilir.

2.5.2.1 Sınırlı geliştirme araçları

Uzman sistem araçları, sınırlı geliştirme araçları, melez geliştirme araçları ve tümevarım tabanlı geliştirme araçları olmak üzere üçe ayrılırlar.

Sınırlı geliştirme araçları, sadece bir tek bilgi temsil metoduna sahip olup çıkarım mekanizmaları ve kullanıcı arabirimi bulunan sınırlı araçlardır. Bu araçlara literatürde sınırlı geliştirme araçları adı da verilmektedir. Bu araçlar, bilgi temsil şekline göre üçe ayrılırlar. Bunlar; kural, çerçeve ve mantık tabanlı geliştirme araçlarıdır. Böylece, sadece etkin bir arabirim ile kullanıcıların spesifik bir uzman sistem geliştirmesine yardımcı olurlar.

Sınırlı geliştirme araçlarından çerçeve tabanlı olanlara örnek olarak KNOWLEDGE CRAFT ve SRL verilebilir.

APES, DUCK ve FIT ise bilgi temsilinde yüklem mantığı kullanılarak geliştirilmiş olan araçlardır.

Kural tabanlı geliştirme araçlarına ise EXPERT EDGE, XSYS, EXSYS, PERSONAL CONSULTANT örnek olarak verilebilir.

2.5.2.2 Tümevarımlı geliştirme araçları

Tümevarımlı geliştirme araçları (inductive tools), verilen örneklerden kurallar üreten araçlardır. Bu araçlar örnek yürütmeli (example driven) sistemler olarak da adlandırılırlar. Sistem geliştiriciye kuralların oluşturulması için uygun bir dil sağlayarak bir nevi metin editörü görevi görmektedirler.

Bu araçlar, uzman sistem geliştiricisine daha fazla esneklik ve kuralların yapısı üzerinde diğer araçlardan daha fazla kontrol imkanı sunar. Buna karşılık genellikle küçük çaptaki problemler için uzman sistemler geliştirilmesine uygundur. EXPERT-EAS, 1st CLASS, KDS, RULEMASTER ve TIMM tümevarım geliştirme araçlarına örnek olarak verilebilir.

2.5.2.3 Melez geliştirme araçları

Melez programlar, en az iki bilgi temsil metodunu içeren uzman sistem geliştirme araçlarıdır. Bazı yüksek düzeyli melez geliştirme araçları 4 bilgi temsil metodunu da kapsayabilirler. Melez programlar, çok güçlü bir ara kullanıcı arabirimi vermek üzere

grafik editör, menüler, çoklu pencereler gibi kolaylıkları kullanıcıya sunarlar. Melez geliştirme programlarına örnek olarak KEE, LOOPS, SRL, S1 ve ART verilebilir.

2.5.3 Kabuklar

Kabuklar (shells) içerisinde bilgi tabanı olmayan geliştirilmiş uzman sistemlerdir. Bu programlar, kullanıcı arabirimi, bilgi saklama ve çıkarım mekanizması ünitesi olan içi boş uzman sistemler olarak da tanımlanırlar.

Örneğin, EMYCIN bilinen en eski uzman sistem kabuğudur. Sistem teşhis amaçlı olarak tasarlanmış olan MYCIN uzman sisteminin bilgi tabanı çıkarılmış ve geri zincirleme çıkarım mekanizmasına sahip olan halidir.

Çeşitli firmalar tarafından yapılmış ticari kabuklar bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak, Guru, Nexpert Object, Refe++, KEE, Prokappa, KappaPC, Level5 Object, Ops5, VP-Expert, Mike ve GBB kabukları verilebilir.



3 MADENCİLİKTE UZMAN SİSTEM UYGULAMALARI

Uzman sistemler, endüstrinin bütün alanlarında yaygın olarak kullanılmalarına karşılık, diğer sektörlerde olduğu gibi madencilik sektöründe çok fazla örnekleri bulunmamaktadır. Uzman sistemlerin madencilik sektöründe kullanımı az olmakla birlikte, madenciliğin havalandırma, sondaj, metan, patlayıcı maddeler gibi alanlarında uygulama imkanı bulmuştur (Atkinson ve diğ., 1987; Denby ve Atkinson, 1988, Singhal, 1992).

Maden projelerinin planlanması sırasında ortaya çıkan problem ve karşılaşılan belirsizliklere, maden mühendislerinin veya konu ile ilgili uzmanların tek tek çözüm bulması gerekmektedir. Bu şekilde, işletmenin güvenli bir şekilde çalışması ve kara geçmesi için gerekli kararları alırken uzman insan gibi karar veren yapay zeka tekniklerinin kullanılması karar verici pozisyonda bulunan yöneticiler için büyük kolaylıklar getirmektedir (Cebesoy, 1995, Rossouw, 1995). Uzman sistemlerin, madenciliğin her alanında kullanılmasının gerekli olduğu bütün araştırmacılar tarafından vurgulanmaktadır.

Madenciliğin değişik alanlarında geliştirilen uzman sistemler, uygulama alanlarına göre sınıflandırılarak aşağıda sunulmuş ve bu alanlarda geliştirilen uzman sistemlerden bazı örnekler açıklanarak verilmiştir.

- 1- Jeolojik değerlendirme
- 2- İş makineleri arıza tespiti
- 3- Kömürün kendiliğinden yanması
- 4- Maden tasarım ve planlaması
- 5- Çalışma emniyetini arttırmak
- 6- Tesis yönetimi ve organizasyonu
- 7- Makine ve teçhizat seçimi

3.1 Jeolojik Değerlendirme

Madenciliğin 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 (ESDS) ve Şevdur jeolojik değerlendirme için geliştirilmiş uzman sistemlere örnek olarak verilebilirler.

3.1.1 PROSPECTOR

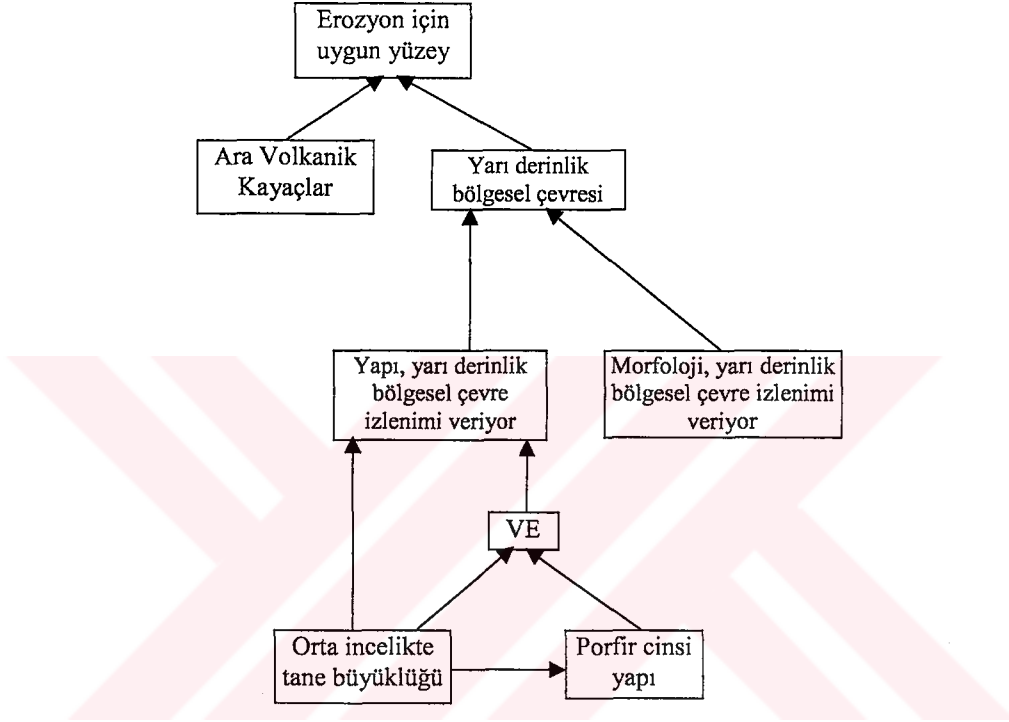
PROSPECTOR, Stanford Research Center, US Geological Survey ve Natural Science Foundation tarafından 70'li yılların sonlarında maden yataklarının bulunması için geliştirilmiş olan ilk uzman sistem olup değişik maden yatakları için kural tabanlı modeller içermektedir.

Modellerin her biri kendi alanında uzman olan jeologlardan elde edilen bilgiler, saha gözlemleri ve konu ile ilgili jeolojik hipotezlerin bir arada yorumlanarak oluşturulan kurallar yapısı ile geliştirilmiştir. Bilgi tabanı 26 değişik tip mineral yatağı ile ilgili bilgileri içermektedir. PROSPECTOR, kullanıcıdan, ana kayanın cinsi, ayrışma, sahada gözlenen mineral ve kayalar gibi bilgileri istemektedir. Daha sonra, bu bilgilere ait daha spesifik soruları kullanıcıya yöneltmektedir (Maslyn, 1986).

PROSPECTOR, INTERLISP dili kullanılarak geliştirilen bir sistem olup ileriye yönelik kontrol stratejisine göre çalışmaktadır. Uzman Sistem; Mt.Tolman, Washington State'de çalışan bir işletmenin önceden araştırma çalışmaları yapılmamış olan bir bölümünde test edilmiştir. PROSPECTOR, kendisine verilen jeokimyasal anomali ve hidrotermal ayrışma bilgilerine göre bir sonuç çıkarmıştır. Daha sonra, sahada yapılan detaylı sondaj incelemelerinden PROSPECTOR'un ekonomik bir porfirik molibden yatağını başarı ile tespit ettiği görülmüştür. (Denby ve Atkinson, 1988; Miller, 1988).

3.1.2 muPROSPECTOR

McCammon (1984) tarafından geliştirilen sistem, PROSPECTOR'den sonra kişisel bilgisayarlar için geliştirilen bir uzman sistemdir. Sistem muLISP programlama dilinde yazılmış olup maden yataklarının bulunması için geliştirilmiştir. Bilgi bankası, maden yatağı tiplerinin modellerinden oluşmaktadır. Bilgi bankasında bulunan modeller arasından seçim yapılabilmekte veya yeni modeller oluşturulabilmektedir (Miller, 1988).



Şekil 3.1 PROSPECTOR çıkarım örneği

3.1.3 Slope Safety Analyser

Şev stabilitesi analizi için Sinha ve Sengupta (1989) tarafından geliştirilmiş olan bir uzman sistemdir. Sistem, Vax11/780 üzerinde C-Prolog kullanılarak geliştirilmiştir.

Sistem üç modülden oluşmaktadır. Bunlar,

- Varolan heyelanın ve kayaç özelliklerinin belirlenmesi
- Kayma tipinin belirlenmesi
- Potansiyel kayma tipi için olası iyileştirme modülleri'dir.

Birinci modülde, varolan heyelanın özellikleri ve bu heyelanı oluşturan malzemelerin özellikleri ve heyelanın hareket halinde olan kısımları belirlenmektedir. İkinci

modülde ise dairesel, kama, vb tipteki olası kayma tipi ile varolan kayma arasında uyum olup olmadığı belirlenmektedir. Eğer kayma varsa üçüncü modül devreye girerek iyileştirme önerileri sunmaktadır.

3.1.4 ESDS

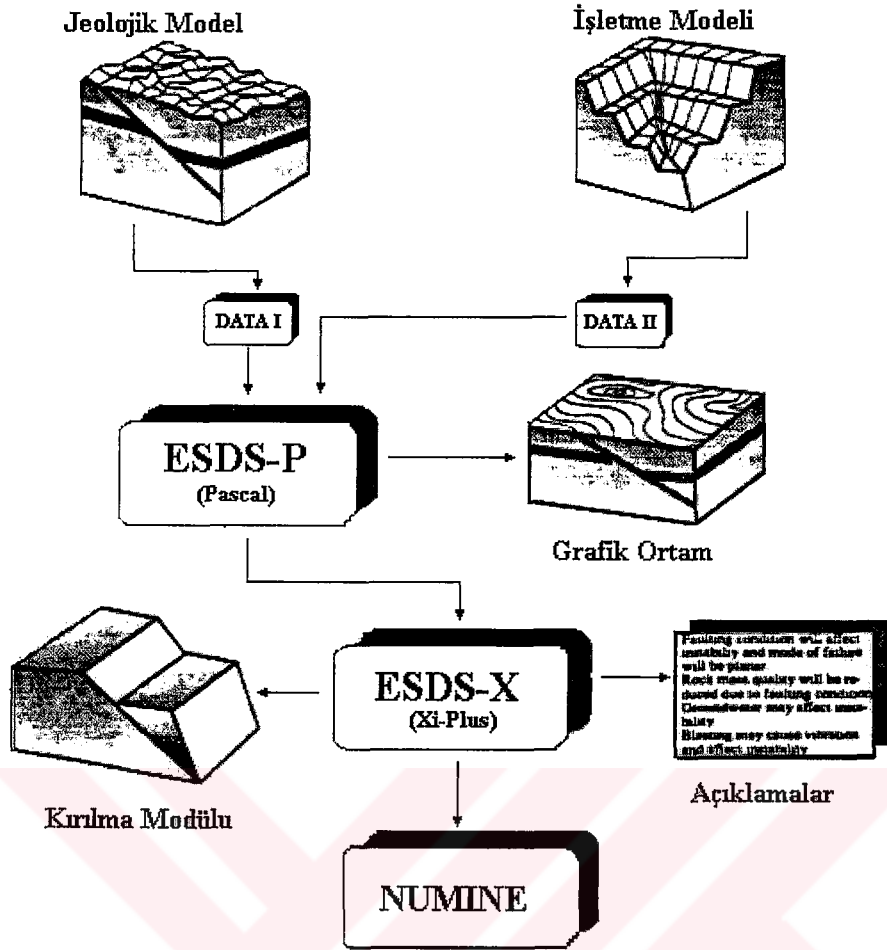
Nottingham üniversitesinde 1988 yılında geliştirilen ilk şev tasarımı uzman sistemidir (Expert Slope Design System). Açık kömür işletmelerinde yüksek riske sahip şevlerin işletme aşamasında veya sonrasında belirlenmesi için geliştirilmiştir. Sistem, 1976 yılından beri meydana gelen şev kaymalarına ait istatistikler, şevlerle ilgili teknik araştırmalar ve uzman jeologların görüşleri doğrultusunda geliştirilmiştir.

Sistem, ilk olarak sahadaki tek bir şevin riskinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Sisteme saha, jeoloji ve harita bilgileri daha önceden girildiğinde sistem otomatik olarak bütün saha ile ilgili analiz yapabilmektedir.

Uzman sistem, Nottingham Üniversitesinde bulunan NUMINE CAD sistemine adapte edilmiştir. Ayrıca ESDS tarafından 3-boyutlu jeolojik model ve olası üretim metotlarından duraylı olmayan şevlerin otomatik olarak belirlenmesi sağlanmaktadır. Şekil 3.2' de uzman sistem ve ilişkili olduğu arabirimleri verilmiştir.

ESDS, ilk olarak Turbo Prolog dilinde 1987 yılında geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem yaklaşık olarak 150 kuraldan oluşmaktadır. 1988 yılında ise, Sistem ESDS-X adı altında ve Xi-Plus uzman sistem kabuğu kullanılarak geliştirilmiştir (Brown ve diğ. 1988; Denby, 1992).

Uzman sistem, interaktif ve otomatik olmak üzere iki türlü çalışma opsiyonuna sahiptir. İnteraktif kısımda; sistem sahanın jeolojik özellikleri, tasarlanan şev ve üretim metodu ile ilgili bilgiler kullanıcıya sorarak işlemlerini yürütmektedir. Otomatik kısımda ise sisteme istediği bilgiler, AUTO-CAD dosyası olarak verilmektedir. Bu aşamada sistem çok fazla miktarda noktayı analiz etmek ve her noktaya kesinlik faktörü atamak zorunda olduğu için jeolojik ve tasarım modelleri üretilirken Pascal kullanılarak geliştirilmiş programlar kullanılmaktadır (Denby ve Kızıl, 1991).



Şekil 3.2 ESDS ve ilişkili arabirimleri

3.1.5 Şevdur

Sistem, denge sınırı yöntemi kullanılarak iki boyutlu şev duraylılık analizi için 1994 yılında geliştirilmiştir. Programın geliştirilmesinde KappaPC kullanılmıştır. Sistem şev kayma tipini kullanıcıya sorular sorarak tespit etmekte ve FORTRAN kullanılarak yazılan analitik program modüllerini (dairese kayma analiz modülü, kinematik analiz modülü, kama tipi kayma modülü gibi) çalıştırarak çeşitli kayma analizlerini yapmaktadır (Özgenoğlu ve Öcal, 1994).

Sisteme kullanıcıdan istenilen bilgiler girildikten sonra, sistem zemin koşullarını ve olası kayma şeklini belirlemektedir. Belirli zemin koşulları için kinematik analiz yapılmaktadır. Bir sonraki aşamada ise güvenlik faktörü limit denge yöntemi yaklaşımı kullanılarak belirlenmektedir. Belirlenen güvenlik faktörü ile şev dizaynı sonucu elde edilecek olan minimum güvenlik faktörü karşılaştırılmakta ve buna göre şev geometrisi belirlenmektedir.

Malzeme özellikleri kullanıcı tarafından bilinmiyor ise, sistem istenilen bilgileri bir veritabanından arayarak bulmakta ve kullanıcıya önermektedir.

3.2 İş Makineleri Arıza Tespiti

Üretim sırasında arızalanan ekipmanların arızasının tespitinin, arıza yerinin ve arızanın nasıl giderileceğinin belirlenmesinin ve tamirinin en kısa sürede yapılması, duran üretimin bir an önce başlatılarak üretim kaybının en aza indirilmesi için son derece önemlidir.

Shearer, AHT, Hydraulic DIMES, INTEX gibi programlar arıza tespiti için geliştirilmiş olan uzman sistemlerdir.

3.2.1 Shearer

İngiliz Kömür Şirketi (British Coal Company) tarafından 1988 yılında Anderson Strathclyde AM500 kesici yükleyicilerindeki arızaların tespiti için geliştirilmiştir. British Coal Company ile üretici firmanın ortaklaşa çalışmaları sonucu geliştirilmiştir.

Sistem, zincirli ve zincirsiz kesici yükleyicileri ve radyo kontrol sistemlerindeki hidrolik ve elektrik arızalarının tespiti için kullanılmaktadır. Sistem, İngiltere’de 9 adet maden işletmesinde denenmiştir (Bodkin, 1988).

3.2.2 AHT

Yükle taşı boşalt araçlarının operatörsüz olarak çalıştırıldığı Little Stobie (Ontario, Kanada) işletmesinde, hidrolik, elektrik ve mekanik arızaların tespit ve bakımı için Automation and Robotics, Inco.Ltd. şirketi tarafından 1994 yılında AHT (Automatic Haulage Truck Expert System) isimli bir uzman sistem geliştirilmiştir. Sistem COMDALE/X ile geliştirilmiş olup AutoCAD, çeşitli makine grafikleri, bakım ve istatistik programları, makine parçalarının fotoğrafları ve ocak izleme sistemi ile (gerçek zamanlı) desteklenmektedir.

Sistem, ocak izleme sistemi ile ilişki halinde bulunarak arızanın yeri ve cinsini belirlemektedir. Arıza halinde kullanıcının önüne arızalanan makine parçası ile ilgili AutoCAD dosyası gelmektedir. Ayrıca, sistem gerektiğinde geçmiş arıza ve bakım bilgilerine de başvurarak arıza ile ilgili çözüm önerileri vermektedir (Zakaria, 1994).

3.2.3 Hydraulic Dimes

Bureau of Mines tarafından, Joy 16CM sürekli kazıcısının (continuous miner) hidrolik sistemlerindeki arızaların tespiti için geliştirilmiştir. Sistem makine üzerine monte edilmiş olan sensörlerden gelen gerçek zamanlı bilgileri kullanmaktadır. Sensör bilgileri, C dili ile yazılmış olan bir başka program tarafından alınarak uzman sisteme aktarılmaktadır. Sistem, Rulemaster adı verilen bir uzman sistem geliştirme aracı tarafından geliştirilmiştir (Mitchell, 1991).

3.2.4 Sürekli kazıcı elektrik arıza tespit uzman sistemi

Benzer olarak, aynı Joy 16CM sürekli kazıcısı için elektrik arızalarının tespiti için de bir uzman sistem geliştirilmiştir (Berzonsky, 1990). Sistem, Level5 kullanılarak kural tabanlı olarak geliştirilmiştir. Joy 16CM kazıcısının elektrik devreleri 4 kısıma ayrılmıştır. Bunlar; pompa, bant, hareket ve kesici kafa devreleridir. Bu elektrik devreleri için ayrı ayrı bilgi tabanları oluşturulmuştur. Kullanıcıdan arızalan devre bilgisi istenmekte ve sadece o devreye ait bilgi tabanı kullanılmaktadır.

Sistem, tespit ettiği arızayı kullanıcıya grafik olarak da gösterebilmektedir. Bu grafikler için Level5'in ASCII editörü kullanılmıştır.

3.2.5 Intex

Kesici yükleyicilerin arızalarının kaynağının bulunması için 1993 yılında Ruhr Kohle AG (Almanya) tarafından geliştirilmiştir. Kullanıcı, sisteme arızayı tarif ederek arızalı parçanın yerini grafik olarak görmekte ve arıza nedeni hakkında bilgi alabilmektedir.

Sistem, madende çalışan ekipmanlardan (voltaj vb.) verileri otomatik olarak toplayan bir veri erişim sistemi ile aletlerdeki arızaları tahmin edebilmektedir. Sistem, ekipmanların içerdiği parçaların da tariflendiği bir veritabanını da içermektedir.

3.2.6 Dragline Expert System

Draglayn arıza tespit uzman sistemi (Dragline Expert System, DES) Badopadhyay ve Venkatasubramanian (1990) tarafından geliştirilmiştir. Sistem Prolog kullanılarak yazılmış ve VAX 11/750 bilgisayarları için semantik ağ yapısı kullanılarak geliştirilmiştir. Sistem, draglaynlara ait 18 farklı ünitenin arıza tespitini yapabilecek kapasiteye sahiptir.

Draglayn arızaları sistemde, aşağıda verildiği gibi bölümlere ayrılmıştır.

- a) Basınçlı hava sistemi – hava kompresörleri
- b) Yağlama sistemi
- c) Kaldırma, çekme, dönme ve ilerleme makinaları
- d) Ana gövde
- e) Diğer mekanik üniteler

Uzman sistemde, arızanın cinsi ve sebepleri kurallar halinde verilmiştir. Her bir arıza sebebinin nasıl giderileceği de aynı şekilde verilmiştir. Sistem, yaptığı sorgulamaya bağlı olarak belirlenen arızadan başka arıza olup olmadığını kullanıcıdan öğrenmekte ve arızanın nasıl giderileceği hakkında elde ettiği sonuçları kullanıcıya sunmaktadır.

3.3 Kömürün Kendiliğinden Yanması

Kömürün kendiliğinden yanması birçok parametreye bağlıdır. Bu parametrelerin tek tek analiz edilmesi ve yorumlanması son derece zordur. Ayrıca, o anda hangi parametrenin diğerlerinden daha fazla önemli olduğu tespit edilmelidir. Bunun yanı sıra, bu önem derecesi daha önceden bilinse bile karar aşamasında önem derecesinin diğer parametrelerle olan ilişkisine bağlı olarak değişip değişmediğinin tespiti oldukça zordur. Uzman sistemler, birçok faktörü aynı anda kontrol etmekte ve normal yöntemlerden daha hızlı ve başarılı olmaktadır. Bu amaçla geliştirilen uzman sistemlere Expert System for Spontaneous Heating (ESSH) ve Heatings örnek olarak verilebilir.

3.3.1 ESSH

ESSH (Expert System for Spontaneous Heating), kömürün yeraltında, açık işletmelerde, stoklarda ve gemilerde kendiliğinden yanmasının ihtimalinin belirlenmesi için Nottingham Üniversitesi tarafından 1992’de geliştirilmiştir (Denby ve Ren, 1992; Ren ve Richards, 1994).

Sistemi geliştirmek için XiPlus kabuğu kullanılmıştır. Daha önceki kömür analiz araştırmalarından elde edilen veritabanı XiPlus kabuğunun uyumlu olduğu dBase kullanılarak oluşturulmuştur. Kömür bilgi tabanı, jeoloji bilgi tabanı ve maden bilgi

tabanı olmak üzere sistemin kullandığı 3 adet bilgi tabanı vardır. Sistem kömür, jeolojik ve maden risk faktörlerini hesaplayarak sonuca ulaşmaktadır.

3.3.2 Heatings

Yeraltı izleme verilerinden, kömürün kendiliğinden yanmasını ve yerini bildiren bir uzman sistemdir. Sistem, British Coal Company tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir. Gerçek zamanlı veri kullanıldığı için sistem Prolog ve POP11 program dillerinin karışımı kullanılarak geliştirilmiştir. Yeraltı izleme sisteminden alınan gerçek zamanlı havalandırma verileri sistemdeki bilgi tabanı ile birlikte değerlendirilmektedir. Sistem,

- Demo uzman sistem (gerçek-zamanlı değil+sabit veritabanı),
- Database (gerçek-zamanlı değil + dinamik veritabanı),
- Uzman sistem (gerçek zamanlı + dinamik veritabanı)

olmak üzere veritabanı ve gerçek zamanlı veri okunmasına bağlı olarak üç aşamada geliştirilmiştir (Bodkin,1988).

3.4 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 günümüzde artık uzman sistemlerin bu alanda kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Gelişen CAD sistemleri ile grafiksel olarak desteklenen uzman sistemler daha verimli sonuçlar vermektedir. Böylece, uzman sistem, tasarımın mantıksal bölümlerinde ve CAD ise tasarımın grafiksel ve matematiksel alanlarında kullanılmaktadırlar.

Selex, Patas, ve Mineexpert tasarım ve planlama amaçlı olarak geliştirilen örnekler olarak verilebilir.

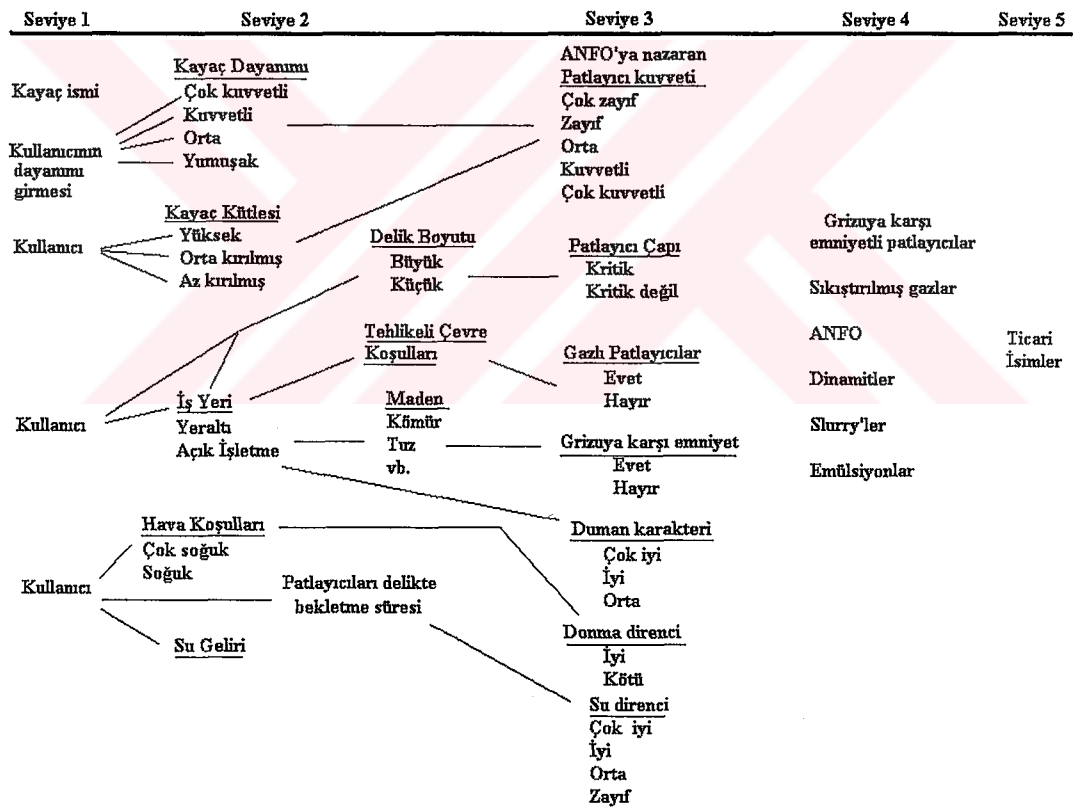
3.4.1 Selex

Patlayıcı madde seçiminde kullanılmak üzere İstanbul Teknik Üniversitesi'nde 1994 yılında geliştirilmiştir. Uzman sistem, prolog tabanlı M1 kabuğu kullanılarak farklı kazı şartlarında doğru patlayıcı belirlenmesi için geliştirilmiştir.

Selex'in mantığı farklı kazı işlerinin işyeri özelliklerine uygun farklı patlayıcılar gerektirdiğidir. Patlayıcı kuvveti, grizuya uygunluk, su direnci, donma, delik çapı uygunluğu gibi ana faktörler belirlendikten sonra dinamit seçimi uygun olan patlayıcılar arasından seçilebilmektedir (Nasuf ve Yazıcı, 1994).

Sistem, kullanıcıdan kazı cinsini, çalışma yeri özelliklerini, hava ve su durumunu, kayaç dayanımını ve kaya kütle durumunu sorgulamakta ve sorgulama sırasındaki gelişmelere bağlı olarak kullanıcının isteklerine göre programın akışını değiştirebilmektedir. Sorgulama sırasında bazı sonuçlara ulaşıldığı zaman, sistem diğer sonuçlara bilgi tabanını sorgulayarak ulaşabilmektedir.

Selex, 130 adet kuraldan oluşmaktadır. M1 kabuğunun çıkarım mekanizması gereği olarak geri zincirleme metodu kullanılmıştır. Sistem kullanıcıya yaklaşık 23 adet soru sormaktadır. Uzman sistem yapısı Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Selex uzman sistemi yapısı

3.4.2 Patas

Patlayıcı maddeler ile kazı tasarımı için İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından 1995 yılında KappaPC kullanılarak geliştirilmiştir. Patas, 330'u açık işletme ve 103'ü yeraltı için olmak üzere toplam 433 kuraldan oluşmaktadır.

patlayıcı veritabanından seçilmektedir. Bu aşamadan sonra sistem belirlediği patlayıcılardan oluşan bir liste oluşturur ve bunlardan en uygun olan patlayıcı ve özelliklerini kullanıcıya sunar. Kullanıcı bu patlayıcıyı kabul eder veya kendisi yeni bir patlayıcı seçer. Benzer olarak yemleme, ateşleme sistemi ve delik düzeni de belirlenir.

Delik boyutlandırılmasında sadece delik çapı kullanıcıdan istenilmekte ve seçilen patlayıcıya uygunluğu kontrol edilmektedir. Dilim kalınlığı, sıkılama boyu gibi diğer parametreler analitik olarak hesaplanarak kullanıcıya toplu olarak sunulmaktadır.

3.4.3 Expert System for Mining Property Selection

Kömür açık işletme planlaması için Prolog kullanılarak geliştirilen bir uzman sistemdir. Kömür özellikleri, üretim yöntemleri, saha karakteristikleri ve işletme parametreleri kullanılarak sistem geliştirilmiştir (Chhipa ve Sengupta, 1995).

3.4.4 Expert System for Mining Method Selection

Yeraltı kömür işletmelerinde üretim yöntemi seçimi (Expert System for Mining Method Selection) için geliştirilen kural tabanlı bir uzman sistemdir. Sistem, PROLOG dili kullanılarak geliştirilmiştir (Bandopadhyay ve Venkatasubramanian, 1987).

Üretim yöntemi jeoteknik ve işletme parametrelerine bağlı olarak belirlenmektedir. Jeoteknik parametreleri; kayaç dayanımı, RQD, süreksizlikler arası açıklık, süreksizliklerin durumu, yeraltı suyu ve zemin koşulları oluşturmaktadır. İşletme parametrelerini ise metan durumu, kazı kolaylığı ve ara kesme oluşturmaktadır.

Her bir parametreye atanan kesinlik faktörlerine bağlı olarak en uygun yer altı işletme yöntemi belirlenmektedir.

3.4.5 Minexpert

Yeraltı üretim yöntemi seçimi için geliştirilmiş olan bir uzman sistemdir (Mutagwaba ve Terezopoulos, 1994). Uzman sistem, C dili kullanılarak geliştirilmiştir. Sistem, tahkimatlı ve tahkimatsız üretim yöntemi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Minexpert'in bilgi tabanında 22 adet maden üretim yöntemi ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

3.5 Çalışma Emniyetini Arttırmak

Üretimin sürekliliği ve işçi sağlığı 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 alarak çalışma ortamının güvenliğinin ve üretimin arttırılmasına yardımcı olmaktadır. Örnek olarak; UFEL, DustPro, MethPro, Ventex, Dustex verilebilir.

3.5.1 UFEL

UFEL (Unexpected Firedamp Emission Level), kömür ocaklarında beklenmedik şekilde yüksek oranda metan gazı yayılımı riskini belirlemek için British Coal Company tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir. Sistem İngiltere’de bir işletmede deneme amaçlı olarak kurulmuştur.

Sisteme ilk olarak, bölgenin ölçümler sonucu belirlenen gazlılık durumu veri olarak girilmektedir. Eğer ölçümler bulunmuyorsa, madenin İngiltere’de bulunduğu konuma veya kömürün rank ve nem içeriğine bağlı olarak gazlılık durumu tahmin edilmektedir. Uzman sistem daha sonra kullanıcıdan kömür damarı ve çevre kayaç özellikleri, çalışma yerinin çevresindeki jeolojik yapıya ait faylanma ve geçirgenlik durumu gibi arazi ile ilgili veriler ile sondaj, eski imalat, kazı metodu gibi işletme ile ilgili verileri sorgulamaktadır.

Sistem aldığı bilgileri daha önce gerçekleşen metan gelirlerine ait veritabanı ile birlikte değerlendirerek metan seviyesinde oluşabilecek değişimler hakkında tahminde bulunmaktadır (Bodkin, 1988).

3.5.2 DustPro

US Bureau of Mines tarafından 1992 yılında yeraltı madenciliği için geliştirilmiş olan bir sistemdir. Level5 kullanılarak yazılmış ve yaklaşık 200 kuraldan oluşmaktadır. Program kullanıcıya metan kontrolü, gaz çıkışı, üretimin kesikli olmadığı koşullarda havalandırma ve maden makinelerinde toz kontrolü için tavsiyeler sunmaktadır.

Sistem, toz kontrol mühendisi istihdam edemeyecek kadar küçük ölçekli işletmelerde kullanılmak için geliştirilmiştir.

3.5.3 MethPro (Methane Professional)

US Bureau of Mines tarafından 1988 yılında kişisel bilgisayarlar için geliştirilmiş olan ilk sistemdir. Sistem, en uygun metan kontrol stratejisinin belirlenmesi için tavsiyelerde bulunmaktadır. Sistem, Insight-2 kabuğu kullanılarak geliştirilmiştir (King, 1987).

MethPro; yatay ve düşey metan drenajı teknikleri, metan patlamaları, sürtünme sonucu oluşan kıvılcımlar gibi problemleri çözebilecek şekilde tasarımılandırılmıştır. Metan konsantrasyonu, damar kalınlığı ve derinliği, faylanma, havalandırma oranları, üretim metodu gibi bilgiler sistem tarafından sorgulanmakta ve eğer eksik veri varsa bilgi tabanındaki verilerden veya eski deneyimlerden tamamlayabilmektedir.

3.5.4 Ventex

Lilie ve diğ. (1997), tarafından ocak havalandırması amaçlı olarak KappaPC kabuğu kullanılarak geliştirilmiştir. Uzman Sistem, daha önceden geliştirilmiş olan SimVent isimli ocak havalandırması simülasyon yazılımı ile uzman sistem sezgisel yaklaşım ve kurallarının birleştirilmesi ile geliştirilmiştir. SimVent; ocak hava dağılımı, ısı ve ateş iletimi mekanizmaları, gaz ve solunabilir toz dağılımları ile ilgili simülasyonları içermektedir. Uzman sistemde ise geri zincirleme çıkarım tekniği kullanılmıştır.

Sistem, ilk olarak yaş ve kuru sıcaklıklar, barometrik basınç düşüşleri, kol sayıları, kollardaki hava miktarları, vantilatör karakteristikleri gibi ocak havalandırması ile ilgili bilgileri alarak SimVent paketini çalıştırmaktadır. Daha sonra sistem tarafından istenilen diğer bilgiler ile ocağın toplam hava kaybı belirlenmektedir. Sistem metan içeriğine bağlı olarak yangın riskinin yüksekliğini de vermektedir.

SimVent ve Ventex'in, Sırbistan'da Soko linyit ocağında başarı ile kullanıldığı araştırmacılar tarafından bildirilmektedir.

3.5.5 Dustex

Sülfat tozu patlamalarının önlenmesi için The University of British Columbia'da Comdale-X kabuğu kullanılarak geliştirilmiştir (Burkert ve Hall, 1994). Sistem yeni

bir işletmenin planlanma aşamasında veya çalışmakta olan bir işletmede, sülfat patlamalarının önlenmesi için tasarımılandırılmış olup daha önceki sülfat patlamalarına ait istatistikler ve ölçümler bilgi tabanında kullanılmaktadır.

Sistem kullanıcıdan ilk olarak ocaktaki tozun yapısı ve sülfür içeriği hakkında bilgi istemektedir. Daha sonra patlama potansiyeli olan sülfat minerallerinin olup olmadığı, varsa oranlarının ne olduğu hakkında bilgi istemektedir. Eğer kullanıcı bu bilgilere sahip değilse, o zaman sülfat oranının az, orta veya çok olarak girilmesini istemektedir. Bu şekilde yapılan tahminle veya sülfat oranının veri olarak sisteme girilmesi ile sistem tarafından patlamanın olmayacağı, mümkün veya muhtemel olup olmadığının tespiti yapılmaktadır. Eğer patlama ihtimali yoksa, sistem kullanıcıdan bilgi almayı bitirerek sonucu bildirmektedir.

Sistem tarafından elde edilen değerlendirmelere bağlı olarak ocakta toz patlaması ihtimali devam ediyorsa, yani mümkün veya muhtemel olasılığı belirlenmiş ise kullanıcıdan bilgi istenmeye devam etmektedir. Bundan sonra, pirit, pirotin, kalkopirit, sfalerit ve galen gibi patlama potansiyeli olan sülfür mineralleri olup olmadığını sormaktadır. Kullanıcı bu minerallerden hiçbirisinin bulunmadığını belirtirse, sistem patlama ihtimali olmadığını bildirmekte; eğer bu minerallerden birisi varsa patlayıcı sülfür içeriğini hesaplamak için minerallerin yüzde oranlarını istemektedir. Sistem patlama ihtimali olduğu sonucuna ulaşırsa, üretim yöntemi bilmek istemekte ve bu bilgilere göre toz patlama ihtimali hakkında elde ettiği sonucu bildirmektedir.

Eğer inceleme çalışmakta olan bir işletme için yapılıyorsa, sistem daha önce sülfat tozu patlaması olup olmadığı bilgisini istemektedir. Daha sonra kıvılcım kaynakları ve yerleri hakkında bilgi istemektedir. Bu bilgilere göre sülfat tozu patlaması hakkında sonucu kullanıcıya bildirmektedir.

Sistem tarafından, patlama olma ihtimali belirlendiği takdirde alınacak önlemler de kullanıcıya sunulmaktadır.

3.6 Tesis Yönetimi ve Organizasyonu

İşletmelerde yöneticilere yönelik olarak geliştirilmiş olan uzman sistemler aynı zamanda geçmiş bilgi ve istatistiklerle desteklenerek ileriye yönelik planlama

yapılmasında yardımcı olmaktadırlar. Örnek olarak; Mine Manager Support System (MMSS) ve CHOOZ verilebilir.

3.6.1 Mine Manager Support System (MMSS)

MMSS, US Bureau of Mines ve West Virginia Energy and Water Research Center tarafından 1990 yılında geliştirilen maden yönetimi destek sistemidir. Sistem, iş programlaması, madencilik işlerinin yapılmasındaki kurallar, iş sırasında oluşan problemlerin çözümü, işçi işveren ilişkilerinin tümü hakkındaki bilgileri kapsamaktadır.

Madende kullanılan malzemelerin kullanım anındaki yerlerini ve depolanan malzemelerin ayaklara akışı için çalışma planlarını göstermek üzere grafiksel destek sistemi eklenmiştir. Sistemin geliştirilmesi için OPS5 ve LOOPS kullanılmıştır (Grayson ve diğ, 1990).

3.6.2 CHOOZ

Uzman sistem, Tanoma Coal Company tarafından geliştirilmiştir. CHOOZ, yeraltı işçilerinin iş yerlerine, yeteneklerine, görevlerine göre dağıtımını yaparak personel planlaması için geliştirilen bir uzman sistemdir.

3.7 Makine ve Teçhizat Seçimi

Ekipman seçimi için geliştirilmiş olan uzman sistemler Bölüm 4.7’de detaylı olarak verilmiştir.

4 AÇIK İŞLETME EKİPMAN SEÇİMİNDE UYGULANAN TEKNİKLER

Açık işletme ekipman seçiminde kullanılan çeşitli teknikler bulunmaktadır. Son yıllarda geliştirilen Yapay Zeka tekniklerinin yanı sıra bir çok teknik ve algoritmalar da ekipman seçimi için kullanılmaktadır.

Bu bölümde, bu tekniklerden en yaygın olanları sınıflandırılarak sunulmuş ve geliştirilen programlardan örnekler verilmiştir. Ekipman seçiminde kullanılan tekniklerin sınıflandırılması 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

Bunların içinden klasik sistemler ve yöneylem araştırması teknikleri geniş olarak kullanılmasına karşılık, yapay zeka tekniklerinin madencilğe ve özellikle ekipman seçimine uygulanması ancak son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. İlişki matrisi ise üzerinde çalışmaların çok yaygın olmadığı bir teknik olup ekipman seçimi için sadece bir örneği bulunmaktadır.

4.1 Klasik Sistemler

Klasik sistemler, uygun ekipman kombinasyonunu seçmek için kullanılan en eski metottur. Bu metotların ana amacı, üretim kısıtlarına bağlı olarak ekipman seçimi

yapmaktır. Ekskavatör kapasitesinin belirlenmesi ve bu kapasiteye uygun kamyon seçimi, klasik sistemlere örnek olarak verilebilir. Kazı, yükleme ve nakliye gibi faaliyetler birbirleri ile ilişki halindedir. Optimum ton başına maliyet ise her zaman işletme maliyetlerinin minimize edilmesi ile sağlanmaktadır.

Rumfelt (1961), draglaynlar ve ekskavatörler için maksimum kullanılabilirlik faktörü (Maximum Utilization Factor, MUF) kavramını geliştirmiştir. Bu çalışma, literatürde geliştirilmiş olan ilk ve en önemli çalışmalardan birisi olarak bilinmektedir. Maksimum kullanılabilirlik faktörü, makine ağırlığı ile kullanılabilirliği arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. MUF değeri, kepçe kapasitesi (yd^3 cinsinden) ile kazıcı makine erişim mesafesinin (ft cinsinden) çarpımı ile bulunur. Makine ağırlığı, MUF değerine bölüldüğü zaman ortaya çıkan sonuç sabit olmaktadır. Bu değer; ekskavatörler için 745 olarak bulunmakta ve draglaynlar içinse 467-575 değerleri arasında değişmektedir (Rumfelt, 1961).

Morgan (1975) ise yükleme ve nakliye ekipmanları arasında bir uyum faktörü (Match Factor) geliştirmiştir. Atkinson (1971, 1992), farklı kazı ekipmanları için performans karakteristiklerine bağlı olarak ekipmanları sürekli ve kesikli kazı ekipmanları olarak sınıflandırmıştır. Maehlmann (1988) tarafından ise hidrolik ekskavatörlerin seçim kriterleri verilmiştir.

Çebi ve diğ. (1994) tarafından ekipman seçimi için geliştirilen program, FORTRAN dilinde yazılmış, geliştirme çalışmalarında ise Quick Basic kullanılmış ve programın bazı kısımlarında Assembler dili kullanılmıştır. Bilgisayar programında bütün seçim alternatifleri ayrı alt programlar olarak hazırlanmış ve çıkışlarında kullanılan ekipmanın teknik özellikleri verilmektedir. Ekipmanın toplam maliyetini oluşturan parametreler ise ayrı ayrı yıl bazında verilmektedir.

Lizotte (1988) tarafından açık işletme tasarımı ve ekipman seçimi ile ilgili seçim kriterleri verilmiştir. Ekipman seçimi için kullanılan ekonomik ve teknolojik parametreler kısaca verilmiştir.

4.2 Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama tekniği de diğer alanlarda olduğu gibi ekipman seçiminde yaygın olarak kullanılmıştır. Buna örnek olarak, yükleme noktalarına ekipman atamasını verebiliriz.

Ekskavatörlerin çalışma noktalarının belirlenmesi, ekskavatörlere en verimli şekilde kamyon atamasının gerçekleştirilmesi, üretim kapasitesine bağlı olarak ekskavatörlere atanan kamyon sayılarının belirlenmesinde doğrusal programlama teknikleri yaygın olarak kullanılmışlardır.

Lambert ve Mutmanský (1973) tarafından verilen çeşitli üretim noktaları için madencilik ve üretim sınır koşullarını sağlayan ve aynı zamanda en düşük maliyeti oluşturan, en uygun ekskavatörün seçilmesi modeli doğrusal programlamaya örnek olarak verilebilir.

4.3 Simülasyon

Simülasyon modelleri, gerçek zamanlı kompleks madencilik faaliyetlerinin analizinde kullanılmaktadır. Simülasyon çalışmalarında, modellenen sistemin gerçek sistemi ne kadar temsil ettiği belirlenebilmektedir. Bu şekilde, model sistemin çalışmasından elde edilen gözlemlere göre gerçek sistemin davranışları hakkında bilgiler elde edilmektedir. Ekipmanların çalışması sırasındaki dinamik yapı da simülasyon çalışmaları ile modellenebilmektedir.

Simülasyon çalışmalarında; GPSS, SLAM, DYNAMO, SIMSCRIPT gibi programlar veya FORTRAN, C, Pascal gibi klasik programlama dilleri kullanılmaktadır.

Panagiotou ve Michalakopoulos (1994, 1996), tarafından geliştirilen STRAPAC2 isimli bir simülasyon paketi simülasyon çalışmalarına bir örnek olarak verilebilir. Farklı ekipman kapasite ve kombinasyonlarındaki ekskavatör-kamyon sistemlerinin belirlenmesi için oluşturulmuş olan deterministik ve stokastik simülasyon serilerinden meydana gelen bir paket programdır. Program Windows altında çalışmaktadır. Deterministik ve stokastik simülatör ile animasyon modülü olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır:

- Deterministik Simülatör: Ekipmanların kendi kataloglarından elde edilen araç özelliklerine göre yapılan simülasyon çalışmaları için geliştirilmiş olan kısımdır. Kamyonların tur süreleri ile ilgili olarak ayrıca TRUCKPER isimli bir simülasyon modülü de ayrıca kullanılmaktadır.
- Stokastik Simülatör: Kamyonların kronometraj çalışmaları sonucu elde edilen veriler, makinelerin tamir-bakım zamanları, arızalar, maliyetler ve kamyon

atama kuralları kullanılarak farklı ekskavatör-kamyon sistemlerinin oluşturulması için kullanılan gerçek verilere dayalı bir modüldür.

- Animasyon Modülü: sistemin daha anlaşılır ve ekrandan görsel olarak izlenmesi için programa eklenmiş olan bir animasyon modülüdür.

Paket program genel olarak yapılmamış olup belirli sistemleri içeren 15 adet simülasyon modülünden oluşmaktadır. Küçük ve orta ölçekli işletmeler için kullanılan ve aynı yerde 3 adet ekskavatöre 3 farklı kamyon tipi atanabilmekte, tamir-bakım ve arızalar göz önüne alınabilmektedir. Üretim ve maliyet tahminleri; ekipmanın kullanılabilirliği ve yararlanma verileri; atama ve tamir-bakım alanlarındaki kuyruk istatistikleri; sistem içindeki farklı kamyonlara ait değişik parametrelerin analizleri de elde edilmektedir.

Bir diğer örnek ise Kesimal (1995) tarafından yapılan OPSTCSIM (Open-pit Shovels-Trucks & Conveyors Simulation) simülasyon modelleme sistemidir. Simülasyon Paketi, altısı girdi aşaması olmak üzere 11 programdan oluşmakta ve 7 seçenekli taşıma modellemesi içermektedir. Bunlar,

- Kazıcı yükleyici-kamyon-bant, hem cevherde hem de dekapajda modelleme
- Kazıcı yükleyici-kamyon-bant cevherde ve yükleyici-kamyon dekapajda modelleme
- Kazıcı yükleyici-bant, sürekli taşıyıcı modelleme
- Kazıcı yükleyici-kamyon atama (dispatching) modelleme
- Kazıcı yükleyici-kamyon atama olmayan modelleme
- Ekipman ünitelerinin bakımı onarımı
- Kazıcı yükleyici-kamyon modelleme'dir.

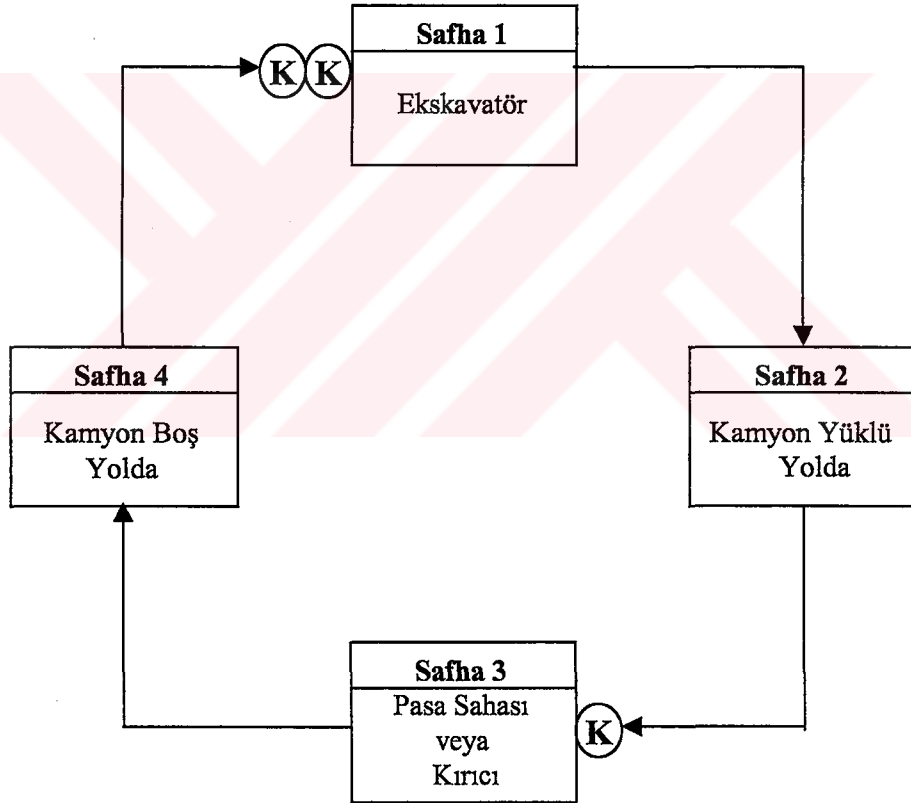
Simülasyon için GPSS/PC kullanılmaktadır. Paket program çıktıları, GPSS'in okuyacağı formatta hazırlamakta ve GPSS'i kullanmayı öğrenmeye gerek kalmamaktadır. Simülasyon sonucu optimum ekipman miktarı belirlendikten sonra birbirleri ile kıyaslamalı olarak maliyet tahminleri yapılmakta ve en uygun nakliye sistemi belirlenmektedir.

Singhal ve Fytas (1986) tarafından ise açık işletmelerde yükleme ve nakliye faaliyetlerinin simülasyonu için geliştirilen bir program verilmektedir. Calder (1993)

tarafından ekskavatör ve kamyon simülasyonu için geliştirilen bir program verilmektedir.

4.4 Kuyruk Teorisi

Kuyruk modelleri genellikle ekskavatörlere kamyon ataması analizleri için geliştirilmektedirler. Kamyonların (Şekil 4.1’de K ile gösterilmiştir) farklı servis noktaları arasında hareketleri belirlenmektedir. Servis noktaları; ekskavatörde yükleme, yolda dolu ve boş, pasa sahasında veya kırıcı yanında olmak üzere belirlenmektedir (Şekil 4.1). Bu faaliyetler sırasındaki bekleme süreleri ve ekipmanların kullanım oranları model tarafından belirlenmekte ve elde edilen sonuçlara bağlı olarak uygun ekskavatör ve bu ekskavatöre atanan optimum kamyon sayısı belirlenmektedir.



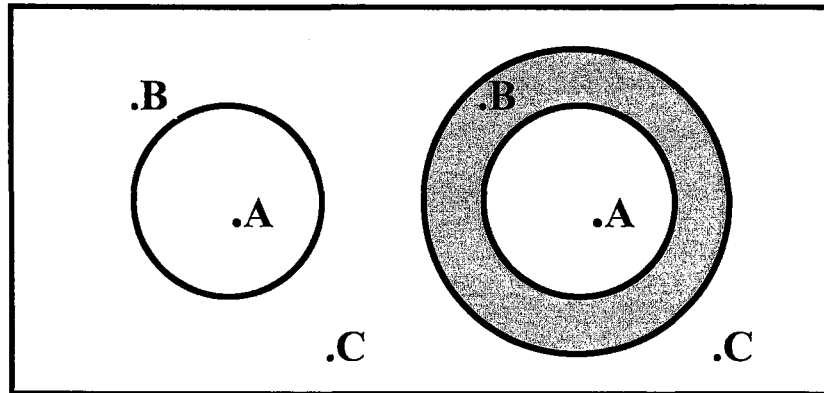
Şekil 4.1 Ekskavatör-kamyon sistemi

Koenigsberg (1958a, 1958b, 1959), Kappas ve Yegulalp (1991), Mudili ve Yegulalp (1996), Erçelebi (1997) tarafından kuyruk teorisi çalışmaları detaylı olarak verilmiştir.

4.5. Bulanık Kümeler Teorisi

Bulanık kümeler teorisi, mühendislik alanlarında yaygın uygulama alanı bulan matematiğin bir dalıdır. Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiş olan teori, belirsizliğe yol açan dilsel bulanık terimlere 0 ile 1 arasında değişen ondalık terimler atayarak çözüm bulmaya çalışan bir teoridir. Başka bir deyişle, teorinin matematiksel olarak açıklaması, evrendeki herhangi bir varlığa bulanık küme içindeki üyelik derecesini gösteren bir değer atanması olarak tanımlanabilir.

Bulanık küme teorisi, matematiğin klasik küme teorisinden farklılıklar göstermektedir. Klasik küme teorisinde bir eleman bir kümeye tam olarak aittir veya değildir. Bu matematiksel olarak ifade edilmek istenirse, kümeye ait olan elemanın üyelik derecesi 1 olarak alınır ve eğer eleman o kümeye ait değilse üyelik derecesi 0 olarak tanımlanır. Bulanık küme teorisinde ise bu değerler, üyelik derecesine bağlı olarak 0.1, 0.2....0.8, 0.9 gibi değerler olarak tanımlanmaktadır. Bulanık küme ve klasik kümeye ait üyelikler Şekil 4.2’de verilmiştir. Klasik sistemde sadece A bir kümenin elemanı olmaktadır ve üyelik derecesi 1’dir. Klasik sistemde B ve C’nin değerleri 0 olmakta ve değerlendirmeye katılmamaktadırlar. Bulanık küme teorisinde ise A gene kümenin bir elemanı olarak 1 değerliliğe sahip olmaktadır. C’de gene kümenin elemanı olmadığı için üyelik derecesi 0 olmaktadır. Fakat, B kümeye yakın bir eleman olduğu için bulanık küme elemanı olup olmadığının belirlenmesi 0.1-0.9 arasında atanacak olan üyelik derecesine bağlı olarak belirlenmektedir.



Şekil 4.2 Klasik ve bulanık küme üyelikleri

Gerek madencilik endüstrisinde ve gerekse diğer endüstri alanlarında bazı dilsel belirsizlikler vardır ki bunları tanımlayarak problemin çözümünde kullanmak imkansızdır. Bu belirsizlikleri; zeminin nemli, ıslak veya kuru olması gibi ifadelerle belirtebiliriz. Bulanık küme teorisi, tam olarak ifade edilemeyen, eksik ölçümler

sonucu kesin olarak tanımlanamayan ve aralarında belirsizlik sınırları bulunan kavramlar grubunun oluşturduğu bulanıklık ile ilgilenmektedir. Böylece, bulanık küme teorisi belirsizlik ifade eden, tanımlanmasında zorluklar bulunan kavramlara belirlilik getirmektedir. Belirlilik getirme yaklaşımı ile iki değerlikli küme kuramı çok değerli küme kuramına dönüştürülmektedir.

Bulanık küme teorisi kullanılarak yapılan çalışmalarda, sistemi etkileyen bütün parametreler göz önüne alınarak ekipman seçimi yapıldığı ve hiçbir hesaba katılmayan parametre bırakılmadığı için sistemin diğer inceleme çalışmalarından daha çabuk ve doğru karar verdiği belirtilmektedir.

Sistem içindeki bütün belirsizlikler veya tam olarak ifade edilemeyen kriterler dilsel değişken haline getirilerek değerlendirildiği için hesaba katılmamış hiçbir kriter kalmaması bulanık küme teorisinin avantajıdır.

Bulanık küme teorisi kullanılarak yapılan çalışmalarda sonuç klasik sistemlere nazaran daha çabuk elde edilmektedir. Değerlendirme matrislerindeki üyelik derecelerinin uzmanların görüşleri alınarak atanan sübjektif değerler olması ise en büyük dezavantajdır.

Başçetin ve Kesimal (1999) tarafından geliştirilen bir çalışmada, bulanık küme teorisi ve çok kriterli karar verme metodundan biri olan Yager teorisi kullanılarak açık işletme ekipman seçimi verilmiştir. Seçilmiş olan küçük ölçekli bir açık kömür işletmesinde yükleme ve taşıma sistemi belirlenmiştir. Çalışmada, sistemi etkileyen teknik parametreler ve kullanılan alternatif çözümler uzman görüşleri doğrultusunda her bir parametre için tespit edilmiştir. Kriterler kümesi (üretim, kazı zorluğu, zemin, esneklik, taşıma kapasitesi, ekipman verimi vb.) ve alternatifler kümesi (ekskavatör-kamyon, yükleyici-kamyon, ekskavatör-kamyon-ocak içi kırıcı-bant) oluşturulduktan sonra her bir kriter için alternatiflerin alacağı üyelik dereceleri ve böylece hangi sistemin daha avantajlı olduğu belirlenmektedir. Çalışmanın sonraki adımında ise karar matrisi üzerinde kriterlerin birbirlerine göre önemleri önemli, az önemli, kuvvetli önemli vb. olmak üzere belirlenmektedir. Karar matrisi Matlab programı kullanılarak matrisin özdeğerleri ve maksimum özdeğere karşılık gelen özvektörü tespit edilmektedir. Özvektör, kriterlerin üyelikleri ile ilişkilendirilmiş olan ağırlıklarını belirtmekte ve bunlar karar fonksiyonunda değerlendirilmekte ve en iyi alternatif elde edilmektedir.

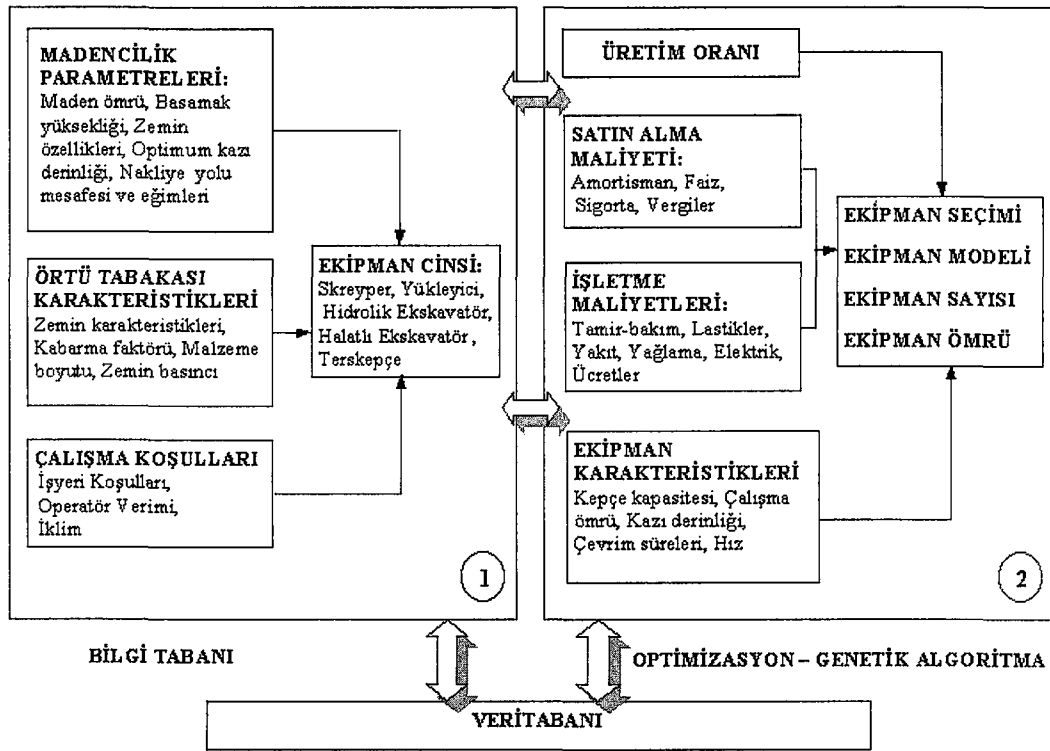
Cebesoy (1997), bulanık mantık ve uzman sistem kombinasyonunu birlikte kullanmıştır. Bu çalışmada, yükleyici-kamyon, hidrolik ekskavatör-kamyon ve elektrikli ekskavatör-kamyon sistemleri arasından en uygun sistem belirlenmektedir. Ekipman kombinasyonu seçimi (ECS) isimli uzman sistem belirsizliklerin çözümü için çok kriterli bulanık dominant algoritmayı kullanmış ve bulanık küme teorisi kullanılarak elde edilecek olan dominant matrisi belirleyen değerlendirme matrisleri kötümser, iyimser, aritmetik ortalama ve değiştirilmiş kötümser matris olarak verilmiştir. Değerlendirme matrisleri farklı uzmanların, kritik faktörlere 0 ile 1 arasında değerler vermesi ile elde edilmekte ve her uzmanın görüşünü yansıtmaktadırlar. Uzman sistemin geliştirilmesinde ise Xi-Plus kabuğu kullanılmıştır. Sistem, 85 kurallı çalışma yeri ve 80 kurallı ekipman teknik özellikleri olmak üzere iki adet bilgi tabanı, bir kontrol mekanizması ve matematik işlemlerini çözen bir Pascal programından oluşmaktadır.

4.6 Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, 1950'li yıllarda biyologların bilgisayar yardımı ile biyolojik sistemleri modellenmesi ile gelişmiştir. Genetik algoritmalar, doğal seçme ve doğal genetik mekanizmalarını temel alarak bilgisayar destekli olarak çalışan arama ve optimizasyon teknikleri olarak tanımlanabilirler.

Genetik algoritma kullanılarak geliştirilen ekipman seçimi programına örnek olarak XSOME verilebilir (Haidar ve Naoum, 1999). XSOME'nin yapısı Şekil 4.3'te verilmiştir.

XSOME'nin bilgi tabanında madencilik parametreleri (maden ömrü, zemin özellikleri, basamak yüksekliği, vb.), örtü tabakası karakteristikleri (zemin karakteristikleri, kabarma faktörü vb.) ve işletme şartları (işyeri koşulları, operatör verimi, iklim) gibi bilgiler bulunmaktadır. Veritabanı ise kazı ve nakliye ekipmanlarının özelliklerini içermektedir. Genetik algoritma kısmında ise minimum maliyeti oluşturan ekipmanın model, adet ve ömrü belirlenmektedir. Bu aşamada, üretim oranı, işletme maliyetleri (tamir-bakım, yakıt, yağ, vb.), satın alma maliyetleri (amortisman, faiz, vb.) ve ekipman karakteristikleri (kepçe kapasitesi, kazı derinliği, kamyon hızı, vb.) ile ilgili hesaplamalar gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.3 XSOME yapısı

4.7 Uzman Sistemler

Üretim faaliyetlerini sürdüren veya yeni kurulan bir işletmede uygun ekipman seçimi çok önemlidir. Günümüz ekipmanları gerek satın alma maliyeti ve gerekse de tamir-bakım masrafları bakımından çok pahalı oldukları için en uygun ekipmanın seçilmesi gerekmektedir. Ekipman seçimi için geliştirilen uzman sistemler, ekipmanlara yapılan ve maliyetlerin önemli bir kısmını kapsayan ekipman alım masraflarının en aza indirilmesini ve en uygun ekipman kombinasyonu ile üretimin verimli bir şekilde yapılmasını sağlarlar. Örnek olarak; Scraper, Ekipman Seçimi Uzman Sistemi, Minder, Dragline Selector, Expert System for Equipment Selection verilebilir.

4.7.1 Scraper

Scraper, skreyper seçimi amaçlı olarak KEE kabuğu kullanılarak LISP tabanlı sistemlerde kullanılmak üzere Laval Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Malzeme özellikleri (boyut, aşındırıcılık, vb.) ve işletme parametreleri (taşıma mesafesi, eğimler, dozer kullanılması vb.) skreyper seçimi için kullanılan iki ana veritabanı tipidir. Ekipmanların tip ve özelliklerinin bulunduğu çerçeve tipi bilgi bankasına ve veritabanlarına bağlı olarak en uygun skreyper seçimi geliştirilen sistem tarafından yapılmaktadır (Fytas ve diğ., 1988).

Sistemin geliştirilme aşamasında maliyet ve performanslar gibi faktörler göz önüne alınmamıştır.

4.7.2 Equipment Selecting Expert System

Açık işletmelerde, dekapaj ana kazı ekipmanlarının seçimi için çerçeve tabanlı ve ileriye zincirleme ile çalışan Ekipman Seçimi Uzman Sistemi (Equipment Selecting Expert System) Erdem (1990) tarafından geliştirilmiştir.

Sistem geliştirilmesi için PCPLUS kabuğu kullanılmıştır. Sistem karar aşamasında 85 parametre ve 224 kural kullanılmaktadır. Sistem çerçeve yapısında kurulmuştur.

Uzman sistem sırasıyla; kazılabilirlik, madencilik, üst örtü tabakası, su geliri, topografya, şev stabilite, ekonomi, kömür damarı, ekipman, ve dekapaj olmak üzere 9 çerçeveden oluşmaktadır. Sistem, yukarıda verilen hiyerarşik çerçeve sıralaması ile tarama yaparak ana kazı ekipmanı seçimi yapmaktadır.

Kullanıcıdan alınan cevaplara bağlı olarak her bir çerçevede çeşitli parametreleri içeren kurallara kesinlik faktörü ataması yapılmıştır. Böylece her alınan cevap sonrasında bu kesinlik faktörlerine bağlı olarak bazı ekipmanlar (örneğin draglayn) ilk aşamada elemine edilebilmektedir.

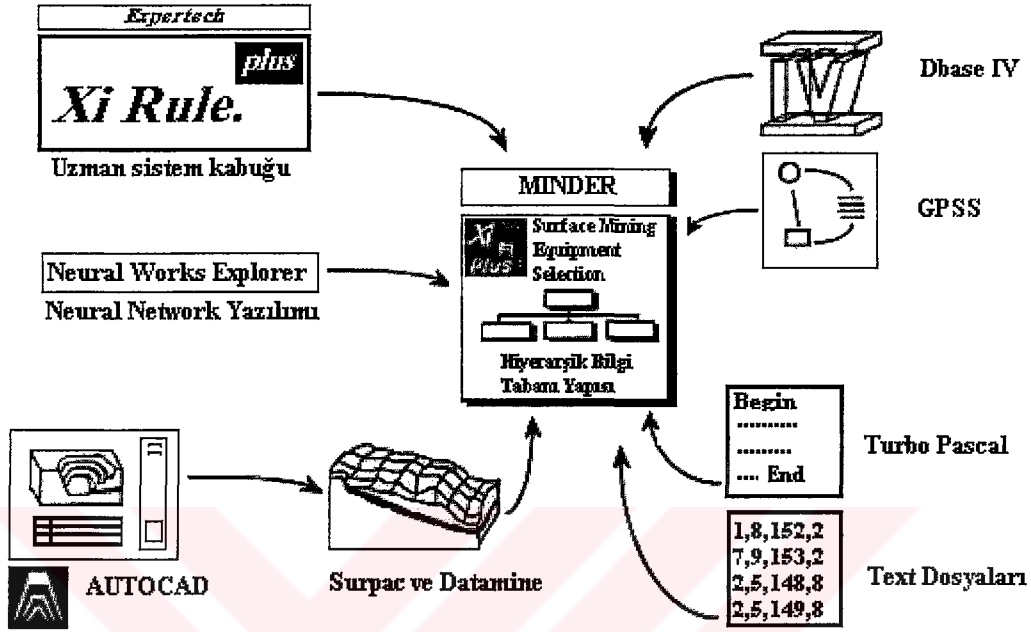
Kesinlik faktörlerine bağlı olarak da kazı ekipmanları, puanı en yüksek ekipmandan puanı en az olana doğru olmak üzere yüzdelik olarak verilmektedir. Bu yüzdelik değer aralığı +% 100 ile -% 100 arasında değişmektedir. Ekipmanlar, yüzde değeri en yüksek ekipmandan en düşük ekipmana doğru sırasıyla toplu olarak kullanıcıya sunulmaktadır (Erdem ve Çelebi, 1995).

4.7.3 MİNDER

Açık işletmelerde kazı ve nakliye ekipmanlarının seçimi için 1991 yılında Nottingham Üniversitesi tarafından MİNDER (MİNe Design using Expert Reasoning) isimli bir uzman sistem geliştirilmiştir. Sistem, MS-DOS altında çalışan XiPlus kabuğu kullanılarak geliştirilmiştir.

Uzman sistem, işletmelerde kullanılmakta olan ekipmanlar hakkında da kullanıcılara tavsiyelerde bulunabilmektedir. Belirsizlik veya eksik bilgilerin bulunduğu durumlarda, bulanık kümeler, kesinlik faktörleri gibi belirsizlik teknikleri kullanılmıştır.

Geliştirilen sistemde, Dbase, AutoCAD, Surpac, GPSS gibi diğer yazılımlar ile veri alışverişi yapabilmesini sağlayan bir kontrol mekanizması ve açık işletmelerde kullanılan ekipmanlar hakkında geniş bir veritabanı bulunmaktadır. Şekil 4.4'te uzman sistemin yapısı ve bağlantılı olduğu diğer programlar verilmiştir.



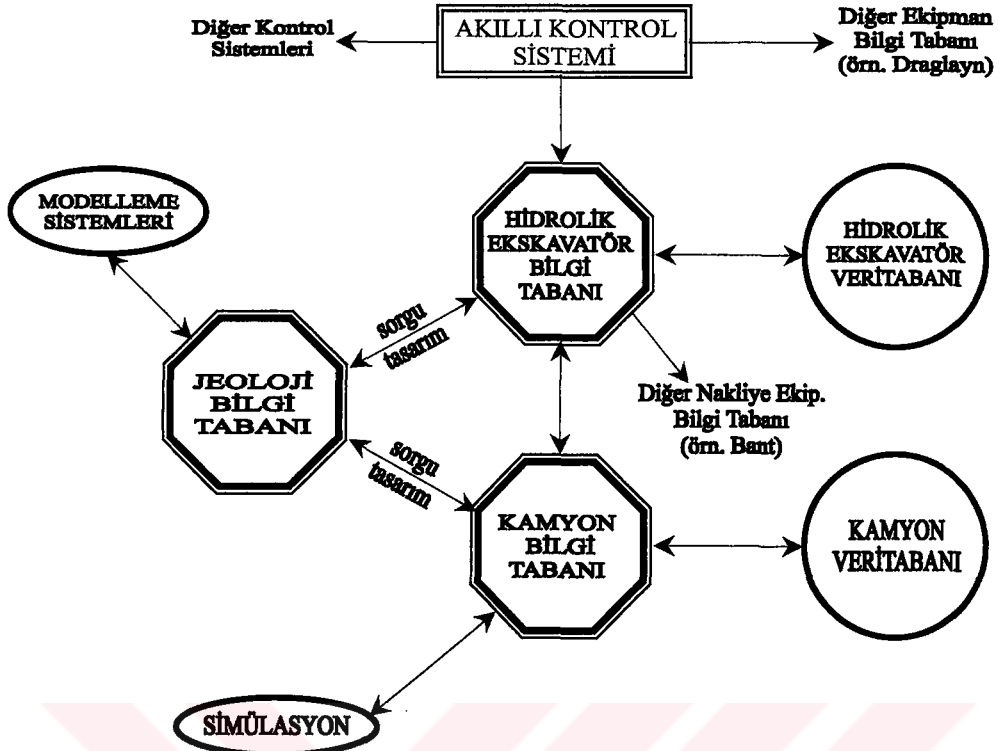
Şekil 4.4 Minder uzman sistemi ve diğer programlarla ilişkisi

Uzman sistem ayrıca, Advanced Computer Application Group tarafından bir ocağın tasarımı sırasındaki işletme sınır koşullarının belirlenmesinde tavsiyelerde bulunması için geliştirilen, küçük bir bilgi tabanlı sistem olan Strip-Mine Management System (SMMS) ile bilgi alışverişinde bulunabilmektedir (Clarke ve diğ., 1990; Denby, 1992; Denby ve Shofield, 1992).

Uzman sistemde, hidrolik ekskavatör ve kamyon seçimi için kullanılan bilgi tabanı ve veritabanı ilişkisi Şekil 4.5'te verilmiştir.

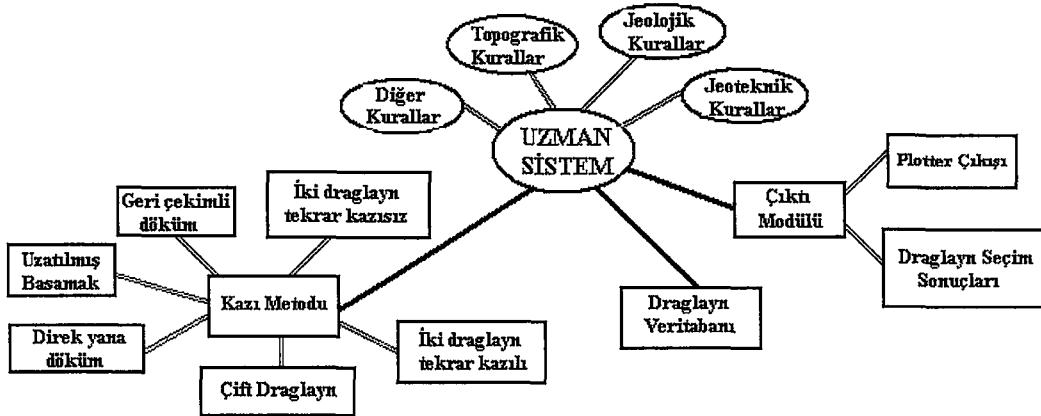
4.7.4 Dragline Selector

Draglayn seçimi için Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde 1994 yılında geliştirilmiştir. Açık işletme üretim sistemlerinde gerekli olan draglayn ve dilim geometrisi incelenmiş ve örtü-kazı simülasyon çalışmaları yapılarak temel parametreler belirlenmiştir. Sistem 3 kısımdan oluşmaktadır. Ocak geometrisi kısmında bir veya iki dilimde uygulanan 7 adet kazı metodu modellenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5 Minder hidrolik ekskavatör-kamyon seçimi yapısı

Bunlar; direk yana döküm, uzatılmış basamak, geri çekimli döküm, iki dilimde direk yana döküm, alt dilimde kısıtlı ve tam uzatılmış basamakta döküm ve iki dilimde geri çekimli döküm metotlarıdır. Diğer kısımda, bu metotlar için üretim simülasyonu çalışmaları bulunmaktadır. Üçüncü kısımda ise, draglayn kazısı maliyeti analizi yapılarak daha önce yapılan çalışmalar ile birlikte bir XCON kabuğu altında çalışma geliştirilmiştir (Erdem ve diğ., 1994, 1996, 1998).



Şekil 4.6 Dragline Selector yapısı

4.7.5 Expert System for Equipment Selection

Bir diğerk ekipman seçimi uzman sistemi (Expert system for equipment selection) Ganguli ve Bandopadhyay (2002) tarafından geliştirilmiştir. Sistemin geliştirilmesi için Level5 kabuğu kullanılmıştır.

Uzman sistem 4 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; ekipman seçilmesi istenilen görevin belirlenmesi, veri girişi, parametrelere ağırlıklı değerlerin atanması ve sonuçların sunulmasıdır.

Ekipman seçimi yapılacak işler 7 kısma ayrılmıştır. Bunlar;

1. Verimli üst örtü tabakasının kaldırılması ve serilmesi
2. Dekapaj için hazırlık
3. Dekapaj kazısı
4. Cevher veya kömür yükleme
5. Düzeltme ve doldurma
6. Ağaçlandırma
7. Cevher veya kömür nakli olarak verilmiştir.

Bundan sonraki aşama olan veri girişinde ise her kısım için belirlenmiş olan parametrelere ait değerlerin kullanıcıdan seçilmesi istenmektedir. Örneğin üst örtü tabakasının kaldırılması için üst örtü kalınlığı, esneklik ve nakliye mesafesi olmak üzere 3 parametre verilmiştir. Esneklik için de iyi, orta ve kötü olmak üzere 3 seçenek sunulmaktadır.

Veri girişi aşamasında, parametrelerin birbirlerine göre önem derecelerini kullanıcıdan istemektedir. Eğer parametreler kullanıcıya göre, birbirleri ile aynı değerli ise 1 atanmakta, eğer biri diğerinin yarısı kadar değerlikli ise 0.5 atanmakta ve bu işlem bütün parametreler için gerçekleştirilmektedir.

Parametrelerin önem dereceleri belirlendikten sonra, her bir parametre seçeneğine ait olan 0.1-0.9 arasındaki belirsizlik değerleri ile önem dereceleri ağırlıklı olarak bütün ekipmanlar için belirlenmektedir. En yüksek değere sahip olan ekipman ise kullanıcıya sunulmaktadır.

Belirsizlik parametrelerinin değiştirilmesine, kullanıcının kendisine veya işin cinsine bağlı olarak sistem tarafından izin verilmektedir.

4.8. İlişki Matrisi

Hudson (1992) tarafından kaya mekaniğindeki emin olunamayan faktörlerin ve bunların arasındaki ilişkilerin açıklığa kavuşturulması amacı ile geliştirilen ilişki matrisi (interaction matrix) ilk olarak yeraltı boşluklarının dizaynında kullanılmıştır. İlişki matrisinin ekipman seçimine uygulanması ise Gökay (1994) tarafından verilmiştir.

İlişki matrisinde, önemli bir kararın parametreleri ölçülemiyor veya ölçülse de ölçümlerin istatistiksel olma özelliklerinden dolayı sonuçtan emin olunamıyorsa, böylesi bir yöntemin uygulanması verilecek kararı sistematik hale getirdiğinden sonuçta başarıyı arttıracaktır (Gökay, 1994).

İlişki matrisin diyagonal hücrelerine karar için etkili olabileceği düşünülen parametreler, diğer hücrelerine ise tecrübelerle dayanılarak verilen ağırlık katsayıları yerleştirilir. Matris sisteminin boyutu karar için seçilen parametre sayısına göre ayarlanmaktadır.

İlişki matrisi uygulamasının temelinde, verilecek karar parametrelerinin kritik olanlarının bulunup bunların verilecek karar üzerindeki etkilerinin belirlenmeye çalışılması yatmaktadır. Matris ağırlık katsayıları ve ilişki derecesi değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 İlişki derecesi ağırlık katsayıları

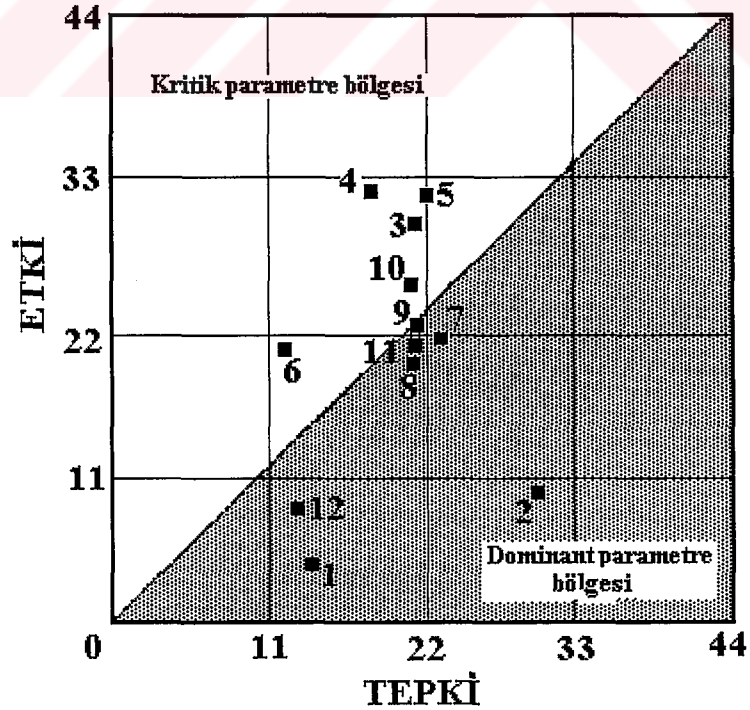
İlişki Derecesi	Ağırlık Katsayısı
yok	0.0
çok az	1.0
orta	2.0
kuvvetli	3.0
kritik	4.0

Ekipman seçimi için geliştirilen ilişki matrisinde, jeoloji, malzeme özellikleri, özel kısıtlar, maliyet, üretim kapasitesi, tamir-bakım, makine gücü ve verimi, kepçe tipi ve boyutu, motor gücü, makine ağırlığı ve işçi sayısı olarak parametreler (P1...P12) belirlenmiştir. Bundan sonra bu parametrelerin birbirleri ile olan ilişkileri Tablo 4.1’de verilen ağırlık katsayılarına göre belirlenerek matris oluşturulmuştur (Şekil 4.7).

												Tepki
P1	3	1	1	3	0	0	1	2	0	2	0	13
0	P2	4	3	4	0	3	4	3	3	3	2	29
1	0	P3	3	3	2	3	1	2	3	2	1	21
1	2	2	P4	2	3	3	1	1	2	1	1	19
0	0	2	3	P5	3	2	1	3	3	3	2	22
0	0	1	3	3	P6	1	0	2	2	1	0	13
0	0	2	4	4	2	P7	3	3	2	2	1	23
0	0	2	3	3	2	2	P8	2	3	3	0	20
2	2	2	3	2	2	3	2	P9	1	2	1	22
0	0	4	3	2	2	3	2	1	P10	2	1	20
1	3	3	1	1	2	2	3	1	4	P11	0	21
0	0	3	3	2	3	0	0	2	1	0	P12	14
5	10	26	30	29	21	22	18	22	24	21	9	Etki

Şekil 4.7 Ağırlık katsayılarına göre ekipman seçimi matrisi

Matrisin en son sütunundaki değerler toplam tepkiyi ve en son satırındaki değerler ise toplam etkiyi ifade etmektedir. Aynı zamanda, bu parametrelerin etki-tepki grafiği ile birbirleri ile olan dominant ilişkileri verilmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Etki-Tepki grafiği

Şekil 4.8'den izlendiği üzere grafik kritik ve dominant parametre bölgeleri olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Kritik parametre bölgesindeki kritiklik değeri ise sağ üst köşeye doğru artmaktadır. Dominant parametre bölgesinde ise dominantlık değeri grafiğin sağ alt köşesine doğru artmaktadır. Gökay (1994) tarafından verilen grafikte dominant parametre malzeme özellikleri ve en kritik parametre ise üretim kapasitesi olarak Şekil 4.8'de görülmektedir.



5 AÇIK İŞLETME EKİPMAN SEÇİMİ KRİTERLERİ

Bu bölümde, ekipman seçiminde kullanılan parametreler hakkında bilgi verilmiştir. Ekipman seçimini etkileyen en önemli parametre kazılabilirliktir. Kayacın kazılabilmesi için gerekli güç ve kapasiteye sahip olan kazı ekipmanının belirlenmesi ve buna bağlı olarak da nakliye elemanının seçilmesi gereklidir. Kazılabilirliğin belirlenmesi için yapılan araştırmalar Bölüm 5.1’de detaylı olarak verilmiştir.

Rezerv miktarı ve buna bağlı olarak üretim miktarı da diğer en önemli seçim kriterlerini oluşturmaktadır. Rezerv ve üretim miktarı işletmenin ömrünü belirlemekte ve böylece seçilecek olan ekipmanın kapasitesine önemli oranda etki etmektedir.

İşletme ile ilgili olan parametreler ise işyeri parametreleri başlığı altında toplanarak uzman sistem içinde değerlendirilmiş ve ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır. Bu parametreler; iklim, yeraltı suyu durumu, yükseklik, operatör yeteneği, nakliye yolu özellikleri, zemin durumu vb. parametrelerdir.

Ekipmanlarla ilgili olan boşaltma yüksekliği, çevrim süresi, servis ömrü, kazı yüksekliği parametreleri ise ekipman parametreleri başlığı altında toplanarak değerlendirilmiştir.

5.1 Kazılabilirlik ve Sınıflama Sistemleri

Kazılabilirlik, başlı başına kazıcı makinenin seçimini etkileyen bir parametre olduğu için üzerinde en fazla çalışmanın yapıldığı bir parametredir. Kazılabilirlik ile ilgili sınıflama sistemleri detaylı olarak incelenmiş ve bazıları açıklanmıştır.

Kazılabilirlik, kazı makineleri ile kayaçların bulundukları yerden ne ölçüde koparılabildiklerinin ölçüsüdür. Kazılabilirliğin sayısal olarak ifade edilmesi için bazı kazılabilirlik tespiti deneylerinin yapılması gerekmektedir.

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 sınıflama

sistemleri değillerdir. Bunun yanı sıra, kazılabilirliği tam olarak tarif edecek bir sınıflama sistemi bulunmamaktadır. Kayaçların kazılabilirliğinin belirlenebilmesi için bir veya bir kaç sınıflama sisteminin veya bu sistemi etkileyen parametrelerin bir arada incelenmesi gerekmektedir.

Ekipman seçimi için geliştirilmiş olan sınıflama sistemlerinden Paşamehmetoğlu, Müftüoğlu ve Rzhevsky sınıflama sistemleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu sınıflama sistemleri içinde benzer parametreler olmasına karşılık değişik parametreler ve bu parametrelere atanmış farklı değer aralıkları bulunmaktadır. Bu nedenle, uzman sistemde kullanılmak üzere bu çalışmalar temel alınmak üzere yeni bir kazılabilirlik sınıflama sistemi geliştirilmiştir.

Kazılabilirliğin belirlenmesi için araştırmacılar çeşitli sınıflama sistemleri geliştirmişlerdir. Bu sınıflama sistemlerinde kullanılan parametreler toplu olarak kayaç-malzeme özellikleri ve kazı makinesi özellikleri olmak üzere iki ana başlık altında aşağıda verilmiştir.

1. Kayaç ve Malzeme Özellikleri

Tek eksenli basınç dayanımı, Sismik hız, Sertlik, Ayırışma derecesi, Çatlaklar arası mesafe, Nokta yük dayanımı ve Aşınabilirlik

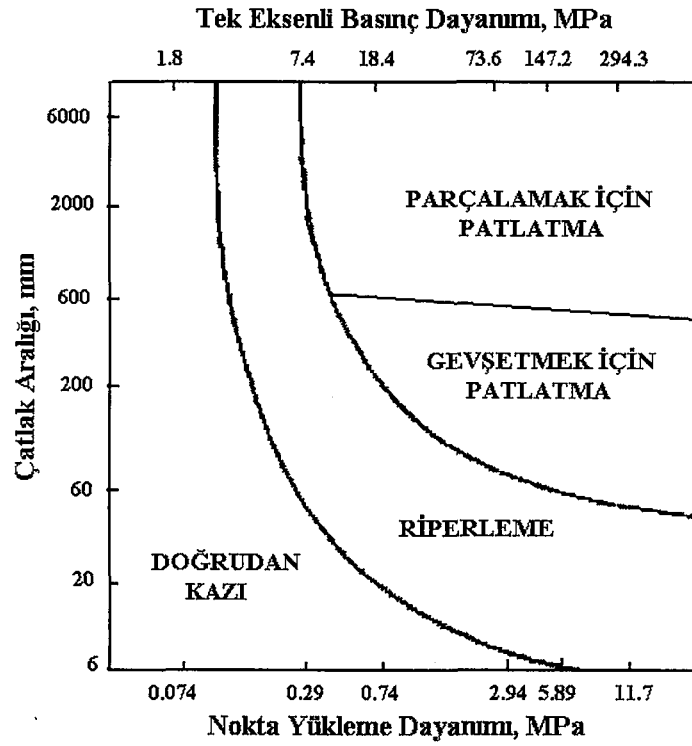
2. Kazı Makinesi Özellikleri

Kazı makinesi türü ve Kepçe kapasitesi (yada dozer gücü ve riper sayısı)

Kazılabilirliğin belirlenmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen kazılabilirlik sınıflama sistemlerinde yukarıda belirtilen parametrelerden bir veya birkaç tanesi dikkate alınmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları kısaca tanıtılmıştır.

5.1.1 Kayaç dayanımı ve çatlak sıklığına göre sınıflama sistemi

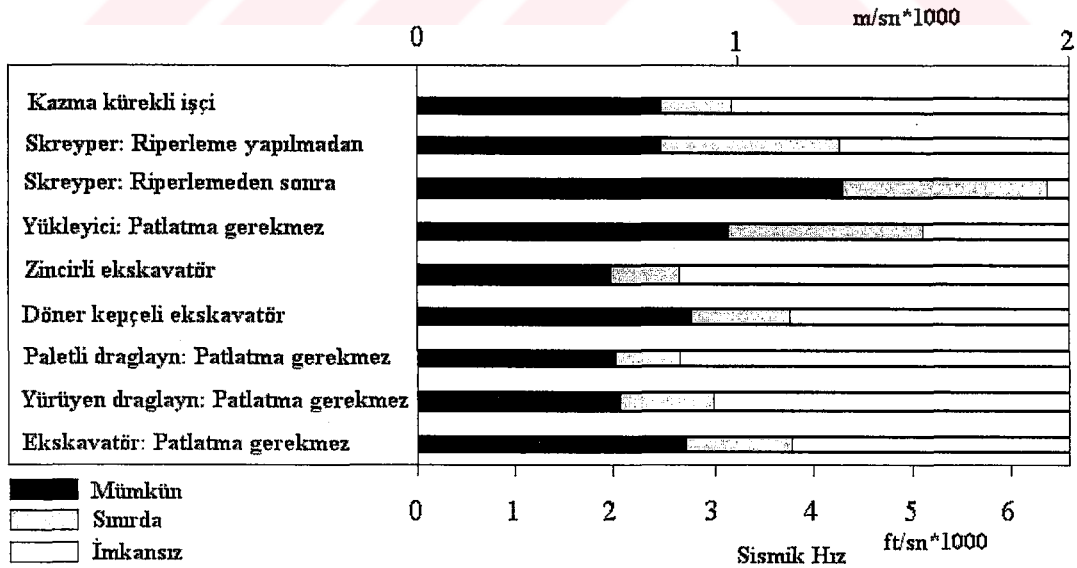
Franklin ve diğ. (1971) tarafından kayaç dayanımı, çatlak aralığı ve nokta yük dayanımına bağlı olarak kazılabilirlik tayini yapılmış ve daha sonra Bozbağ (1988) bu çalışmayı TKİ kömür açık işletmelerinde riperlenebilirlik için yeniden uyarlamıştır. Franklin tarafından; doğrudan kazı, riperleme, gevşetmek için patlatma ve parçalamak için patlatma olmak üzere 4 bölüme ayrılmış olan bir abak verilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Kaya dayanımı ve çatlak aralığına göre kazılabilirlik tayini

5.1.2 Sismik hıza göre sınıflama sistemleri

Sismik hızın tek parametre olarak ele alınarak geliştirildiği sınıflama çalışmalarıdır. Atkinson (1971) tarafından, kazı makinelerinin kazabilecekleri sınırlar sismik hızla bağlı olarak sınıflandırılmış ve Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Sismik hızla bağlı olarak kazı olasılığının belirlenmesi (Atkinson, 1971)

5.1.3 RQD değerine göre sınıflama sistemi

Bir diğer sınıflama ise kayaç kalitesine (RQD) bağlı olarak Deere (1968) tarafından yapılmış olan sınıflandırmadır. RQD değerlerine göre kaya kalitesi çok zayıf ve çok iyi arasında sınıflandırılmıştır (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 RQD değerlerine göre kayaç kalitesi sınıflaması (Deere, 1968)

RQD (%)	Kaya Kalitesi Sınıfı
>25	Çok zayıf
26-50	Zayıf
51-75	Orta
76-90	İyi
91-100	Çok iyi

5.1.4 Tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflama sistemleri

Tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak bir sınıflama ISRM (1978) tarafından verilmiştir. Tablo 5.2’de görüldüğü üzere çok yüksek dayanımdan çok düşük dayanıma doğru olmak üzere A-F arasında 6 ayrı sınıflama şeklinde verilmiştir. Çok yüksek dayanımlı kayaçlar olarak da basınç dayanımı >225 MPa olanlar tanımlanmıştır.

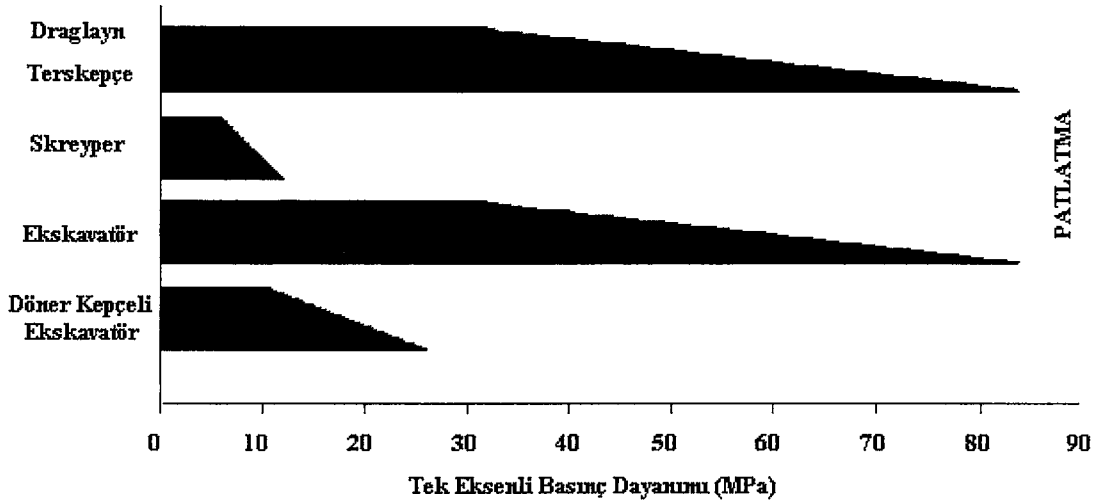
Tablo 5.2 Tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflama (ISRM)

Sınıf	Tanım	σ_c (MPa)
A	Çok yüksek dayanımlı	>225
B	Yüksek dayanımlı	101 – 225
C	Orta dayanımlı	51 – 100
D	Orta-düşük dayanımlı	26 – 50
E	Düşük dayanımlı	6 – 25
F	Çok düşük dayanımlı	1 – 5

Kolleth (1990) tarafından kazı makinelerinin tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak belirlenmesi Şekil 5.3’te verilmiştir. Bu çalışmada, kazı makinelerinin çalışma aralığı tek eksenli basınç dayanımına göre belirlenmiştir. Kolleth (1990) tarafından, draglaynlar ve ekskavatörler için çalışma aralığı basınç dayanımı yaklaşık olarak 30 MPa’a kadar olan alan içerisinde verilmektedir. Şekil 5.3’ten izlendiği üzere bu değerden sonra 85 MPa değerine kadar bir düşüş görülmektedir.

Döner kepçeli ekskavatör için 10 MPa’a kadar ve skreyperler içinse yaklaşık olarak 5 MPa’a kadar olan basınç dayanımlarında çalışabileceği verilmektedir. Döner kepçeli

ekskavatörlerin maksimum çalışabileceği basınç dayanımı ise yaklaşık 25 MPa olarak verilmektedir.



Şekil 5.3 Tek eksenli basınç dayanımına göre kazı makinelerinin uygulanabilirliği

5.1.5 Rzhevsky kazılabilirlik sınıflama sistemi

Rzhevsky'nin 1985 yılında İngilizce olarak yayınladığı kitabında (orijinali 1978 yılında Rusça olarak yayınlanmıştır) kayaçların kırılmaya karşı direnç tayini ile ilgili çalışmalar sonucunda elde ettiği formül aşağıda verilmiştir.

$$\Pi_b = 0.0005 K_j (\sigma_c + \sigma_{sh} + \sigma_t) + 0.5\rho \quad (5.1)$$

Burada;

K_j : Kayaç çatlaklılık katsayısı

σ_c : Basınç dayanımı, kg/cm^2

σ_{sh} : Kesme dayanımı, kg/cm^2

σ_t : Çekme dayanımı, kg/cm^2

ρ : Spesifik ağırlık, kg/dm^3 'tür.

Kayaçların tek eksenli dayanımları $1-4500 \text{ kg/cm}^2$, kesme dayanımları $0.1-750 \text{ kg/cm}^2$ ve çekme dayanımları $0-430 \text{ kg/cm}^2$ arasında değişirken, spesifik ağırlıkları $1.2-4.8 \text{ kg/dm}^3$ arasında değerler almaktadır.

Rzhevsky, yaklaşık 500 numune üzerinde yapılan deneylerden sonra, kayaçların kırılmaya karşı dirençlerine göre 5 ana gruba ayrılabilirliğini, bu gruplar içinde

Π_b 'nin de 1-25 arasında değerler alabileceğini ifade etmektedir. 1-25 arasında değerler alan her bir kayaç kategorisine dahil olan kayaçlar aşağıda verilmiştir.

Grup I Ayrışmış metamorfik ve mağmatik kayaçlar, sıkı ve dağılmayan yumuşak kayaçlar ($\Pi_b = 1-5$).

Kayaç kategorisi = 1,2,3,4,5.

Grup II Kolayca kırılabilen mağmatik ve metamorfik kayaçlar ($\Pi_b = 5.1-10$).

Kayaç kategorisi = 6,7,8,9,10.

Grup III Orta derecede kırılabilen mağmatik ve metamorfik kayaçlar ($\Pi_b = 10.1-15$).

Kayaç kategorisi = 11,12,13,14,15.

Grup IV Güçlükle kırılan mağmatik ve metamorfik kayaçlar ($\Pi_b = 15.1-20$).

Kayaç kategorisi = 16,17,18,19,20.

Grup V çok zor kırılan mağmatik ve metamorfik kayaçlar ($\Pi_b = 20.1-25$).

Kayaç kategorisi = 21,22,23,24,25.

Rzhevsky kayaçların kazılabilirliğini; yumuşak, kompakt ve ayrışmış kayaçlar için ve kırılmış veya patlatılmış kayaçlar için olmak üzere iki ayrı grupta incelemiş ve sınıflandırmıştır.

Patlatılmamış kayaçların kazılabilirliği:

$$\Pi_{ex} = 0.32 \lambda (0.2 \sigma_c + \sigma_{sh} + \sigma_t) + 0.3\rho \quad (5.2)$$

$$\Pi_{exm} = K_k K_{ss} \Pi_{ex} \quad (5.3)$$

Burada;

Π_{ex} : Kazılabilirlik indeksi

λ : Masif kayaçlarda yapısal gevfşeklik katsayısı

Π_{exm} : Makine seçimine esas olan kazılabilme indeksi

K_k , K_{ss} : Kazı makinesinin tipini ve standardını belirleyen katsayılardır.

Kayaçların cinsleri, basınç dayanımları ve yukarıdaki Π_{ex} formülünden elde edilen indekse göre 1-30 değerleri arasında 10 sınıfa ayrılmış ve Tablo 5.3'te detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 5.3 Kayaçların kazılabilirlik sınıflaması (Rzhevsky, 1985)

Sınıf	Kayaç Grubu	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Π _{ex}
I	Konsolide olmayan yumuşak kayaçlar Çok çatlaklı kompakt kayaçlar	15-20 50-100	3
II	Kesintisiz yumuşak kayaçlar Kompakt kayaçlar: Orta derecede çatlaklı Çok çatlaklı Birinci grubun istisnai derece çatlaklı ayrışmış kayaçları	20-50 80-120 150-200 300-400	3-6
III	Kompakt kayaçlar: Sürekli (pratik olarak monolitik) Orta derecede çatlaklı Birinci grubun az sert çok çatlaklı ayrışmış kayaçları	50-80 130-180 200-300	6-9
IV	Kompakt kayaçlar: Sürekli Az çatlaklı Birinci grubun çok çatlaklı orta sert kayaçları	70-120 100-180 300-400	9-12
V	Kompakt kayaçlar: Sürekli Az çatlaklı Birinci grubun ayrışmış kayaçları: Orta derecede çatlaklı ve sert Çok çatlaklı ve sert İstisnai şekilde çatlaklı kompakt kayaçlar	90-150 130-200 250-300 400-500 1000-1500	12-15
VI	Sürekli kompakt sert kayaçlar Birinci grubun ayrışmış orta derecede sert kayaçları Çok çatlaklı az sert kayaçlar İstisnai derecede çatlaklı kayaçlar	120-180 300-400 600-800 >1600	15-18
VII	Sürekli kompakt sert kayaçlar Birinci grubun ayrışmış yumuşak kayaçları: Az çatlaklı Orta derecede çatlaklı Çok çatlaklı orta sert kayaçlar	140-200 250-300 400-500 1000-1500	18-21
VIII	Pratik olarak monolitik çok sert kompakt kayaçlar Birinci grubun ayrışmış kayaçları: Pratik olarak monolitik az sert Az çatlaklı Çok çatlaklı oldukça sağlam kayaçlar	170-200 200-250 250-350 1600-2000	21-24
IX	Ayrışmış birinci grup kayaçlar: Pratik olarak monolitik Az çatlaklı Az çatlaklı ve az sağlam kompakt kayaçlar	200-300 300-400 500-700	24-27
X	Ayrışmış birinci grup kayaçlar: Pratik olarak monolitik Az çatlaklı Orta derecede çatlaklı nispeten düşük sertlikteki kayaçlar	240-350 350-450 700-1000	27-30

Π_{ex} formülünden yararlanarak makine seçimi için yukarıda Π_{exm} olarak tanımlanan ve Π_{ex} indeksine bağlı olarak belirlenen yeni bir indeks tanımlamıştır. Buradaki K_k katsayıları Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4 K_k katsayısına ait ortalama değerler (Rzhevsky, 1985)

Kazı Makinesi	K_k değerleri			
	3	3-5	6-10	11-15
Tekerlekli Skreyper	1.25	1.30	1.40	1.60
Dozer	1.20	1.25	1.35	1.50
Yükleyici	1.00	1.05	1.10	1.15
Halatlı Ekskavatör	1.00	1.00	1.00	1.00
Draglayn	1.05	1.10	1.15	1.25
Zincirli Ekskavatör	1.40	1.50	1.65	1.90
Döner Kepçeli Ekskavatör	1.30	1.40	1.55	1.70

Patlatılmış kayaçların kazılabilirliği:

Bu gruptaki kayaçlar pratikte en çok rastlanılanlardır. Kepçenin gevşetilmiş veya kırılmış kayaca batması ve dolu kepçenin yukarı doğru hareketinde kırılmış kayanın kohezyonu ve parçalanması önemli bir rol oynar.

Bu arada kayacın spesifik ağırlığı ve kırılmış parçaların mukavemeti de önemlidir. Kabarma katsayısı 1.4-1.5'ten 1.05'e düştüğünde kepçedeki teğetsel kuvvet 0.5-1.0 kg/cm² den 7-9 kg/cm²'ye çıkmaktadır.

Bununla beraber, spesifik ağırlık ve parça büyüklüğü arttıkça (kabarma katsayısı sabit ise) teğetsel kuvvet de orantılı olarak artmaktadır.

Kırılmış kayaçların kazılabilme indeksi (Π'_{ex}) aşağıda verilen formülle ifade edilmektedir.

$$\Pi'_{ex} = 0.022 [A + 10A / (K_1)^9] \quad (5.4)$$

$$A = \rho d_a + 0.1 \sigma_{sh} \quad (5.5)$$

Burada;

K_1 : Kabarma katsayısı

d_a : Parça büyüklüğü, cm

olarak ifade etmektedir. Burada tanımlanan kayaçlarda diğer indekste olduğu gibi 10 sınıfa ayrılmıştır (Tablo 5.5).

Rzhevsky'e göre kazılabilirlik ve çeşitli işletme parametrelerine göre ekipman cinsleri Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.5 Kırılmış kayaçların kazılabilirlik sınıflaması (Rzhevsky, 1985)

Sınıf	Parça boyutuna göre gevşeklik faktörü					Π''_{ex}
	Çok ince	İnce	Orta	Büyük	Oldukça büyük	
I	1.05-1.40	1.20-1.45	1.30-1.50	1.5-1.60	-	3
	1.1-1.15	1.25-1.30	1.35-1.40	-	-	
	1.2-1.25	1.35-1.50	1.50-1.60	-	-	
II	1.01-1.03	1.10-1.15	1.15-1.25	1.25-1.40	1.35-1.60	3-6
	1.01-1.10	1.10-1.25	1.20-1.35	1.30-1.60	1.50-1.60	
	1.10-1.20	1.20-1.40	1.25-1.60	1.35-1.60	-	
III	-	1.02-1.05	1.10-1.15	1.15-1.20	1.25-1.30	6-9
	1.01-1.03	1.05-1.15	1.10-1.20	1.20-1.30	1.30-1.50	
	1.02-1.10	1.10-1.20	1.15-1.25	1.25-1.40	1.35-1.60	
IV	-	1.01-1.02	1.03-1.05	1.10-1.15	1.2-1.25	9-12
	-	1.02-1.05	1.05-1.10	1.15-1.20	1.25-1.30	
	1.01-1.05	1.05-1.10	1.10-1.15	1.20-1.25	1.30-1.40	
V	-	-	1.01-1.03	1.05-1.10	1.10-1.20	12-15
	-	1.01-1.03	1.02-1.05	1.10-1.15	1.15-1.20	
	1.01-1.02	1.03-1.05	1.05-1.10	1.15-1.20	1.25-1.30	
VI	-	-	-	1.03-1.05	1.05-1.15	15-18
	-	-	1.01-1.03	1.05-1.12	1.15-1.20	
	1.00-1.01	1.01-1.05	1.03-1.10	1.10-1.15	1.20-1.25	
VII	-	-	-	1.02-1.03	1.03-1.08	18-21
	-	-	1.00-1.02	1.03-1.10	1.05-1.15	
	-	1.0-1.03	1.02-1.08	1.08-1.15	1.15-1.20	
VIII	-	-	-	1.01-1.02	1.02-1.05	21-24
	-	-	-	1.02-1.08	1.03-1.10	
	-	-	1.00-1.05	1.05-1.12	1.08-1.15	
IX	-	-	-	-	-	24-27
	-	-	-	1.01-1.05	1.01-1.08	
	-	-	1.01-1.02	1.02-1.08	1.05-1.12	
X	-	-	-	-	-	27-30
	-	-	-	1.01-1.02	1.01-1.03	
	-	-	-	1.01-1.05	1.02-1.10	

Tablo 5.6 Ekipmanların kazılabilirlik ve diğer parametre özellikleri (Rzhevsky, 1985)

Ekipman Cinsi	Kepçe Kapasitesi	Basamak Yüksekliği	Kazılabilirlik		Parça Boyutu	Nakliye Mesafesi	Kapasite
	(m ³)	(m)	Π_{ex}	Π''_{ex}	(m)	(m)	(m ³ /saat)
Skreyper	40	0.5	4	3	0.4	1500	500
Halatlı Eks.	153	57	12	16	4.0	123	8200
Terskepçe	4	8	7	8	0.8	15	350
Zincirli Eks.	4.5	66	9	-	0.4	190	9300
Döner Kep.Eks	6.3	75	16	-	0.5	180	10000
Draglayn	170	85	8	10	3.0	160	7600

Gevşeklik faktörü için ilk satırda verilen değer kırılmış kompakt kayalarla, ikinci satırdakiler birinci gruptaki kayaların ayrılmış kırılmış olanlarına, üçüncü satırdakiler de kırılmış kompakt kayalara aittir.

5.1.6 Müftüoğlu kazılabilirlik sınıflama sistemi

Müftüoğlu (1983) tarafından yapılan sınıflandırmada ayrışma derecesi, tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük indeksi, çatlaklar arası mesafe ve tabakalaşma kalınlığı göz önüne alınarak bir kazılabilirlik puanı verilmektedir. Bu puan toplam kazılabilirlik puanı olarak belirlenmekte ve <40 ile >100 arasında değişmektedir.

Kazılabilirlik puanına bağlı olarak kazı tanımı kolaydan gevşetilme olmaksızın pek zora doğru ifade edilmekte ve bu sınıf aralıklarındaki kazı türü ve kullanılan kazı aracı da ayrıca verilmektedir (Tablo 5.7 ve Tablo 5.8).

Tablo 5.7 Kazılabilirlik parametreleri ve puanlama sistemi (Müftüoğlu, 1983)

Sınıf	I	II	III	IV	V
Parametre					
Ayrışma Derecesi	Tümüyle	Oldukça	Orta	Hafifçe	Ayrılmamış
Puanlama (AD)	0	5	15	20	25
Tek Eksenli Basınç Day. (MPa)	<20	20-40	40-60	60-100	>100
Nokta Yük İndeksi	<0.5	0.5-1.5	1.5-2	1-3.5	>3.5
Puanlama (BDn)	0	10	15	20	25
Çatlaklar Arası Mesafe (m)	<0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	1.5-2	>2
Puanlama (Ç)	5	15	30	45	50
Katmanlaşma Kalınlığı (m)	<0.1	0.1-0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	>1.5
Puanlama (K)	0	5	10	20	30

5.1.7 Paşamehmetoğlu kazılabilirlik sınıflaması

Paşamehmetoğlu ve diğ. (1988) tarafından benzer şekilde basınç dayanımı, nokta yük indeksi, ortalama çatlak aralığı, sismik hız, ayrışma durumu ve sertlik parametreleri göz önüne alınarak bir puanlama sistemi oluşturulmuş ve elde edilen kazılabilirlik puanına bağlı olarak kazı türü ve ekipman cinsi sınıflandırılmıştır (Tablo 5.9).

Nokta yük aleti, kolayca taşınabilmekte ve yerinde kayaç örnekleri üzerinde deney yapma imkanı sağlamaktadır. Nokta yük indeksi değerinden basınç dayanımına geçmek mümkün olabilmektedir. Tablo 5.9'da basınç dayanımı ve nokta yük indeksi değerleri bir arada verilmiştir.

Sertlik değeri olarak ise shore sertlik değeri kullanılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı, eklem aralığı, sismik hız, ayrışma durumu ve sertlik bilgileri, Tablo 5.9’da verilen değer aralıkları içerisinde kullanıcıdan sorularak hesaplanmaktadır. Buna göre elde edilecek olan kazılabilirlik puanına bağlı olarak kazıcı ekipman seçimi Tablo 5.10’a göre yapılmaktadır.

Tablo 5.8 Kazılabilirlik sınıflaması (Müftüoğlu, 1983)

Sınıf	Kazı Tanımı	Toplam Kazılabilirlik (AD+BDn+Ç+K)	Kazı Türü	Kazı Aracı
1	Çok kolay	<40	Riperleme	Riper / Skreyper Cat D8 Riperi
			Draglayn ile kazı	Draglayn >5 m ³ Lima 4000
			Ekskavatör ile kazı	Halatlı Ekskavatör >3 m ³ Ruston Bucyrus 71 RB
2	Kolay	40-50	Riperleme	Riper Skreyper Cat D9 Riperi
			Draglayn ile kazı	Draglayn >8 m ³ Marion 195
			Ekskavatör ile kazı	Halatlı Ekskavatör >3 m ³ Ruston Bucyrus 150 RB
3	Biraz zor	50-60	Riperleme	Riper - Eks./Ek.Kol.Kep. Cat D9 Riperi
			Ekskavatör ile kazı	Hidrolik Ekskavatör >3 m ³ Cat 245
4	Zor	60-70	Riperleme	Riper- Eks./Ek.Kol.Kep. Cat D10 Riperi
			Ekskavatör ile kazı	Hidrolik Ekskavatör >3 m ³ Cat 245 O&K RH40
5	Çok zor	70-95	Ekskavatör ile kazı	Hidrolik Ekskavatör >3 m ³
6	Çok zor	95-100	Ekskavatör ile kazı	Hidrolik ekskavatör >7 m ³ Demag H111 Poclain 1000CK P&H 1200 O&K RH40
7	Gevşetilme olmaksızın pek zor	>100	Ekskavatör ile kazı	Hidrolik Ekskavatör>10 m ³ Demag H185/H241 O&K RH300

Tablo 5.9 Kazılabilirlik parametreleri ve puanlama sistemi (Paşamehmetoğlu, 1988)

Kazı Sınıfı Parametreler	1	2	3	4	5
σ_c , MPa ($I_{s(50)}$)	<5 (0.2)	5-20 (0.2-0.8)	20-40 (0.8-1.6)	40-110 (1.6-4.4)	>110 (4.4)
Puan	2	5	10	20	25
Ort. Eklem Aralığı, cm	<30	30-60	60-120	120-200	>200
Puan	5	10	15	20	25
Sismik Hız, m/sn	<1600	1600-2000	2000-2500	2500-3000	>3000
Puan	5	10	15	20	25
Ayrışma Durumu	Tamamen	İleri derecede	Orta derecede	Taze-az	Ayrış- mamış
Puan	0	3	6	10	-
Sertlik, (SHV)	<20	20-30	30-45	45-55	>55
Puan	3	5	8	12	15

Tablo 5.9 ile ilgili olarak;

Tablo, tabakalanma +2 eklem takımının varlığı için önerilmiştir.

Tabakalanma +1 eklem takımı varsa +5

Tabakalanmadan başka eklem takımı yoksa +10

Süreksizlik belirgin değilse +15 puan ilave edilmelidir.

Taze birimlerin içinde yer yer makaslanma zonları bulunabileceği ihtimali ve az ayrılmış sınıfta fazla dayanım kaybı olamayacağı nedenleriyle taze ve az ayrılmış birimler birlikte değerlendirilmişlerdir.

Tablo 5.10 Kazılabilirlik sınıflandırması (Paşamehmetoğlu, 1988)

Kazı Sınıfı	Kazı Tanımı	Kazılabilirlik Puanı	Kazı Türü ve Aracı			Patlatılacaksa	
			Elektrikli Ekskavatör	Hidrolik Ekskavatör	Riperlenebilme	Ort. Delme Hızı (m/dak)	Özgül Şarj (gr/m³)
1	Kolay	0-25	Doğrudan Kazabilir	Doğrudan Kazabilir	D7 Dozer Riperleyebilir	-	-
2	Orta	25-45	Patlatma Gerekli	Doğrudan Kazabilir	D8 Marjinal veya D9 Dozeri	1.48	130-200
3	Orta zor	45-65	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	D9 Marjinal veya D11	1.28	200-280
4	Zor	65-85	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	Patlatma gerekli D11 verimsiz	0.57	280-350
5	Çok zor	85-100	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	<0.42	>350

5.1.8 Özgöl kazı enerjisine göre kazılabilirlik sınıflaması

Özgöl kazı enerjisi, birim hacimdeki kayacı kazmak için harcanan enerjidir. Ceylanoğlu (1994), özgöl kazı enerjisine bağlı olarak kazı kolaylığını kolay, orta, orta-zor ve zor olmak üzere 4 gruba ayırarak sınıflamıştır (Tablo 5.11). Tablo 5.11'de 10-25 yd³ arasındaki kepçe kapasitelerine karşılık gelen özgöl kazı enerjileri verilmiştir.

Tablo 5.11 Özgöl kazı enerjisine göre kazılabilirlik sınıflaması (Ceylanoğlu, 1994)

Kepçe Kapasitesi (yd ³)	Özgöl Kazı Enerjisi (kWh/m ³)			
	Kazı Kolaylığı			
	Kolay	Orta	Orta-zor	Zor
10	0.235	0.236 - 0.300	0.301 - 0.390	0.391
15	0.210	0.211 - 0.275	0.276 - 0.345	0.346
20	0.185	0.186 - 0.250	0.251 - 0.315	0.316
25	0.155	0.156 - 0.220	0.221 - 0.290	0.291

5.1.9 Uzman sistem kazılabilirlik sınıflaması

Kazılabilirlik ve ripirlenebilirlik için çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan sınıflama sistemlerinde genellikle aynı parametreler kullanılmasına karşılık bu parametrelere farklı değerler teklif edilmektedir.

Gerek ripirlenebilirlik, gerekse kazılabilirlik için kullanılan sınıflama sistemlerinde en önemli parametreler; tek eksenli basınç dayanımı, ayrışma durumu ve çatlaklar arası mesafedir. Sismik hız, kazılabilirlik için belirleyici faktörlerden birisi olmasına rağmen; yeraltı suyu, alınan karot örneklerinin yeri ve yönleri gibi etmenler sismik hızın da diğer parametreler ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kayaç kütle kalitesinin belirlenmesi için yapılmış olan çeşitli sınıflama sistemleri bulunmaktadır. Fakat bunların hiçbiri kazılabilirliğin belirlenmesinde veya ekipman seçiminde tek başına bir seçim parametresi olarak kullanılamaz. Bu nedenle bir çok parametrenin bir arada değerlendirildiği sınıflama sistemleri çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmalardan Rzhevsky, Müftüoğlu ve Paşamehmetoğlu kazılabilirlik sınıflama sistemleri Bölüm 5.1.1'de geniş olarak verilmiştir. Rzhevsky, Müftüoğlu ve Paşamehmetoğlu Kazılabilirlik Sınıflama Sistemleri ışığı altında, bu üç çalışmada kullanılan bazı parametreler uzman sistem

geliştirilmesinde kullanılmıştır. Kazılabilirlik puanlarına göre yapılan kazılabilirlik sınıflaması ise Kolay, Orta, Orta-Zor, Zor ve Çok Zor olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Tek eksenli basınç dayanımı kolay kazı ve çok çatlaklı kaya için Paşamehmetoğlu tarafından <5 MPa ve Müftüoğlu tarafından <20 MPa olarak verilmiştir. Tablo 5.3'te verildiği üzere Rzhevsky'de çok çatlaklı kaya için 20 MPa'dan daha düşük değerleri vermiştir. Orta ve çok sert kayalar için, her üç araştırmacı tarafından verilen değerler üst üste örtüşmektedir.

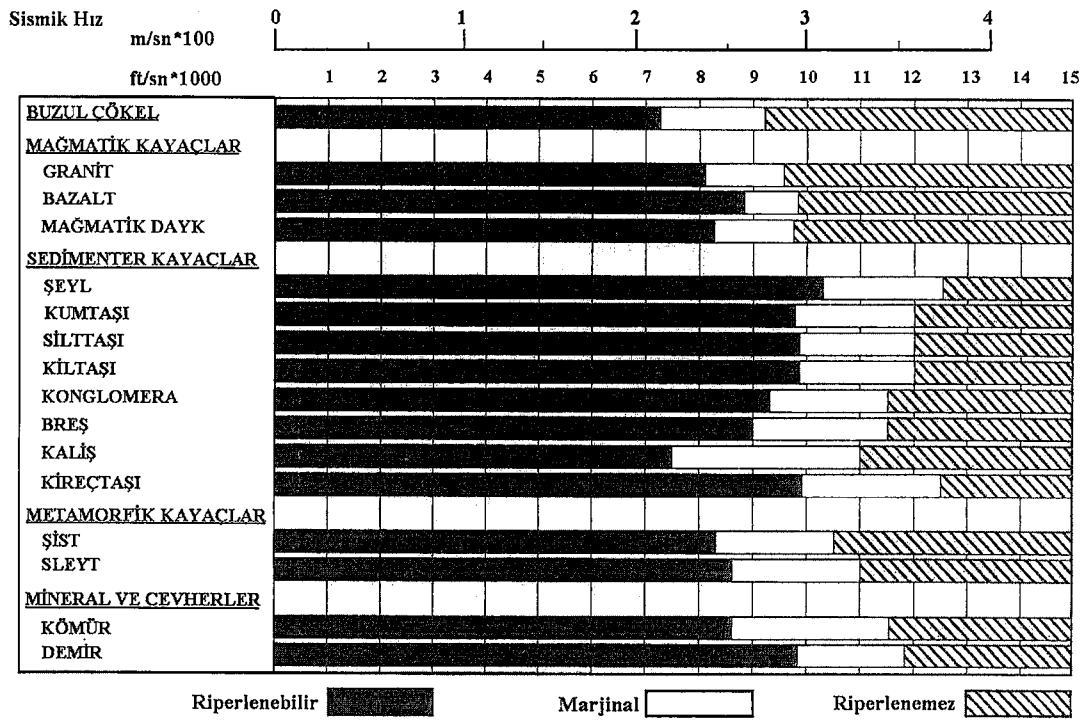
Ayrışma durumu her üç araştırmacı tarafından da tamamen, ileri derecede, orta derecede, az ve ayrılmamış olmak üzere aynı şekilde sınıflandırılmıştır.

Sismik hız Weaver (1975) ve Singh ve ark. (1986) tarafından verilen riperebilirlik sınıflama sistemlerinde de kullanılmış ve Paşamehmetoğlu (1988) tarafından da sınıflamasına dahil edilmiştir. Çeşitli ekipman üretici firma katalogları incelenmiş ve sismik hıza bağlı olarak verilen dozer ripereleme performanslarındaki değerler belirlenmiştir. Üretici firmaların makineleri için geliştirdiği performans ve sismik hız tablolarından, hangi sismik hızlarda hangi kayaların kazılabildiği belirlenmiştir. Sismik hız, bu belirlenen değerlere göre sınıflama sistemine dahil edilmiştir.

Şekil 5.4'te 850 HP gücündeki Caterpillar D11R ripetine ait riper performans tablosu verilmiştir. Bu tablolar riperler için sismik hızın büyüklüğüne göre kazılabilecek kayalar hakkında fikir vermektedir. Riperebilirliğin belirlenmesinde ise riperli dozerlerin sismik hız tabloları, makine gücü göz önüne alınmıştır.

Şekil 5.4'ten izlendiği üzere ülkemizdeki örtü tabakasında sıkça karşılaşılan kil, silt, kireçtaşı, konglomera gibi formasyonların kazılabilirlik sınırlarının yükseldiği, eski ve yeni model dozerlerin kazabildikleri formasyonlardaki sismik hız değişimlerinin model ve makine gücüne bağlı olarak artış göstermesinden de anlaşılmaktadır.

Göktan (1988) tarafından, Garp Linyitleri İşletmesi Tunçbilek bölgesinde çeşitli ocaklarda yapılan riperebilirlik çalışmaları sırasında farklı kayaç cinsleri için yapılmış olan çeşitli basınç dayanımı ve sismik hız analizlerinden bazıları Tablo 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.4 Sismik hıza göre Caterpillar D11R Riper performansı

Tablo 5.12 GLİ Tunçbilek Bölgesi kayaçlarının basınç dayanımı ve sismik hız değerleri

Kayaç Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Sismik Hız (m/sn)
Marn-kil	37.57	1844.3
Marn	50.26	1935.7
Marnlı kalker	122.74	4080.4
Marn-kalker	53.13	2482.8
Marnlı kil	32.59	1867.9

Çatlak aralığı, Rzhevsky tarafından kazılabilirlik sınıflandırmalarında ve diğer çalışmalarında jeolojik yapı ve mekanik büyüklüklere bağlı olarak detaylı olarak verilmiştir. Bu yüzden, sınıflama sisteminde bu değerler kullanılmıştır. Çatlaklar arası mesafe ve çatlak sınıfı ilişkisi Tablo 5.13'te verilmiştir.

Rzhevsky tarafından, 10 cm'den küçük çatlak aralıklarının bulunduğu ortam çok çatlaklı kayaç ortamı olarak verilmektedir. Çatlaklar arası mesafe eğer >150 cm ise bu ortamlarda neredeyse kompakt kayaç olarak verilmektedir. Bu sınırlar arasında kalan çatlaklı kayaçları ise ileri derecede, orta derecede ve az çatlaklı olarak sınıflamıştır.

Rzhevsky, yapmış olduğu çatlaklar arası mesafe sınıflamasını, kayaç cins ve özelliklerine, ayrışma durumuna göre olmak üzere çeşitli çalışmalarla detaylı olarak

vermiştir. Bu nedenle, sistemde kullanılacak kazılabilirlik sınıflamasındaki çatlaklar arası mesafe tespitinde Rzhevsky'nin çatlaklar arası mesafe sınıflamasını kullanmak tercih edilmiştir.

Tablo 5.13 Çatlaklar arası mesafe-çatlak sınıfı ilişkisi (Rzhevsky, 1985)

Kayaç Çatlak Sınıfı	Çatlaklar Arası Mesafe (cm)	Kayaç Çatlaklılık Katsayısı, K_f
Çok çatlaklı	<10	0.10 - 0.20
İleri derecede çatlaklı	10-20	0.30 - 0.40
	20-50	0.50 - 0.60
Orta derecede çatlaklı	50-70	0.65 - 0.75
	70-100	0.75 - 0.85
Az çatlaklı	100-120	0.85 - 0.90
	120-150	0.90 - 0.95
Pratik olarak monolitik	>150	0.95 - 1.00

Müftüoğlu'nun çalışmasındaki parametrelerden birisi olan tabakalaşma kalınlığı ise değiştirilmeden alınmıştır.

Uzman sistemde kullanılmak üzere; tek eksenli basınç dayanımı, ayrışma durumu, sismik hız, çatlak aralığı ve tabakalaşma kalınlığı parametrelerine bağlı olarak ekipman seçimi için geliştirilen kazılabilirlik puan sıralaması ve sınıflaması sırasıyla Tablo 5.14 ve Tablo 5.15'te verilmiştir.

5.2 Üretim Kriterleri

Üretim kriterleri, işletmede gerçekleştirilecek olan 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. Bu değerler, uzman sistem tarafından ekipman seçimi sırasında kullanıcıdan istenmektedir.

Üretim Miktarı :

Bir sahadaki rezerv miktarı ve buna bağlı olarak açık işletme planlaması sonucu üretilmesi planlanan yıllık üretim miktarı ekipman seçimindeki diğer önemli

parametrelerden biridir. İşletmede kullanılacak olan ekipmanların kapasitesi, planlanan yıllık iş programlarını karşılayacak şekilde seçilmelidir. Ülkemizdeki kömür açık işletmelerinde yıllık üretim miktarları 1 000 000 ton/yıl ile 10 000 000 ton/yıl arasında değişmektedir.

Tablo 5.14 Uzman sistem geliştirilmesinde kullanılacak kazılabilirlik puan sistemi

Kazı Sınıfı Parametreler	1	2	3	4	5
σ_c , (MPa) Puan	<20 0	20-40 10	40-60 15	60-100 20	>100 25
Ayrışma Durumu Puan	Tamamen 0	İleri derecede 5	Orta derecede 10	Az ayrışmış 15	Ayrışmamış 20
Sismik Hız,(m/sn) Puan	<1750 5	1750-2000 12	2000-2500 20	2500-3200 28	>3200 30
Çatlak Aralığı, (m) Puan	<0.1 5	0.1-0.5 10	0.5-1 15	1-1.5 20	>1.5 25
Tabakalaşma Kalınlığı (m) Puan	<0.1 0	0.1-0.3 5	0.3-0.6 10	0.6-1.5 20	>1.5 30

Tablo 5.15 Kazılabilirlik sınıflaması

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

Dekapaj Oranı :

Yıllık üretim miktarını sağlamak için yapılacak olan dekapaj kazısı ise artan dekapaj oranlarına bağlı olarak çok büyük miktarlara ulaşabilmektedir. Aynı şekilde,

ülkemizdeki kömür açık işletmelerinde yapılan yıllık dekapaj miktarı 1 000 000 m³/yıl ile 80 000 000 m³/yıl gibi değerlere ulaşabilmektedir. Dekapaj kazısında kullanılan ekipmanların kapasitesinin belirlenmesinde yapılacak olan bir hata ile uygun olmayan bir kazıcı ekipmanın seçiminin, üretimde çok büyük aksamalara ve verimsiz bir çalışmaya yol açacağı açıktır.

İşletme Ömrü :

İşletme ömrü, sahadaki rezervin yapılan üretim ile ne kadar sürede tüketileceğinin ifadesidir. İşletme ömrü ile seçilen ekipman ömrü arasında bir uyum bulunması gerekmektedir. Kullanılan ekipmanın daha amortisman süresini tamamlamadan sahadaki rezervin tükenmesi uygun bir ekipman seçimi yapılmadığının göstergesidir. Günümüzde kullanılan büyük kapasiteli ekskavatörlerin ortalama ömürleri 25 yıldır (50 000 - 60 000 saat). 10 yd³'den daha düşük kapasiteye sahip olan ekskavatörler içinse bu değer ortalama olarak 10 yıla (15 000 - 20 000 saat) düşmektedir (Caterpillar Performance Handbook, 1999).

5.3 İşyeri Kriterleri

İşyeri kriterleri; basamak yüksekliği, basamak genişliği, çalışma süresi, iklim koşulları, yeraltı suyu geliri, nakliye mesafesi, nakliye yolu zemini durumu, operatör verimi, işletme randımanı parametrelerini içermektedir. Bu parametreler aşağıda açıklanarak verilmiştir.

Basamak Yüksekliği:

Ekskavatör kapasitesine bağlı olarak kazabileceği maksimum basamak yüksekliği değişmektedir. Basamak yüksekliği ile ekskavatörün maksimum kazı yüksekliğinin uyumlu olması gereklidir. Aydın ve diğ. (1988) tarafından ekskavatör kepçe hacmi ve basamak yüksekliği ilişkisi genelleştirilmiş olarak verilmiştir (Tablo 5.16).

Tablo 5.16 Ekskavatör kepçe hacmi-basamak yüksekliği ilişkisi (Aydın ve diğ, 1988)

Kepçe Hacmi (m³)	Basamak Yüksekliği (m)
≤ 5.0	9
5.1 – 8.0	12
8.1 – 20	14
20.1 – 30	16
>30	18

Ekskavatör kataloglarından elde edilen verilere bağlı olarak kepçe hacmi ve basamak yüksekliği ilişkisi Tablo 5.17’de verilmiştir.

Tablo 5.17 Ekskavatör kepçe hacmi - basamak yüksekliği ilişkisi

Kepçe Hacmi (yd³)	Basamak Yüksekliği (m)
<10	<12
11 – 20	>12
21 – 30	>12
31 – 40	>14
41 - 50	>16
>51	>18

Basamak Genişliği:

Basamak genişliği, minimum iki kamyonun yan yana rahatlıkla gidebileceği genişlikte olmalıdır. Kamyon nakliyatı sırasında yolun sağında, solunda ve kamyonlar arasında bir güvenlik mesafesinin bırakılması gerekmektedir. Bu güvenlik mesafesi kamyon genişliğinin yarısıdır. En düşük genişlik olarak seçilen bu mesafe kamyon genişliğinin yaklaşık olarak 3.5 katı olmalıdır.

Çalışma Süresi:

İşletmedeki çalışma süresi, yıllık çalışma günü ve günlük çalışma saati olarak kullanıcıdan istenmektedir. Uzman sistem tarafından ilk değer olarak 200 gün/yıl ve 12 saat/gün değerleri kabul edilmektedir. Bu değerler kullanıcıya sorularak kabul etmesi veya değiştirmesi istenmektedir.

İklim Koşulları:

İklim parametreleri olarak yağmur durumu ve sis durumu önemli olmaktadır. Bölgenin yağış durumuna bağlı olarak çalışma yerinin zemin durumu etkilenmektedir. Özellikle yeraltı suyu geliri varsa, yağmur ile birlikte kazı yerlerindeki çalışma şartları çok zorlaşmakta ve zemine batma gibi istenmeyen durumlar görülebilmektedir.

Uzman sistemde yağış durumu; kurak, az yağmurlu ve çok yağmurlu olmak üzere 3 kısımda incelenmektedir. Yeraltı suyu geliri ise var veya yok olmak üzere 2 kısımda incelenmektedir. Bu iki parametre zemin durumunun belirlenmesi için kullanılmaktadır.

Sıcaklık ve işletmenin bulunduğu kot (yükseklik) gibi parametreler ise uzman sistem geliştirilmesinde kullanılmamışlardır. Özellikle dizel tahrikli makineler 15°'nin üstündeki her 10°'lik ısı artışında % 1 motor gücü kaybına uğramaktadırlar. Bu yüzden sıcaklığın fazla olduğu bölgelerde bu ekipmanlar elektrik tahrikli ekipmanlara kıyasla daha dezavantajlıdır. Bununla beraber, soğuk iklimlerde sıfırın altındaki sıcaklıklarda da dizel tahrikli makineler genellikle ilk çalışma sırasında zorluklarla karşılaşmaktadırlar. % 2-3 arasındaki bir motor gücü kaybı, ekipman satın alınması sırasında motor aksamındaki gerekli düzenlemeler ile giderilebileceği için bu çalışmada kullanılmamıştır.

Yükseklik arttıkça, oluşan basınç farklarına bağlı olarak ekipmanların motor güçlerinde kayba sebep olmaktadır. Bunun için geliştirilmiş olan tablolar bulunmakta ve yüksekliğe bağlı olarak ekipmanın motor gücünden yararlanma oranı verilmektedir. Çeşitli firmalar tarafından, yükseklik için verilen tablolar incelenmiş ve yükseklik değerlerinin aşağıda verildiği gibi sınıflandırıldığı görülmüştür (Caterpillar Performance Handbook).

- 0-760 m (0-2500 ft)
- 760-1500 m (2500-5000 ft)
- 1500-2300 m (5000-7500 ft)
- 2300-3000 m (7500-10 000 ft)
- 3000-3800 m (10 000-12 500 ft)
- 3800-4600 m (12 500-15 000 ft)

Kamyonlar için sadece 3000 m yükseklikten sonra ortalama % 85'lik yararlanma olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde ekskavatörler için de 3 000 m'den sonra ortalama olarak % 90'lık bir yararlanma olduğu belirlenmiştir. Her iki tür ekipman için 3 000 metrenin altında motor gücünden % 100 yararlanma sağlanmaktadır.

Yeraltı Suyu Geliri:

Yeraltı suyu, çalışma yerindeki zemin durumunun belirlenmesi için yağmur durumu ile birlikte kullanılmıştır.

Nakliye Mesafesi :

Nakliye mesafesi, üretim miktarını etkileyen önemli parametrelerden birisidir. İşletmenin topografik koşullarına bağlı olarak nakliye mesafesi değişmektedir.

Ayrıca, işletmede iç döküm imkanının olmadığı durumlarda kamyonların işletme dışındaki pasa sahasına gidiş dönüş sırasında yolda geçirdiği süre artmaktadır. Bunun için nakliye yolu belirlenirken işletmenin geneli için ortalama bir nakliye mesafesi tespit edilmeli ve bu değer kullanılmalıdır.

Nakliye mesafesi için, ekipman üretici firma kataloglarında verilen değerlere uygun olan 4 sınıf aralığı belirlenmiş ve aşağıda verilmiştir.

- < 100 m
- 100 – 200 m
- 200 – 2 000 m
- > 2 000 m

Kamyonlar için 100 m'den 6 000 m'ye kadar olan tek yön gidiş nakliye mesafesi için ekonomik olmaktadır. Belden kırmalı kamyonlar ise 2 000 m'ye kadar olan mesafeler için ekonomik olmaktadır. 100 m'den daha düşük mesafeler için yükleyici veya skreyper kullanılmaktadır (Morgan, 1994; Caterpillar Performance Handbook).

Nakliye Yolu Zemini Durumu:

Nakliye yolunun durumunu etkileyen bir çok parametre bulunmaktadır. Bunlar, yol zemininin sertliği, eğimi, genişliği vb. parametrelerdir. Bunlar içinden en önemli parametre yolun sertliği olmaktadır. Greyder tarafından sertlik dışındaki diğer parametrelerin iyileştirilmesi veya değiştirilmesi mümkün olmaktadır. Sertliğin sağlanması içinse yol zeminin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Yol sertliğinin belirlenmesi için 3 sınıf tanımlanmış ve aşağıda verilmiştir.

- Yumuşak, çamurlu, gevşek
- Sert fakat taşlı,
- Sert

Bu sınıflamalar arasında normal ve sert zeminlerde lastik tekerlekli ekipmanlar (kamyon, yükleyici) kullanılabilmektedirler. Taşlı ve yumuşak zeminlerde ise paletli ekipmanlar veya zincir geçirilmiş lastik tekerlekli yükleyicilerin kullanılması daha uygundur.

Operatör Verimi:

Operatör veriminde hiçbir zaman % 100 değerine ulaşamayacağı için % 90'lık bir verim değeri kabul edilmiştir.

5.4 Malzeme Kriterleri

Malzeme özelliklerine bağlı olarak kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir.

Sismik Hız:

Kazılabilirliğin belirlenmesinde kullanılan sismik hız değerleri belirlenmemiş olabilir. Sismik hız değeri kullanıcı tarafından verilemez ise uzman sistem tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle sismik hızın belirlenmesinde Obert ve Duval (1967) tarafından verilen sismik hız formülü kullanılmıştır (Nasuf ve diğ, 1995).

$$\text{Sismik Hız} = \sqrt{\frac{DE * (1 - \nu) * 10^6}{(1 - \nu - 2\nu^2) \left(\frac{1000 * Y_{og}}{9.81} \right)}} \quad (5.6)$$

Burada;

Yog : Yoğunluk (t/m³)

DE : Dinamik elastisite modülü (MPa)

ν : Poisson oranı olarak verilmiştir.

Sismik hızın formülle belirlenmesinde kullanılan Dinamik elastisite modülü, tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

$$E = 263.4 * \sigma_c \quad (5.7)$$

$$DE = 1.046563 * E \quad (5.8)$$

Burada;

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

E : Elastisite modülü (MPa)

olarak verilmiştir. Sismik hız değeri kullanıcı tarafından girilemez ise uzman sistem tarafından elastisite modülü ve Poisson oranı değerleri istenilerek sismik hız hesaplanmaktadır.

Kabarma Faktörü:

Kabarma faktörü değeri kullanıcıdan istenmektedir. Kabarma faktörü değeri ekskavatör kepçe hacminin ve kamyonların boş kasa hacminin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Kepçe Dolma Faktörü:

Kepçe dolma faktörü malzeme cinsine ve özelliğine bağlı olarak tanımlanmış ve Tablo 5.18’de verilmiştir.

Tablo 5.18 Kepçe dolma faktörü değerleri

Malzeme	Kepçe Dolma Faktörü
Toprakla karışık kayaç	1.00
Sert, kuru kil	1.00
Yerinde kumtaşı vb.	0.70
İyi patlatılmış kayaç	0.85
Kötü patlatılmış kayaç	0.65

5.5 Ekipman Kriterleri

Ekipman kriterleri olarak; ekipmanın zemine uyguladığı basınç, boşaltma yüksekliği, kepçe periyodu, kamyon kasa hacmi aşağıda kısaca açıklanarak verilmiştir.

Ekipmanın Zemine Uyguladığı Basınç :

Kazı yerindeki bir diğer önemli parametre zeminin taşıma gücüdür. Kazı yerindeki zemin koşullarının bozuk olması, özellikle zeminin taşıma gücünün ekskavatörün zemine yaptığı basınçtan daha az olması ekskavatörün kazı yaparken zemine batma gibi stabilite problemlerine ve makine üzerinde mekanik zorlanmalara sebep olacaktır. Ekskavatörlerin zemine uyguladıkları basınçlar, çeşitli markalardaki ekskavatörler için makine ağırlığı ve standart palet kullanıldığındaki zemine basma alanları göz önüne alınarak hesaplanmış ve Tablo 5.19’da örnek olarak verilmiştir.

Boşaltma Yüksekliği:

Ekskavatör boşaltma yüksekliği ile kamyon kasa yüksekliğinin birbirleri ile uyumlu olması gerekmektedir. Değişik kamyonların boyutları ve kasa yükseklikleri

incelenmiş ve her bir kamyon tonajına göre ortalama ekskavatör boşaltma yükseklikleri belirlenmiştir (Tablo 5.20). Ekskavatör boşaltma yüksekliğinin bu mesafelerden fazla olması gerekmektedir.

Farklı ekskavatör türlerine ait boşaltma yükseklikleri Tablo A1’de verilen ekskavatör veritabanında bulunmaktadır.

Tablo 5.19 Ekskavatörlerin zemine uyguladığı basınç değerleri

Marka	Model	Ekskavatör Ağırlığı (ton)	Zemine Uygulanan Basınç, (MPa)
Terex O&K	RH 400	900	0.32
Terex O&K	RH 200	480	0.23
Terex O&K	RH 170	360	0.22
Terex O&K	RH 120-E	265	0.20
Terex O&K	RH 90C	163	0.16
Terex O&K	RH 40E	100	0.13
Terex O&K	RH 30-F	90	0.11
Liebherr	R 954	52	0.07
Liebherr	R 964	68	0.11
Liebherr	R 974 B	85	0.10
Liebherr	R 984 C	118	0.17
Liebherr	R 994	214	0.20
Liebherr	R 995	411	0.23
Liebherr	R 996	648	0.27
Caterpillar	5230	319	0.22
Caterpillar	5230 ME	317	0.20
Caterpillar	5130B	181	0.17
Caterpillar	5130B ME	182	0.22
Caterpillar	5080	84	0.11
Caterpillar	375	79	0.10
Komatsu	H135S	140	0.21
Komatsu	H255S	240	0.22
Komatsu	H285S	335	0.19
Komatsu	H455S	490	0.22
Komatsu	H485S	685	0.23
Komatsu	H655S	685	0.25
Komatsu	H135S	140	0.21
Komatsu	H255S	240	0.22
Komatsu	H285S	335	0.19
Komatsu	H455S	490	0.22
Komatsu	H485S	640	0.23
Komatsu	H655S	685	0.25

Tablo 5.20 Kamyon tonajına bağlı olarak ekskavatör boşaltma yükseklikleri

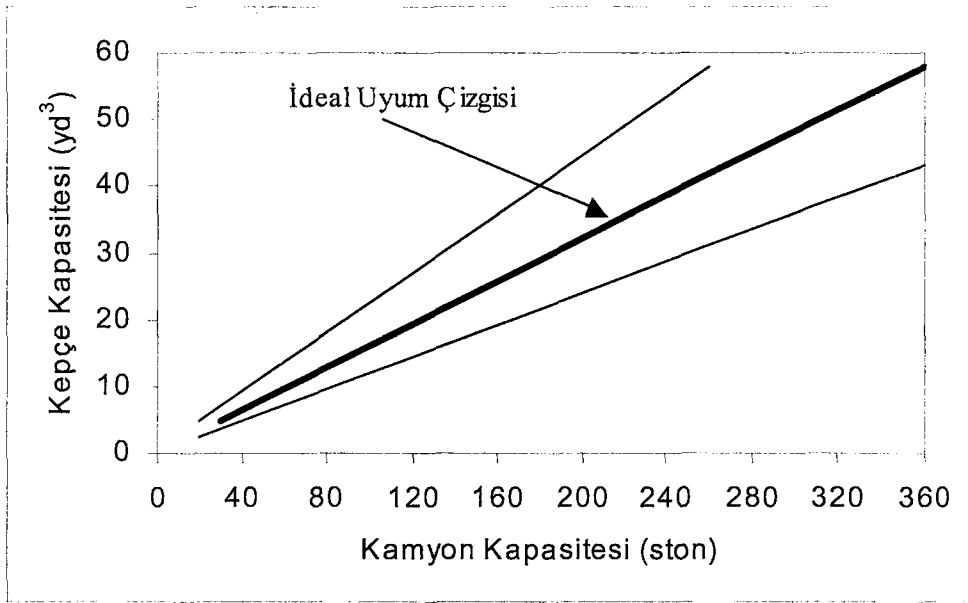
Kamyon Tonajı (ston)	Ekskavatör Boşaltma Yüksekliği (m)
35	3.9
40	4.0
50	4.1
85	4.3
100	4.3
120	5.1
190	5.6
200	5.6
240	6.1
255	6.7
320 - 360	7.0

Kamyon Kasa Hacmi:

Ekskavatör kepçe kapasitesi ile kamyon kapasitesi arasında bir ilişki bulunmakta ve bu ilişki bir diyagram ile verilmektedir (Parlak, 1993). Literatürde, 30 yd³ kepçe hacmi ve 170 ston'luk kamyonlar için verilen diyagram, kepçe hacmi 59 yd³'e kadar olan ekskavatörler ve 360 ston'a kadar olan kamyonlar da eklenerek yeniden düzenlenmiştir. Daha büyük kapasiteli ekskavatör ve kamyonlarında eklenmesiyle geliştirilmiş olan diyagram Şekil 5.5'te verilmiştir.

Şekil 5.5'te 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 çözüm olmaktadır.

25-360 ston arasındaki kamyonlar ile farklı kapasitelerdeki ekskavatörler değerlendirilmiş ve 4-6 kepçede dolan kamyonlar için taralı olarak gösterilen bir kullanılabilirlik alanı oluşturulmuştur. Kapasitesi belirlenen ekskavatör için seçilecek kamyonun bu kullanılabilirlik alanı içerisinde bulunması gerekmektedir. Bununla birlikte, kamyon kasaları Tablo 5.21'de verilen kepçe periyotlarında hiçbir zaman tam olarak dolmamakta ve boşluklar oluşmaktadır. Böylece aynı çevrimde daha az malzeme kazılmaktadır. Bunun için kamyonların aynı kepçe periyodunda kasalarında boş kalan hacimleri incelenmiş ve aynı tablo boş kalan kasa hacimleri m³ cinsinden oluşturulmuş ve Tablo 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Ekskavatör Kepçesi – Kamyon Kapasitesi İlişkisi

Tablo 5.22’den de görüldüğü üzere kamyonlar aynı kullanılabilirlik alanı içinde kalmasına karşılık çok büyük hacim kayıpları oluşabilmektedir. Bu da, aynı çevrim içerisinde daha az malzeme yüklenmesi ve nakledilmesi anlamına gelmektedir. Tablolar oluşturulmasında kepçe dolma faktörü ve kabarma faktörü değerleri 1 olarak alınmıştır.

Kapasitesi belirlenen ekskavatör için kamyon seçimi bu alan içerisinde kalan kamyonlardan yapılmakta fakat kapasite kaybı en az olan kamyon seçilmektedir. Örneğin, 46 yd³’lük bir ekskavatör için 360 ve 320 ston’luk kamyonlar uygun olmasına karşılık 320 ston’luk kamyonu 21 m³ daha az malzeme yüklenecektir. Oysa aynı işlem 360 ston’luk kamyon için sadece 6 m³ olacaktır.

Aynı şekilde 34 yd³’lük bir ekskavatör için en uygun kamyon 320 ston’luk, 25 yd³ içinse en uygun kamyon 240 ston’luk olmaktadır.

Uzman sistem içerisinde ekskavatör kapasitesi belirlendikten sonra kamyon seçimi Tablo 5.21 ve Tablo 5.22’de verilen alanlar içerisinde kalan kamyonlar arasından yapılmaktadır.

Tablo 5.21 Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi kullanılabilirlik ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü =1, Kabarma Faktörü =1)

Kamyon Kap. (ston)	Ekskavatör Kapasitesi (yd ³)									
	59	46	44	40	38	34	30	25	18	15
360	4	5	5	6	6	7	7	9	13	15
320	3	4	4	5	5	6	7	8	11	14
260	2	3	3	4	4	5	5	6	9	11
240	2	3	3	4	4	4	5	6	8	10
215	2	3	3	3	3	4	4	5	7	9
195	2	2	3	3	3	3	4	5	7	8
190	2	2	2	3	3	3	4	5	6	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	1	2	3	3
72	0	1	1	1	1	1	1	1	2	3
66	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2
40	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
35	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tablo 5.22 Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi – boş kasa hacmi (m³) ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü =1, Kabarma Faktörü =1)

Kamyon Tonajı (ston)	Ekskavatör Kapasitesi (yd ³)									
	59	46	44	40	38	34	30	25	18	15
360	1	6	13	2	7	26	21	10	3	10
320	26	21	27	8	16	5	1	8	10	1
260	41	26	30	9	15	1	16	16	7	5
240	31	16	20	29	5	17	6	6	11	6
215	18	3	7	17	21	4	17	13	12	5
195	8	28	-3	7	11	20	7	3	2	7
190	6	25	29	4	9	18	4	0	13	4
170	41	15	18	25	28	8	17	9	3	5
150	31	5	8	14	18	24	7	18	7	7
120	15	25	27	30	2	9	15	3	5	3
100	5	15	17	20	21	24	5	12	9	5
85	5	8	9	12	14	17	20	5	2	8
72		1	3	6	7	10	13	17	9	2
66				3	4	7	10	14	6	10
40								1	6	9
35									4	6
25										1

6. EKİPMAN SEÇİMİ UZMAN SİSTEMİ

Bu bölümde, geliştirilen ekipman seçimi uzman sistemi ve kullanılan uzman sistem geliştirme kabuğu hakkında bilgi verilmiştir. Uzman sistem geliştirme kabuğu olarak KappaPC kullanılmıştır. KappaPC uzman sistem geliştirme kabuğu Bölüm 6.2’de detaylı olarak tanıtılmıştır.

Günümüzde hidrolik ekskavatörler, halatlı ekskavatörlere nazaran yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle küçük ölçekli işletmelerin tamamında hidrolik ekskavatör kullanılmaktadır. Küçük işletmeler, halatlı ekskavatörler için gerekli olan enerji trafo ve yüksek gerilim hatlarını tesis etmek yerine hidrolik ekskavatör kullanmayı tercih etmektedirler. Hidrolik ekskavatörlerin, halatlı ekskavatörlere nazaran hareket kabiliyetinin daha fazla olması ve kepçe hacimlerinin 60 yd³ gibi büyük değerlere ulaşması hidrolik ekskavatörlerin tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, günümüzde büyük ölçekli işletmelerde de büyük kapasiteli hidrolik ekskavatörler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hidrolik ekskavatör kullanımının artması ile ekskavatör üreticisi firmalar da sürekli olarak daha büyük kapasiteli hidrolik ekskavatörler geliştirmektedirler.

Yukarıda belirtilen nedenlerle, geliştirilen uzman sistem madencilikte en yaygın şekilde kullanılan hidrolik ekskavatör ve kamyon yöntemi için en uygun ekskavatör ve kamyon seçimini gerçekleştirmektedir.

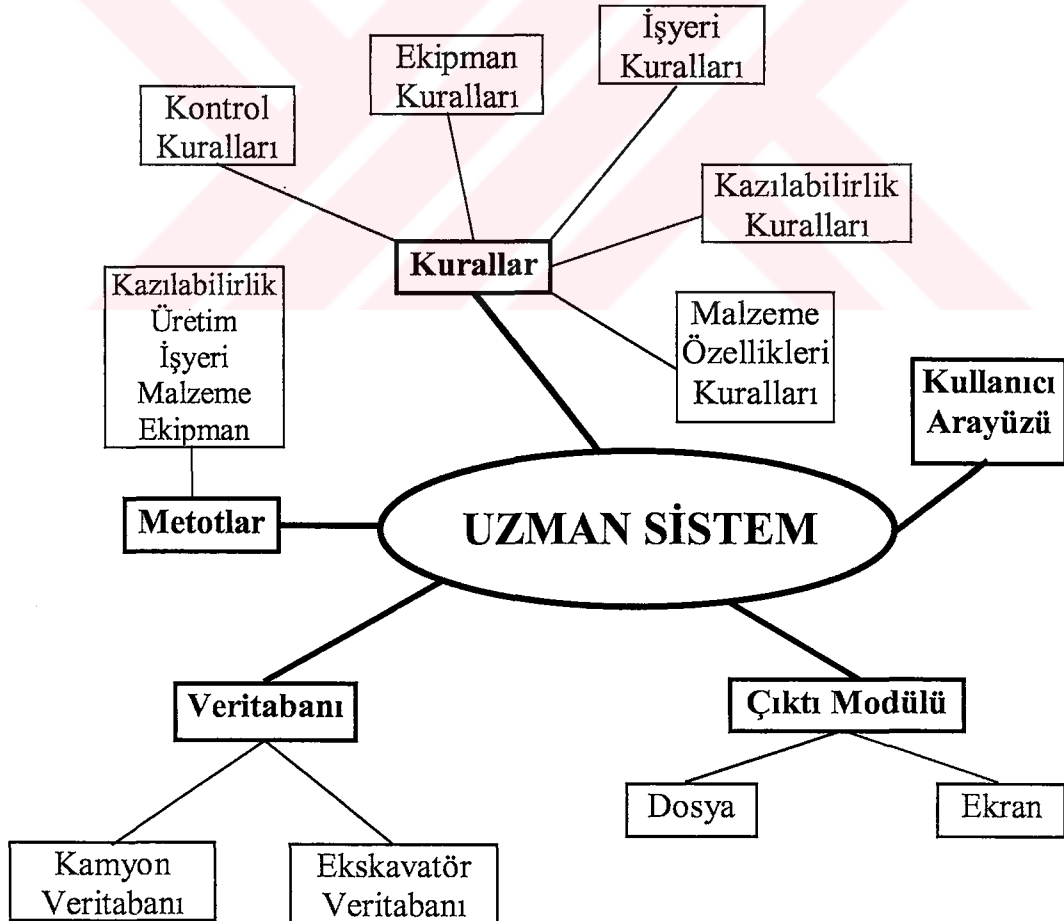
Geliştirilen hidrolik ekskavatör-kamyon seçimi uzman sistemi 4 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- Ekipman seçimi ile ilgili kurallar ve metotlar
- Kullanıcı arayüzü
- Veritabanları
- Çıktı modülü’dür.

Ekipman seçimi ile ilgili kurallar çalışmanın ana yapısını oluşturmaktadır. Bu kurallar 5 ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar;

- Kazılabilirlik kuralları,
- İşyeri kuralları,
- Malzeme özellikleri kuralları,
- Ekipman kuralları,
- Kontrol kuralları'dır.

Veritabanı ise ekskavatör ve kamyon için olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Ekskavatör veritabanı Tablo A1'de ve kamyon veritabanı Tablo A2'de olmak üzere ekler bölümünde verilmiştir. Ayrıca, kullanıcıların sonuçları rahatlıkla izleyebilmesi 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. Sonuçlar, ayrıca bir dosyaya kaydedilmekte ve herhangi bir yazıcıdan çıkış alınabilmektedir. Uzman sistemi oluşturan ana elemanlar ve sistemin yapısı Şekil 6.1'de verilmiştir



Şekil 6.1 Ekipman seçimi uzman sistem yapısı

KappaPC çıkarım mekanizması, kurala dayalı bilgi temsili desteklediği ve oluşturulan kural ve metotlara yeni ekleme veya değişikliklerin yapılması diğer bilgi temsil metotlarına göre daha kolay olduğu için kurala dayalı bilgi temsili metodu geliştirilen sistem için tercih edilmiştir. KappaPC, ileri ve geri zincirleme çıkarım tekniğini desteklemektedir. Uzman sistemde ileri zincirleme çıkarımı (forward chaining) kullanılmıştır. Böylece kurallar, fonksiyonlar ve metotlar, önden ileriye doğru taranarak incelenmektedir. İleri zincirleme tekniğinin en önemli dezavantajı süre alıcı bir teknik olmasıdır. Kurallar baştan sona doğru aranılan noktayı bulana kadar taranmakta ve bu da sistemin çalışması sırasında beklemlere neden olmaktadır. Fakat, Pentium tabanlı günümüz bilgisayarlarının hızları bu gecikmelerin fark edilmesine olanak vermeyecek kadar yüksektir.

Uzman sistem kabuğu, kurallar, metotlar, sınıflar ve fonksiyonlardan oluşmaktadır. **Eğer - O Halde** yapıları sadece kurallar içerisinde değil sınıfların bir alt grubu olan metotlar içerisinde de kullanılmakta ve kural yapısına benzer olarak oluşturulmaktadırlar. Bütün alt sınıflar ve metotlar, üst sınıfta tanımlanmış olan değişkenleri kullanabilmektedir. Böylece her sınıf için ayrı ayrı metot yazmak veya değişkenleri tanımlamak zorluğu ortadan kalkmaktadır. Ayrıca, kabuk fonksiyonlar ile kendi çalışma yapısı içerisinde düzenlemeler yapılmasını da sağlamaktadır.

Uzman sistem içerisinde kurallar 3 kısımdan oluşturulmaktadır. Bunlar; kurallar, meta kurallar ve uyarı kurallarıdır. Kurallar, bir sonuç elde etmek için veya bir sonuç elde edildiği zaman buradan başka bir sonucun çıkarılabilmesi için kullanılmaktadırlar. Meta kurallar ise kurallar arası ilişkileri düzenleyen kurallardır. Uyarı kuralları ise sadece kullanıcıya bir bilgi yollamak veya uyarı mesajı yollamak için kullanılan kurallardır. Uyarı kurallarında, kuralın THEN kısmından sonra kullanıcıya sadece bir uyarı bilgisi yollanmakta başka hiçbir kural veya metot çalıştırılmamaktadır. Böylece kullanıcıya girdiği değerlerle ilgili bilgi verme imkanı da bulunmaktadır.

Kurallara örnek olarak

Eğer kazılabilirlik puanı ≥ 20 veya < 40 ise **O Halde** kazı sınıfı 2

verilebilir. Burada kazılabilirlik puanı 20 - 40 arasında bir değere sahip olduğu zaman kazı sınıfı değişkenine 2 değeri atanmaktadır.

Uzman sistem arayüzü, Windows penceresi şeklinde düzenlenmiştir. Böylece bilgi girmesi ve değiştirilmesi sırasında kullanıcı ile daha etkileşimli bir iletişim ortamı oluşturulmuştur. Açılan pencereler üzerinde işlemler fare ile yapılmaktadır.

Uzman sistemde 2 adet veritabanı kullanılmıştır. Bunlar ekskavatör ve kamyon veritabanlarıdır. Veritabanları MS EXCEL dosyası olarak hazırlanmıştır. Uzman sistem kabuğu Excel dosyalarını açıp okuyabilmekte ve tarama yapabilmektedir. Excel dosyasının veritabanı olarak kullanılmasının amaçlarından birisi de, dosyaya her zaman veri girişi yapılarak yeni ekipmanların eklenebilmesine veya ekipmanların verilerinin güncellenmesine olanak sağlanmasıdır. Böylece kullanıcılar veritabanlarına istediği kadar ekipman ekleyebilir ve bu ekipmanları fonksiyon olarak uzman sistem içerisine adapte edebilirler.

Ekskavatör ve kamyon veritabanlarını oluşturan alanlarda verilerin isimleri ve türleri Tablo 6.1 ve 6.2’de sırasıyla verilmiştir.

Tablo 6.1 Ekskavatör veritabanını oluşturan alanlar ve açıklamaları

Alan No	Değişken Adı	Değişken Cinsi	Açıklama
1	Eks marka	Karakter	Marka
2	Eks model	Karakter	Model
3	Eks tip	Karakter	Tip
4	Eks_guc	Sayısal	Güç
5	Eks_kepce_hacmi	Sayısal	Kepçe kapasitesi
6	Eks_bos_agirlik	Sayısal	Boş ağırlığı
7	Eks_kop_kuvvet	Sayısal	Koparma kuvveti
8	Eks_kesme_kuvvet	Sayısal	Kesme kuvveti
9	Eks_kazi_yuk	Sayısal	Maksimum kazı yüksekliği
10	Eks_kazi_derin	Sayısal	Maksimum kazı derinliği
11	Eks_bos_yuk	Sayısal	Maks. boşaltma yüksekliği
12	Eks_zemin_uyg_bas	Sayısal	Zemine uyguladığı basınç

Ekskavatör veritabanında toplam olarak 85 adet hidrolik ekskavatör ve bunlara ait veriler bulunmaktadır. Ekskavatör veritabanı, Terex, Hitachi, Liebherr, Caterpillar, Komatsu marka çeşitli kapasitelerdeki ekskavatörlerden oluşmaktadır.

Kamyon veritabanında ise Liebherr, Caterpillar, Terex, Unit Rig, Belaz, Komatsu, Euclid, Hitachi, Volvo, John Deere, Moxy, Bell marka kamyonlardan çeşitli miktarlarda olmak üzere toplam olarak 113 adet kamyon verisi bulunmaktadır.

Tablo 6.2 Kamyon veritabanını oluşturan alanlar ve açıklamaları

Alan No	Değişken Adı	Değişken Cinsi	Açıklama
1	Kamyon marka	Karakter	Marka
2	Kamyon model	Karakter	Model
3	Kamyon tip	Karakter	Tip
4	Kamyon kap ston	Sayısal	Kapasite, ston
5	Kamyon kap ton	Sayısal	Kapasite, ton
6	Kamyon guc	Sayısal	Güç, HP
7	Kamyon silme	Sayısal	Kasa hacmi, silme
8	Kamyon yigma	Sayısal	Kasa hacmi, yığma
9	Kamyon bos agirlik	Sayısal	Boş ağırlığı
10	Hp ton oranı	Sayısal	HP/ton oranı

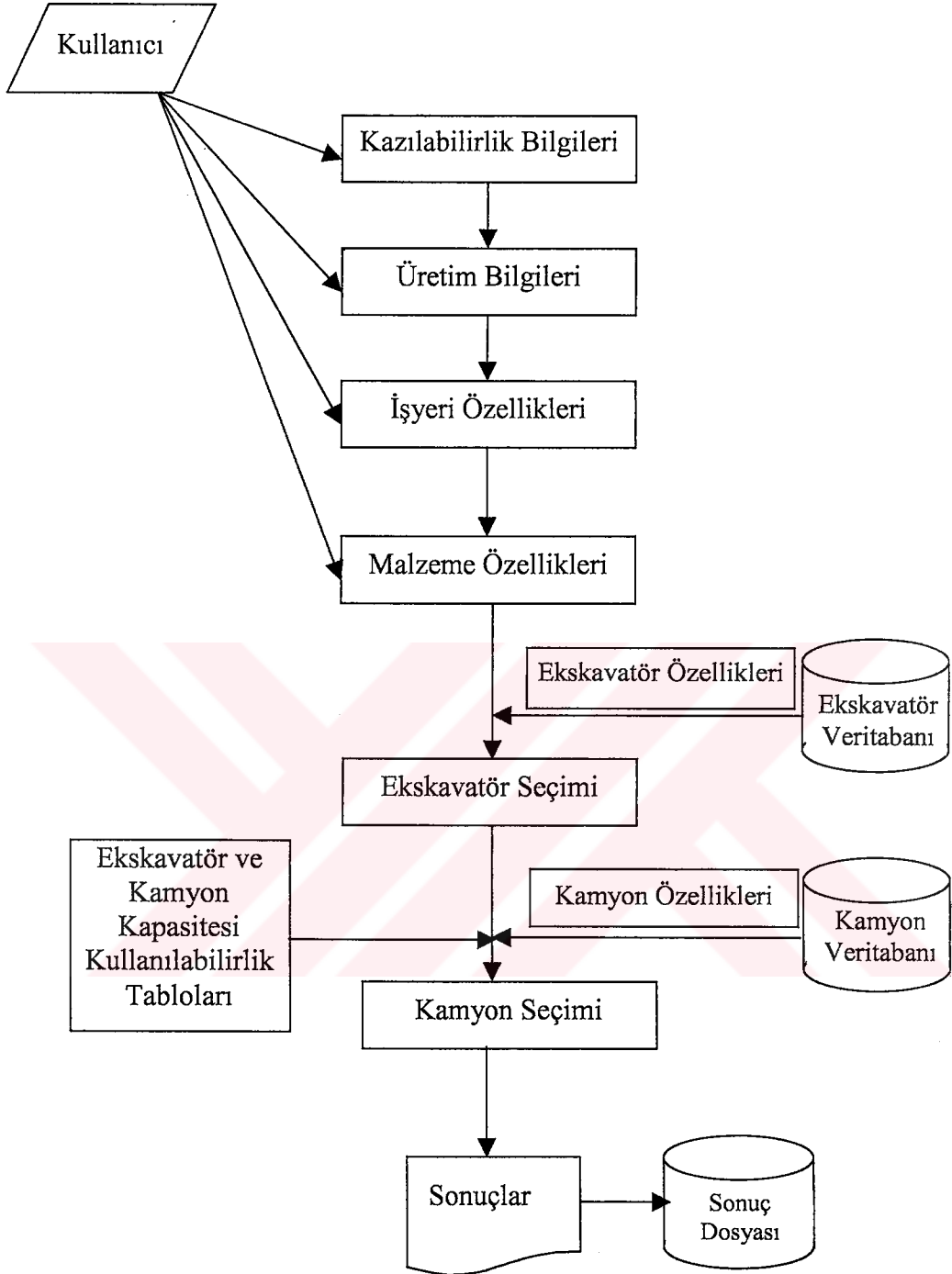
Uzman sistem, sorgulama mantığı gereği soru yöneltirken veya çıkarım yaparken takip ettiği sıra, akım şeması şeklinde Şekil 6.2’de verilmiştir.

Burada ilk olarak kazılabilirlik bilgileri ve daha sonra ise sırasıyla üretim bilgileri, işyeri özellikleri bilgileri ve malzeme özellikleri ile ilgili bilgileri kullanıcıdan alınmaktadır. Bu bilgiler ve kurallar yardımıyla, oluşturulan ekskavatör ve kamyon veritabanlarından elde edilen verilerden de sorgulama yaparak ekipman seçimini yapmaktadır. Sonuçların çıktısı alınabilmekte veya bir dosyaya kaydedilmektedir. Uzman sistemin ana giriş ekranı Şekil 6.3’te verilmiştir.

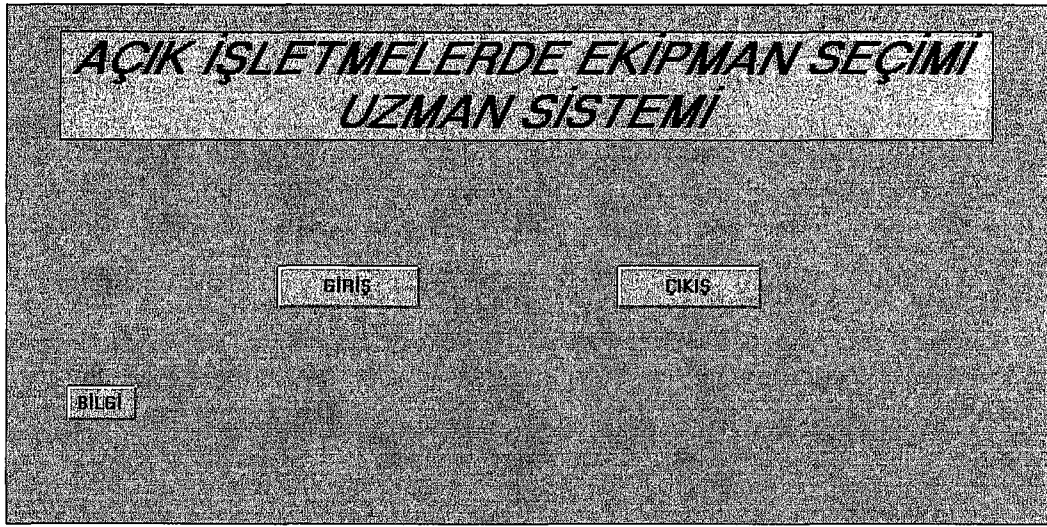
Kazılabilirlik bilgilerinin sorgulanması, uzman sistemin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Burada, daha önceki bölümde verilen ve uzman sistemde kullanılan kazılabilirlik sınıflamasına göre kayacın kazılabilirliği belirlenmekte ve delme patlatma yapılıp yapılmayacağının kararı verilmektedir.

Ana ekrandan sisteme giriş yapıldıktan sonra uzman sistemin ilk sorgulama ekranı olan kazılabilirlik ekranı gelmektedir. Burada basınç dayanımı, sismik hız, çatlak aralığı, tabakalaşma kalınlığı, ayrışma durumu, kayaç ve kömür yoğunluğu bilgilerinin girişi yapılmaktadır (Şekil 6.4).

Kazılabilirliğin belirlenmesinde kullanılan değişkenler ve belirlenme yöntemleri Tablo 6.3’te verilmiştir. Kazılabilirlik kısmında ekrandan girilen bilgilere bağlı olarak sistem kazılabilirlik sınıfını belirlemektedir. Kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi ise Şekil 6.5’te grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 6.2 Ekipman seçimi uzman sisteminin basitleştirilmiş akım şeması



Şekil 6.3 Uzman sistem giriş ekranı

Kazılabilirlik Bilgileri	
Basınç Dayanımı (MPa)	
Kayaç Yoğunluğu (t/m ³)	
Sismik Hız (m/sn)	
Kömür Yoğunluğu (t/m ³)	
Çatlak Aralığı (m)	
Tabakalaşma Kalınlığı (m)	
Ayrışma Durumu	☐ Tamamen ☐ İleri derecede ☐ Orta derecede ☐ Az ayrılmış ☐ Ayrılmamış
Devam	

Şekil 6.4 Kazılabilirlik sorgulama ekranı

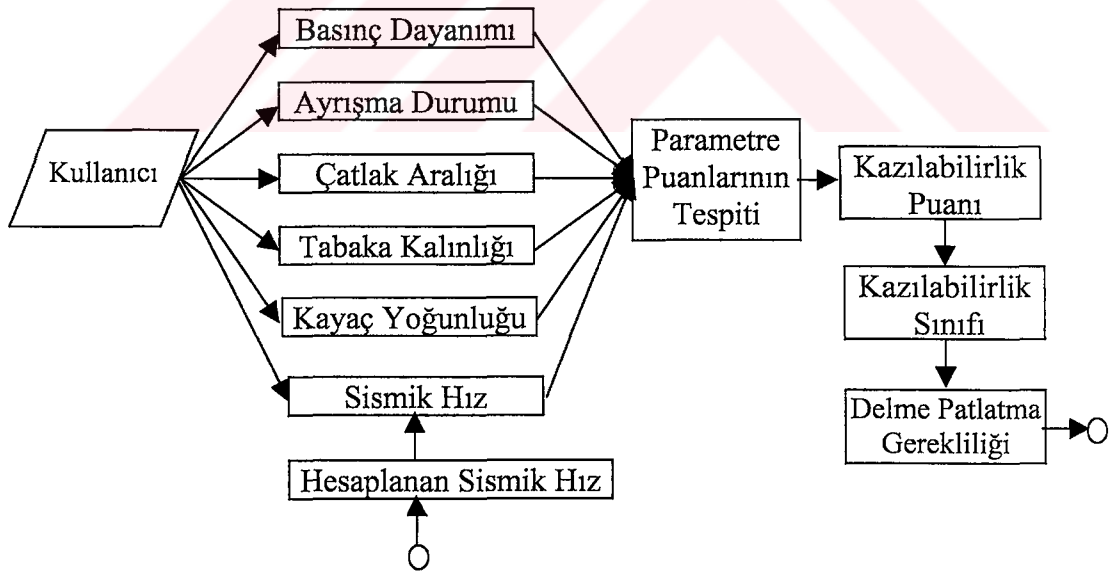
Bunun için ilk olarak kazılabilirlik parametrelerinin puanları belirlenmektedir. Bu puanlardan kazılabilirlik puanı tespit edilmekte ve buna göre de kazılabilirlik sınıfı elde edilmektedir.

Sistem, kazılabilirlik sınıfına bağlı olarak kazının doğrudan yapılabilirdiği veya delme patlatma yapılması gerektiğine ilişkin karar vermektedir.

Tablo 6.3 Kazılabilirlik kısmında değerleri belirlenen değişkenler

Değişken İsmi	Değişken Cinsi	Belirlenme Yöntemi
Tek eksenli basınç dayanımı	Sayısal	Kullanıcıdan
Sismik hız	Sayısal	Kullanıcıdan, Metottan
Ayrışma durumu	Karakter	Kullanıcıdan
Tabakalaşma kalınlığı	Sayısal	Kullanıcıdan
Çatlak aralığı	Sayısal	Kullanıcıdan
Basınç dayanımı puanı	Sayısal	Metottan
Sismik hız puanı	Sayısal	Metottan
Ayrışma durumu puanı	Sayısal	Metottan
Tabakalaşma kalınlığı puanı	Sayısal	Metottan
Çatlak aralığı puanı	Sayısal	Metottan
Kazılabilirlik toplam puan	Sayısal	Metottan
Kazılabilirlik sınıfı	Sayısal	Metottan
Patlatma durumu	Sayısal	Metottan

Sismik hız değeri belirlenmemiş veya sorgulama sırasında bilinmiyor ise sistem kullanıcıdan kayacın elastisite modülü ve Poisson oranı değerini ayrıca istemektedir. Bu değerler ve basınç dayanımı kullanılarak, sismik hız değeri Bölüm 5.4'te verilen sismik hız formülü ile hesaplanmaktadır. Eğer kullanıcı tarafından Poisson oranı da bilinmiyor ise, sismik hız değerine ayrışma durumunun dahil olduğu kazı sınıfındaki sismik hız değeri atanmaktadır.



Şekil 6.5 Kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi

Kullanıcı tarafından girilen bilgiler kullanılarak, ilk olarak Tablo 5.14'te verilen puanlama sistemine göre puanlama yapılmaktadır. Bu işlem uzman sistem içinde "METHOD" olarak isimlendirilen kısımda gene **Eğer - O Halde** (IF-THEN)

formatına uygun olarak oluşturulmaktadır. Basınç dayanımı puanlaması için geliştirilen “METHOD” yapısı Şekil 6. 6’da örnek olarak verilmiştir.

```

/***** METHOD: Bas_day_cevir *****/
MakeMethod( Kazilabilirlik, Bas_day_cevir, [],
    If KnownValue?( Kazilabilirlik:Bas_day )
    Then {
        If ( Kazilabilirlik:Bas_day < 20 )
            Then Kazilabilirlik:Bas_day_puan = 0;
        If ( Kazilabilirlik:Bas_day >= 20 And
Kazilabilirlik:Bas_day < 40 )
            Then Kazilabilirlik:Bas_day_puan = 10;
        If ( Kazilabilirlik:Bas_day >= 40 And
Kazilabilirlik:Bas_day < 60 )
            Then Kazilabilirlik:Bas_day_puan = 15;
        If ( Kazilabilirlik:Bas_day >= 60 And
Kazilabilirlik:Bas_day < 100 )
            Then Kazilabilirlik:Bas_day_puan = 20;
        If ( Kazilabilirlik:Bas_day >= 100 )
            Then Kazilabilirlik:Bas_day_puan = 25;
    } );

```

Şekil 6.6. Basınç dayanımı puanlaması için geliştirilen “METHOD” yapısı

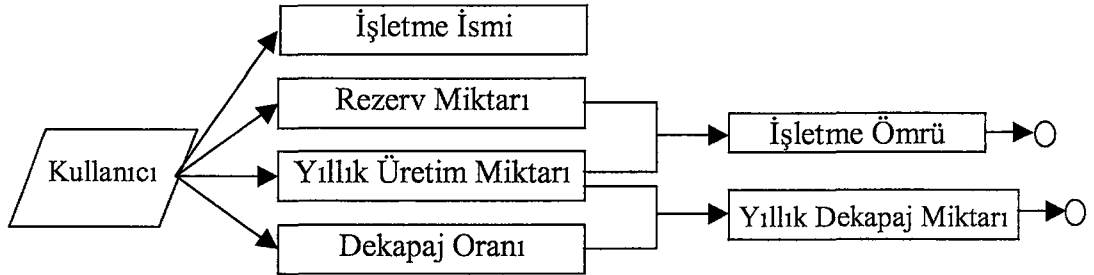
Bu şekilde oluşturulan metotlar ile, kural sayısından tasarruf edilmekte ve uzman sistem yapısı üzerinde daha kolay düzenleme olanakları sağlamaktadır. Benzer olarak, diğer kazılabilirlik parametreleri olan ayrışma durumu, çatlak aralığı, sismik hız, tabakalaşma kalınlığı değerleri içinde puanlama yapılmaktadır. Her bir parametrenin puanı belirlendikten sonra bunların toplamından kazılabilirlik puanı elde edilmektedir. Kazılabilirlik puanı bize kazı sınıfını vermektedir. Kazı sınıfı kullanılan ekipmanın kayacı doğrudan kazabildiğini veya delme patlatma yapılması gerektiğini ifade etmektedir. Kazı sınıfı 3 ve üzerinde olduğu durumlarda bütün kazıcılar için delme patlatma gerekmektedir.

Kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesinden sonra üretim bilgileri, işletme bilgileri ekranından sistem tarafından istenmektedir. Bu bilgiler, Tablo 6.4’te verilmiştir. Üretim bilgileri girildikten sonra sistem tarafından işletme ömrü ve dekapaj oranına bağlı olarak yıllık dekapaj miktarı belirlenmektedir. Bu bilgilerin oluşturulmasındaki akım şemaları Şekil 6.7’de verilmiştir.

Bundan sonra işletme ile ilgili bilgiler kullanıcıdan istenmektedir. İşyeri özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan değişkenler ve bunların belirlenme yöntemi Tablo 6.5’te verilmiştir. Şekil 6.8’de ise işyeri özelliklerinin belirlenmesi verilmiştir.

Tablo 6.4 Üretim bilgileri kısmında değerleri belirlenen değişkenler

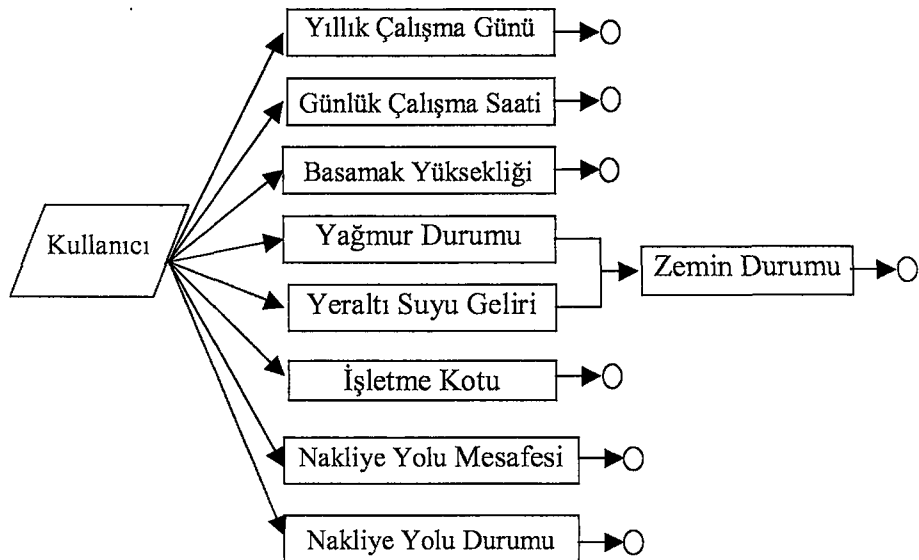
Değişken İsmi	Değişken Cinsi	Belirlenme Yöntemi
İşletmenin adı	Karakter	Kullanıcıdan
Rezerv miktarı	Sayısal	Kullanıcıdan
Yıllık üretim miktarı	Sayısal	Kullanıcıdan
Yıllık dekapaj miktarı	Sayısal	Metottan
Dekapaj oranı	Sayısal	Kullanıcıdan
İşletme ömrü	Sayısal	Metottan



Şekil 6.7. Üretim bilgilerinin belirlenmesi

Tablo 6.5 İşletme bilgileri kısmında değerleri belirlenen değişkenler

Değişken İsmi	Değişken Cinsi	Belirlenme Yöntemi
Günlük çalışma saati	Sayısal	Kullanıcıdan
Basamak yüksekliği	Sayısal	Kullanıcıdan
Yağmur durumu	Karakter	Kullanıcıdan
İşletme kotu	Sayısal	Kullanıcıdan
Yeraltı suyu geliri	Karakter	Kullanıcıdan
Dekapaj nakliye mesafesi	Sayısal	Kullanıcıdan
Kömür nakliye mesafesi	Sayısal	Kullanıcıdan
Nakliye yolu zemini	Karakter	Kullanıcıdan
Operatör verimi	Karakter	Metottan
Zemin durumu	Karakter	Metottan



Şekil 6.8 İşyeri özelliklerinin belirlenmesi

Bununla ilgili sorgulama ekranı Şekil 6.9’da verilmiştir. Üretim ile ilgili bilgiler ve işyeri ile ilgili bilgiler için aynı sorgulama ekranı kullanılmıştır.

İşyeri Bilgileri

İşletmenin Adı:

Razerv Miktarı (ton):

Yıllık Üretim Miktarı (ton):

Dekapaj Oranı (m³/ton):

Yıllık Çalışma Günü (Dek.):

Yıllık Çalışma Günü (Kömür):

Günlük Çalışma Saati (Dek.):

Günlük Çalışma Saati (Kömür):

İşletmenin Kotu (m):

Basamak Yüksekliği (m):

Nakliye Yolu Mesafesi (m): (Dekapaj)

Nakliye Yolu Mesafesi (m): (Kömür/Cevher)

Yağmur Durumu

☐ Çok yağmurlu

☐ Az yağmurlu

☐ Kurak

Nakliye Yolu Zemin Durumu

☐ Yumuşak gevşek

☐ Sert fakat taşıyıcı

☐ Sert

Yeraltı Suyu

☐ Var

☐ Yok

Devam

Şekil 6.9 İşyeri ve üretim bilgileri sorgulama ekranı

Malzeme özellikleri bilgileri ve belirlenme şekli Tablo 6.6’da verilmiştir. Şekil 6.10’da malzeme özellikleri sorgulama ekranı ve Şekil 6.11’de ise malzeme özelliklerinin belirlenmesi verilmiştir.

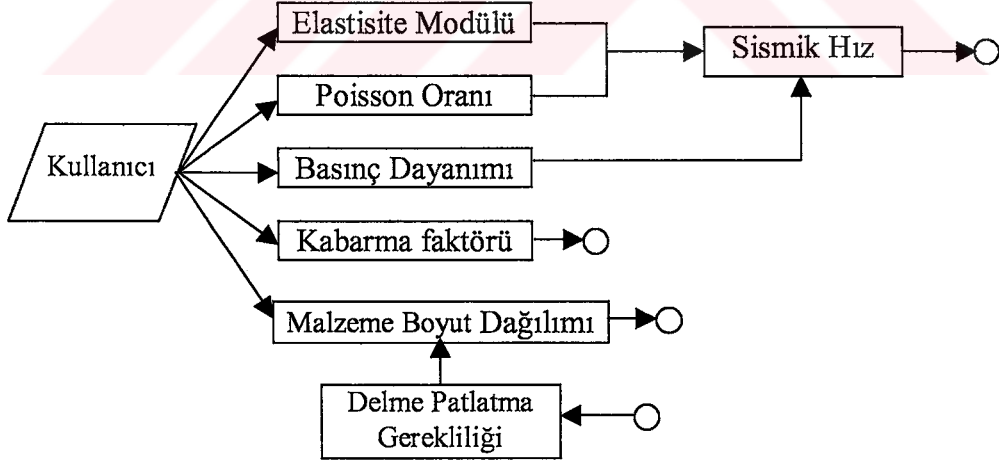
Tablo 6.6 Malzeme özellikleri kısmında değerleri belirlenen değişkenler

Değişken İsmi	Değişken Cinsi	Belirlenme Yöntemi
Elastisite modülü	Sayısal	Kullanıcıdan
Poisson oranı	Sayısal	Kullanıcıdan
Kayaç yoğunluğu	Sayısal	Metottan
Kabarma faktörü	Sayısal	Kullanıcıdan
Kepçe dolma faktörü	Sayısal	Metottan
Parçalanma durumu	Karakter	Kullanıcıdan
Malzeme boyutu	Sayısal	Kullanıcıdan
Malzeme boyut tanımı	Karakter	Metottan

Kazılabilirlik sınıflamasına göre belirlenen patlatma durumu değişkeninin değerine bağlı olarak patlatma sonrası malzemenin boyut dağılımı kullanıcıdan istenmektedir.

Kepçe dolma faktörü ve malzeme boyut tanımı ise kural ve metottan belirlenmektedir.

Şekil 6.10 Malzeme özellikleri sorgulama ekranı



Şekil 6.11 Malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Zemin durumu, yeraltı suyu geliri ve yağmur durumuna bağlı olarak değerlendirilmektedir. Çalışan bir işletme yapılan ekipman seçiminde basamak yüksekliği belli olduğu için bu değer kullanıcı tarafından girilmektedir. Basamak yüksekliği değeri, kepçe hacmi belirlenen ekskavatörlerden aynı kepçe hacmine

sahip olanların ekskavatör kazı yüksekliğine bağlı olarak taranması ve uygun basamak yüksekliğine sahip olan ekskavatörlerin belirlenmesi için kullanılmaktadır. İşletme, yeni bir işletme ise basamak yüksekliği değeri olarak ekskavatörün maksimum kazı yüksekliği alınacaktır.

Hidrolik Ekskavatör Seçimi :

Ekskavatör kepçe hacminin belirlenmesi için ilk olarak gerekli günlük dekapaj miktarının belirlenmesi gereklidir. Bu, işletmenin yıllık dekapaj programına ve yıllık çalışma süresine bağlıdır. Bu bilgiler direk olarak kullanıcıdan alınmaktadır. İlk olarak günlük kaldırılacak malzeme miktarının belirlenmesi gerekir. Bunun için aşağıda verilen formüller kullanılmaktadır.

$$q = \frac{V}{T} \quad (6.1)$$

Burada;

q : Günlük kaldırılacak malzeme miktarı (m³/gün)

V : Yıllık kaldırılacak malzeme miktarı (m³/yıl)

T : Yılda çalışılan gün sayısı (gün/yıl)

Bu aşamada, sadece varsayılan farklı sayıdaki ekskavatörlere göre günlük dekapaj miktarı tahmin edilebilir. Bunu bir örnekle açıklarsak; günlük 30 000 m³ malzeme için eğer 2 adet ekskavatör kullanılacaksa 15 000 m³/gün, eğer 3 adet ekskavatör kullanılacaksa 10 000 m³/gün olmaktadır. Bu şekilde günlük üretim miktarını karşılamak için gerekli olan ekskavatör sayıları belirlenebilmektedir.

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

$$Ç = \frac{S * i * 3600}{p} \quad (6.2)$$

Burada;

Ç : Günlük ekskavatör çevrim sayısı (adet)

S : Günlük çalışma saati (saat /gün)

i : İşyeri randımanı (%)

p : Çevrim süresi (sn)'dir.

İşyeri randımanı 50/60 olarak kabul edilmiştir. Ekskavatör çevrim süresi belirlenirken, uzman sistem içinde ekskavatörün 90° dönme açısı ile yükleme yaptığı kabulü yapılmıştır. Ekskavatör çevrim süresi belirlenirken, yüklenecek malzemenin sert (yerinde kumtaşı, sert kil, vb.), kötü patlatılmış (iri bloklu), iyi patlatılmış (küçük bloklu), gevşek (gevşek kil, gevşek kum-kil, vb.) olması dikkate alınmalıdır. Kazılabilirlik sınıflaması sonucu patlatma gerekiyor ise patlatma sonrası malzeme durumu kullanıcıdan istenmektedir.

Türkiye'deki kömür işletmelerinde çalışan ekskavatörlerin (10-25 yd³) çevrim süreleri, patlatmanın iyi yapıldığı ve kazı sırasında ekskavatörlerde zorlanma meydana gelmediği koşullarda 25-49 sn arasında değişmektedir. Ayrıca, ekipman kataloglarında yapılan incelemeler sonucu, iyi patlatılmış, küçük bloklu kayaçlar için çevrim süresi 40 sn alınmıştır. Patlatmanın kötü olduğu koşullarda ise çevrim süresi 50 sn olarak alınmıştır. Ayrıca, kullanıcıdan gelen patlatma sonrası kayaç durumunu belirten bilgiye de bağlı olarak kabul edilen bu çevrim süreleri kullanıcıya sunulmakta olup, bu değeri kabul etmesi veya yeni bir çevrim süresi değerini kendisinin belirlemesi istenmektedir. Ayrıca, faaliyetlerini sürdürmekte olan bir işletme için ekipman seçimi yapıldığında, o bölgenin çalışma şartlarına göre ekskavatörlerin çevrim süreleri önceden belirlenmiş olabilir. Ekskavatör çevrim süresini kullanıcının onayına sunmakla, kullanıcının kendi kabul ettiği bir çevrim süresi değerini kullanmasına olanak sağlanmaktadır.

Ekskavatör günlük çevrim sayısı belirlendikten sonra günlük dekapaj miktarına bağlı olarak bir çevrimdeki dekapaj miktarı belirlenir. Buradan kepçe hacmi, farklı sayıdaki ekskavatörlere ait günlük kaldırılacak malzeme tonajına bağlı olarak elde edilir. Yukarıda verilen günde 30 000 m³ malzeme örneğindeki gibi; 2 ekskavatör kullanıldığında kaldırılacak malzeme miktarı 15 000 m³/gün, 3 ekskavatör alternatifi için 10 000 m³/gün, 4 ekskavatör alternatifi için 7 500 m³/gün değerleri alınmak üzere farklı sayıdaki ekskavatör alternatifleri için kepçe hacmi hesaplanır.

$$Q = \frac{q}{\dot{C}} \quad (6.3)$$

$$v = \frac{Q * k}{\eta} \quad (6.4)$$

Burada;

v : Kepçe hacmi (m^3)

Q : Bir çevrimdeki kaldırılacak malzeme miktarı (m^3)

k : Kabarma faktörü

η : Kepçe dolma faktörü'dür.

Kabarma faktörü kullanıcıdan istenmektedir. Kepçe dolma faktörü ise kullanıcının seçtiği malzeme türüne bağlı olarak 0.75 - 1.0 değerleri arasından seçilmektedir.

Böylece, günlük üretim miktarına bağlı olarak ekskavatör sayıları ve bu ekskavatörlerin kepçe hacimleri belirlenir. Günümüzde en büyük ekskavatör 59 yd^3 ($45 m^3$) olduğu için bu değerin üzerindeki kepçe hacimleri ve ekskavatör sayıları iptal edilir.

Üretim miktarına bağlı olarak kepçe hacmi belirlendikten sonra, belirlenen ekskavatörler arasından zeminin taşıma gücüne göre ekskavatör seçimi yapılmaktadır. Ekskavatörlerin zemine uyguladıkları basınçlar ekskavatör veritabanında bulunmaktadır. Örnek olarak, bazı ekskavatörlerin zemine uyguladıkları basınç değerleri, ekskavatör ağırlıkları ile birlikte Tablo 5.19'da verilmiştir.

Aynı zamanda yağmur durumu ve yeraltı suyu geliri bilgilerine bağlı olarak da çalışma yerinin zemin durumunun iyi veya kötü olması hakkında karar verilmektedir. Yeraltı suyu ise var veya yok olarak sorgulanmaktadır.

Ekskavatörlerin zeminin taşıma gücüne göre belirlenmesi için çeşitli zeminlere ait yaklaşık taşıma kapasiteleri arasından zemin tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Zeminler ve taşıma kapasiteleri Tablo 6.7'de verilmiştir.

Üretim miktarı ve zeminin taşıma gücüne göre belirlenen ekskavatör kepçe hacmi, daha sonra kullanıcı basamak yüksekliğini verdiği takdirde basamak yüksekliği değerlerine göre veritabanını taramakta ve uygun ekskavatörler belirlenmektedir. Burada, ekipmanın kazabileceği maksimum kazı yüksekliği ile kullanıcıdan istenilen basamak yüksekliği karşılaştırılmaktadır.

Böylece; ekskavatörler üretim miktarına, zeminin taşıma gücüne ve basamak yüksekliğine bağlı olarak seçilmektedirler. Sistem, çıktı kısmında belirlenen kepçe

hacmine sahip olan ekskavatörlerin marka, model, güç, kepçe kapasitesi, maksimum kazı yüksekliği, maksimum boşaltma yüksekliği ve zemine uyguladığı basınç bilgilerini de vermektedir.

Tablo 6.7 Çeşitli zeminlere ait yaklaşık taşıma kapasiteleri

Zemin Malzemesi	Maksimum Taşıma Kapasitesi, (kg/cm²)
Sert kayaç	60
Orta sert kayaç	35
Kaya taban üzerinde sert küskülük	12
Sıkı çakıl ve iri taşlı çakıllı formasyon, sıkı kum-çakıl	10
Yumuşak kayaç	8
Gevşek çakıl veya kumlu çakıl, sıkı kum veya çakıllı kum, çok sıkı kum-organik olmayan siltli zemin	6
Sert kuru konsolide kil	5
Gevşek orta-iri kum, orta sıkılıkta ince kum	4
Sıkı kum-kil zeminler	3
Gevşek ince kum, orta sıkılıkta kum-organik olmayan siltli zeminler	2
Sıkı veya sert kil	1.5
Gevşek doymuş kumlu killi zeminler, orta yumuşak kil	1

Kamyon Seçimi

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. Ekskavatörlerin kamyonları optimum olarak doldurdukları kepçe sayısının 4-6 olduğu çeşitli kaynaklarda verilmektedir (Caterpillar Performance Handbook, 1999; SME Mining Reference Handbook, 2002). Bu kepçe sayısından daha az kepçe sayıları kamyonlarda mekanik arızalara sebep olmaktadır. Kepçe sayısı 4-6'dan daha fazla olduğu zaman ise çevrim süreleri uzamakta ve verimsiz çalışma koşulları oluşmaktadır.

Kepçe kapasitesi ve kamyon kasa ilişkisi için geliştirilen ve Şekil 5.5'te 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 6.8’de verilmiştir. Tablo 6.8’de 15-59 yd³ arasındaki ekskavatörlerin 25-360 ston arasındaki kamyonları kaç kepçede doldurdukları verilmiştir. Bunlardan 4-6 kepçe sınırları içinde kalanlar koyu olarak gösterilmiştir. Örneğin, 15 yd³’lük ekskavatör 360 ston’luk kamyonu ancak 15 kepçede doldurabilmektedir. 40 yd³’lük ekskavatör ise 85 ston’luk kamyonu 1 kepçede doldurmaktadır. Bu şekilde 4-6 kepçe dışındaki kepçe sayıları optimum sınırların dışında olduğu için değerlendirmeye alınmamıştır.

Bundan sonra her bir ekskavatör tarafından doldurulan kamyonlarda boş kalan kasa hacimleri m³ olarak belirlenmiş ve Tablo 6.9’da verilmiştir. Örneğin, 46 yd³’lük ekskavatör 360 ston’luk kamyonu doldurduğu zaman 6 m³ boş hacim kalmasına karşılık 320 ston’luk kamyon için boş kalan hacim miktarı 21 m³ olmaktadır.

Tablo 6.8’de koyu olarak verilen, 4-6 kepçe sayılarına karşılık gelen alanlar aynı şekilde Tablo 6.9’a aktarılmıştır. Böylece, Tablo 6.9’daki her bir ekskavatöre karşılık gelen koyu alanlar arasından en düşük boş kasa hacmine sahip olan kamyon seçilmektedir.

Ekskavatör kapasitesi ve kamyon kapasitesi belirlenirken Tablo 5.22 ve Tablo 5.23’te kepçe dolma faktörü ve kabarma faktörü 1.0 olarak alınmıştır. Hiçbir zaman bu değere ulaşmak mümkün değildir. Bu yüzden kepçe dolma faktörüne ve kabarma faktörüne farklı değer vererek değişik tablolar oluşturulmuştur. Kepçe dolma faktörü için 0.75-1.0 arasında ve kabarma faktörü içinse 1.0-1.5 değerleri arasında 0.5 arttırılarak tablolar oluşturulmuş ve veritabanına kaydedilmiştir. Tablo 6.8 ve Tablo 6.9’da kepçe dolma faktörü 0.85 ve kabarma faktörü 1.0 alınarak oluşturulan tablolar verilmiştir. Tablo 6.10 ve Tablo 6.11 ise kepçe dolma faktörü 0.75 ve kabarma faktörü 1.3 değerleri için verilmiştir.

Kamyon seçimi için oluşturulan tablolar, Excel dosyası olarak yaratılmışlardır. Örnek olarak verilen tablolarda 15-59 yd³ arasındaki ekskavatörler verilmiş, fakat Excel dosyasında diğer ekskavatörler de bulunmaktadır. Excel dosyasında üretilen Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi – boş kasa hacmi tabloları uzman sisteme kural olarak eklenmiştir.

Tablo 6.8 Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi kullanılabilirlik ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü = 0.85, Kabarma Faktörü = 1)

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

Tablo 6.9 Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi – boş kasa hacmi (m³) ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü = 0.85, Kabarma Faktörü = 1)

Kamyon Tonajı (ston)	Ekskavatör Kapasitesi (yd ³)									
	59	46	44	40	38	34	30	25	18	15
360	28	2	10	26	9	5	6	3	6	6
320	8	12	18	5	13	7	5	15	9	5
260	16	12	17	1	8	21	14	1	2	4
240	6	1	7	17	22	11	4	7	4	4
215	32	19	23	4	10	20	11	11	3	1
195	22	9	13	20	24	10	1	1	5	1
190	19	6	10	18	22	7	18	15	2	8
170	9	26	29	8	12	19	8	4	4	8
150	0	16	18	24	2	9	17	11	5	7
120	22	1	3	9	11	16	2	12	2	2
100	12	21	22	24	1	6	11	2	4	2
85	5	13	14	17	18	21	4	10	8	4
75		6	8	10	12	14	17	4	1	7
65				7	9	11	14	1	10	4
40								4	8	1
35									6	8
25										3

Tablo 6.10 Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi kullanılabilirlik ilişkisi (Kepçe Dolma Faktörü = 0.75, Kabarma Faktörü = 1.3)

Kamyon Kap. (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

Tablo 6.11 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

Seçilen kamyon kapasitesine sahip olan farklı marka ve modelde kamyonlar veritabanında bulunmaktadır. Aynı kapasitedeki 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 motor gücü daha yüksek olan seçilmektedir. Kamyon sayısını tespit ederken, kamyon dolu hızı 20 km/saat ve boş hızı 30 km/saat olarak alınmıştır.

Optimum ekskavatör ve kamyon sayısının belirlenmesi için, ekskavatör ve kamyon satın alma maliyetleri kullanılarak istenilen üretimi sağlayan her bir ekskavatör ve kamyon kombinasyonunun tahmini maliyetleri tespit edilmiştir. Ekipman fiyatlarının belirlenmesinde ise üretici firmalardan elde edilen fiyatlar ile ebi ve Aksoy (2000) tarafından verilen 2000 yılına ait olan ekskavatör ve kamyon fiyatları kullanılmıştır. Fiyatları tespit edilemeyen ekipmanların fiyatları ise bilinen ekipman fiyatları kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucu belirlenmiştir. Şekil B2’de bu fiyatlar kullanılarak geliştirilen kural örneği verilmiştir. Kamyon fiyatları Tablo 6.12’de ve ekskavatör fiyatları Tablo 6.13’te verilmiştir.

Tablo 6.12 Tahmini kamyon fiyatları

Kamyon (ston)	Fiyat (US\$)
360	3 150 000
320	2 500 000
260	1 900 000
240	1 760 000
215	1 650 000
195	1 550 000
190	1 530 000
170	1 450 000
120	1 250 000
100	900 000
85	800 000
72	687 000
66	458 000
40	415 000
35	360 000
25	325 000

Tablo 6.13 Tahmini ekskavatör fiyatları

Ekskavatör (yd³)	Fiyat (US\$)
59	3 750 000
48	3 150 000
45	3 000 000
44	2 850 000
38	2 650 000
35	2 500 000
30	2 150 000
28	2 000 000
26	1 850 000
25	1 850 000
23	1 750 000
22	1 750 000
19	1 650 000
18	1 650 000
16	1 615 000
15	1 615 000
14	1 500 000
13	1 500 000
<10	1 100 000

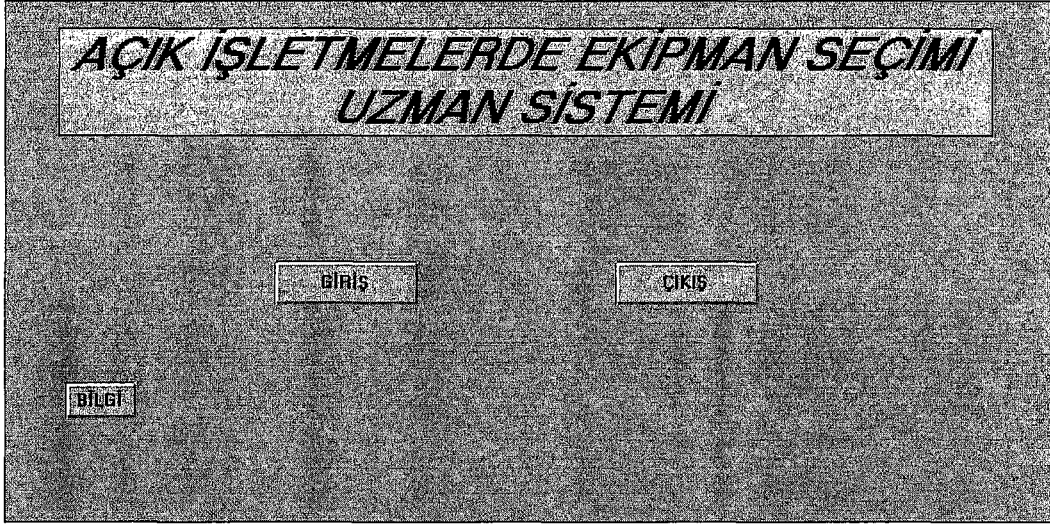
Ekipmanların satın alma maliyetleri, açık işletmelerde yatırımların en büyük kısmını oluşturmaktadır. Ekskavatör ve seçilen ekskavatöre en uygun kamyon kapasitesinin belirlenmesi için, gerekli üretimi karşılayacak olan uygun ekskavatör-kamyon kombinasyonları içinden satın alma maliyeti en düşük olan ekskavatör ve kamyon kombinasyonu optimum olarak uzman sistem tarafından belirlenmektedir.

6.1 Örnek Uzman Sistem Uygulaması

Geliştirilen uzman sistemin denenmesi için TKİ Soma Işıklar sahası verileri uygulanmış, saha verileri girdiler olarak Şekil 6.12, 6.13 ve 6.14'te verilen uzman sistem sorgulama ekranlarında sunulmuştur.

Açılış ekranından sisteme giriş yapıldıktan sonra, kazılabilirlik ekranından kazı sınıfının belirlenmesinde kullanılan kazılabilirlik parametrelerinin değerleri girilir. Bu değerler girildikten sonra sistem, kazılabilirlik sınıfı altındaki metotları çalıştırmakta ve her bir kazılabilirlik parametresine puan ataması yapılmaktadır. Daha sonra bu atanan puanlar toplanmakta ve kazılabilirlik toplam puanı elde edilmektedir. Bu saha için kazılabilirlik puanı 90 olarak belirlenmiştir. Kazılabilirlik

kurallarından bu puana ait olan kazı sınıfı belirlenmektedir. Kazı sınıfı 3 olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.12 Uzman sistem açılış ekranı

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 6.13 Kazılabilirlik sorgulama ekranı

Bundan aşamadan sonra, işyeri bilgileri sorgulama ekranından bilgi sorgulamasına başlamıştır. Burada, üretim ve işletme ile bilgiler kendi değişkenlerine atanmaktadır.

Patlatma yapılması gerekliliği belirlendiği zaman, patlatma yapıldıktan sonra malzemenin boyut dağılımı ve patlatmanın durumu (iyi patlatılmış, kötü patlatılmış) bilgileri Malzeme Bilgileri ekranından girilmektedir (Şekil 6.15).

Burada elde edilen boyut tanımına bağlı olarak kepçe dolma faktörü belirlenmektedir. Bu arada malzeme türü ve malzeme boyut dağılımı bilgileri arasında uyum olup olmadığı da kontrol edilmektedir

İşletme bilgileri ekranından girilen yağmur durumu (iklim) ve yeraltı suyu ise kazı yapılan yerdeki zemin durumunun tespiti için kullanılmaktadır. Örneğin, yağmur durumu kurak veya az yağmurlu olarak verilmiş ve yeraltı suyu da yoksa zemin iyi olarak nitelendirilmektedir. Burada zemin durumu iyi olarak belirlenmiştir.

İşyeri Bilgileri	
İşletmenin Adı	Soma
Rezerv Miktarı (ton)	30000000
Yıllık Üretim Miktarı (ton)	960000
Dekapaj Oranı (m3/ton)	7
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)
Yağmur Durumu	☐ Çok yağmurlu ☒ Az yağmurlu ☐ Kurak
Nakliye Yolu Zemin Durumu	☐ Yumuşak gevşek ☒ Sert fakat taşlı ☐ Sert
Yeraltı Suyu	☐ Var ☒ Yok
Devam	

Şekil 6.14 İşyeri bilgileri sorgulama ekranı

Sistemin sorduğu sorularda boş bırakılması gereken yerler olduğu zaman -99 değeri girilmektedir. Örneğin sismik hız değeri girildiği zaman, Poisson oranı ve elastisite modülü değerleri istenmemektedir. Kullanıcı, Poisson oranı değerini girse bile, sistem Poisson oranına 0 değeri atamaktadır. Bu yüzden -99 değerini kullanıcı kullanmayabilmektedir. Ekskavator çevrim süreleri de malzeme özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedirler.

Session3

Align Image Control Options Window Select

Malzeme Bilgileri

Kabarma Faktörü (Dekapaj Malz.) Elastisite Modülü

Kabarma Faktörü (Kömür) Poisson Oranı

Malzeme Türü	Patlatma Sonucu (Kömür)	Ort. Malzeme Boyut Dağılımı (cm)
☐ Sert kil vb.	☐ İyi patlatılmış	☐ >70
☐ Gevşek kil vb.	☐ Kötü patlatılmış	☐ 40-70
☒ Sert kum-kil vb.		☐ 25-40
☐ Gevşek kum-kil vb.		☐ <25
☐ Yerinde kumtaşı vb.		

Patlatma Sonucu

☒ İyi patlatılmış kaya

☐ Kötü patlatılmış kaya

Devam

Şekil 6.15 Malzeme özellikleri sorgulama ekranı

Bu şekilde oluşturulan kuralların çalıştırılması ile, yukarıda verilen formüllerdeki parametrelere sistem tarafından tespit edilen kepçe dolma faktörü, çevrim süresi ve işyeri randımanı değerleri atanmaktadır. Daha sonra, dekapaj oranına bağlı olarak tespit edilen toplam dekapaj miktarı için ekskavatör kepçe hacmi belirlenmektedir. Burada, günlük dekapaj miktarını kaldırabilecek farklı sayıdaki ekskavatörler için kepçe hacmi hesaplanmaktadır. Örneğin, 1 ekskavatör için günlük dekapajın tamamı, 2 ekskavatör için günlük dekapajın yarısı, 3 ekskavatör için günlük dekapajın 1/3'ü gibi olmak üzere ekskavatör sayılarına dekapaj miktarları atanmak ve atanan miktarı kaldırabilecek kepçe hacmi hesaplanmaktadır. Uzman sistemde alınacak toplam ekskavatör sayısı 10 olarak belirlenmiştir.

Belirlenen kepçe hacimleri içerisinde 1 ve 2 adet ekskavatör seçeneği 59 yd³'ün üzerinde ekskavatör bulunmadığı için değerlendirmeye alınmamaktadır. Diğer ekskavatörler içinse sorgulama ile uygun kepçe hacmi olup olmadığı kontrol edilmekte ve uygun ekskavatörler belirlenmektedir. Eğer hesaplanan kepçe hacimleri

için uygun kapasitede ekskavatör bulunmuyorsa, kepçe hacimleri 1 ve 2 yd³ arttırılarak belirlenmektedir.

Daha sonra, ekskavatörlerin zemine yaptıkları basınç değerlerine göre ekskavatörler incelenmektedir. Bu aşamada zeminin taşıma direnci belirlenmektedir. Malzeme bilgilerinden girilen malzeme türüne ve Tablo 6.7'ye göre oluşturulan kurallara bağlı olarak zeminin taşıma direnci belirlenmektedir. Bu örnekte zeminin taşıma direnci 0.23 olarak belirlenmiştir. Bundan sonra, kullanıcı tarafından verilmiş olan basamak yüksekliğine bağlı olarak seçim yapılmaktadır. Burada basamak yüksekliği 15 m olarak verilmiştir.

Kamyon kapasiteleri, daha önceden detaylı olarak açıklandığı üzere Ekskavatör kapasitesi - kamyon kapasitesi – boş kasa hacmi (m³) ilişkisi olarak verilen Excel tablolarından ve kurallardan belirlenmektedir. Kamyon sayıları belirlenirken, kamyon tur zamanını hesaplamak için ortalama kamyon hızları kullanılmış ve bu değerler çıktıda verilmiştir. Dolu gidiş için 20 km/saat ve boş dönüş içinse 30 km/saat değerleri kabul edilerek kamyon tur süresi hesaplanmıştır. Kamyon yükleme süresi ise kepçe sayısı ve ekskavatör çevrim süresine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Kamyon manevra süresi ve boşaltma süresi içinse bir değişken 2 dakika değeri atanarak sabit kabul edilmiştir. Kamyon sayısı, KappaPC içindeki fonksiyon özelliğini kullanarak formüller üzerinden hesaplatılmaktadır.

Belirlenen farklı sayılardaki ekskavatörler ve bunlara uygun kapasite ve sayıdaki kamyonlar için Tablo 6.12 ve Tablo 6.13'te verilen ekipman fiyatlara göre maliyet hesaplaması yapılmaktadır. Buna göre en düşük maliyetli alternatif olarak, 2 adet 34 yd³'lük ekskavatör ve 18 adet 320 ston'luk kamyon belirlenmiştir. Böylece, 34 yd³'lük Terex O&K RH200 marka ekskavatör ve 320 ston'luk Liebherr T272 marka kamyon optimum çözüm olarak uzman sistem tarafından sunulmuştur.

Aynı maliyet analizi kömür üretimi içinde yapılmış, 5 yd³'lük Liebherr R964 ve 40 ston'luk Euclid-Hitachi EH650 en uygun çözüm olarak elde edilmiştir.

Kapasiteleri belirlenen kamyonların veritabanındaki bilgileri çıktı dosyasına eklenerek bilgisayara kaydedilmektedir. Bu dosyanın çıktısı istendiği zaman bir metin editörü ile bilgisayarda izlenebilmekte veya bir yazıcıdan çıktı olarak alınabilmektedir. Uzman sistem çıktısı Şekil 6.16'da verilmiştir. Ayrıca, uzman

sistemde kullanılan çeşitli kural örnekleri Ekler Bölümünde Şekil B.1, Şekil B2, Şekil B.3 ve Şekil B.4'te sırasıyla verilmiştir.

Geliştirilen uzman sistem ise bilgisayar disketinde ek olarak verilmiştir.

GİRDİLER

İşyeri Adı:	Soma
Rezerv Miktarı (ton):	30000000
Yıllık Üretim Miktarı (ton/yıl): ..	960000
Dekapaj Oranı (m3/ton):	7
Kayacın Basınç Dayanımı (MPa) : ...	106
Sismik Hız (m/sn):	2800
Çatlak Aralığı (m):	1.3
Tabakalaşma Kalınlığı (m):	0.6
Ayrışma Durumu (m):	Orta derecede
Kayaç Yoğunluğu (ton/m3):	2.5
Kömür Yoğunluğu (ton/m3):	1.4
Kabarma Faktörü :	1.4
Yıllık Çalışma Günü :	270
Günlük Çalışma Saati :	14
Malzeme Türü :	Sert kum-kil vb.
Yağmur Durumu :	Az yağmurlu
Yeraltı Suyu :	Var
Basamak Yüksekliği :	14
Dekapaj Nakliye Yolu Mesafesi (m):..	3500
Kömür Nakliye Yolu Mesafesi (m): ..	1250

ÇIKTILAR

Kazılabilirlik Puanı :	90
Kazılabilirlik Sınıfı :	4
Kazı Türü :	Delme Patlatma Gerekli
Zemin Durumu :	İyi
İşletme Ömrü (yıl) :	32
Çevrim Süresi :	50
Kepçe Dolma Faktörü :	0.85
İşyeri Randımanı :	0.83
Kamyon Dolu Hızı (km/saat):	20
Kamyon Boş Hızı (km/saat):	30

ÖNERİLEN EKSKAVATÖR (Dekapaj)

Adı :	TerexO&K
Model :	RH200
Güç (HP) :	2030
Kepçe Kapasitesi (yd3) :	34
Boş Ağırlığı (ton):	480
Maks.Kazı Yüksekliği(m):	15.3
Maks.Kazı Derinliği (m):	2.5
Maks.Boşalt. Yüksekliği (m):	11.3
Zemine Uyguladığı Basınç (MPa) : ..	0.23
Adedi :	2

Şekil 6.16 Uzman sistem çıktısı (devamı arkada)

ÖNERİLEN KAMYON (Dekapaj)

Adı :	Liebherr
Model :	T272
Tip :	Damperli
Kapasite (ston) :	320
Güç (HP) :	2700
Boş Ağırlığı (ton):	151
Adedi :	18
Yedek Adedi :	3

ÖNERİLEN EKSKAVATÖR (Kömür)

Adı :	Liebherr
Model :	R964
Güç (HP) :	367
Kepçe Kapasitesi (yd3) :	5
Boş Ağırlığı (ton):	68
Maks.Kazı Yüksekliği (m):	10.4
Maks.Boşalt. Derinliği (m):	2.9
Maks.Boşalt. Yüksekliği (m):	7.2
Zemine Uyguladığı Basınç (MPa) :	0.11
Adedi :	1

ÖNERİLEN KAMYON (Kömür)

Adı :	Euclid-Hitachi
Model :	EH650
Tip :	Damperli
Kapasite (ston) :	40
Güç (HP) :	496
Boş Ağırlığı (ton):	62.6
Adedi :	5
Yedek Adedi :	1

Şekil 6.16 Uzman sistem çıktısı

6.2 Uzman Sistem Kabuğunun Tanıtılması

Ekipman seçimi uzman sistemi geliştirmek için gerekli olan uzman sistem kabuğu Intellicorp firması tarafından geliştirilmiş olan KappaPC olarak seçilmiştir. Kabuğu geliştiren Intellicorp firması son yıllarda kabuğun kaynak kodlarını ücretsiz olarak kullanıma açmıştır. İnternet üzerinden kabuğun kaynak kodlarına ulaşmak mümkündür (www.intellicorp.com). KappaPC'nin ana ekranı Şekil 6.17'de verilmiştir.

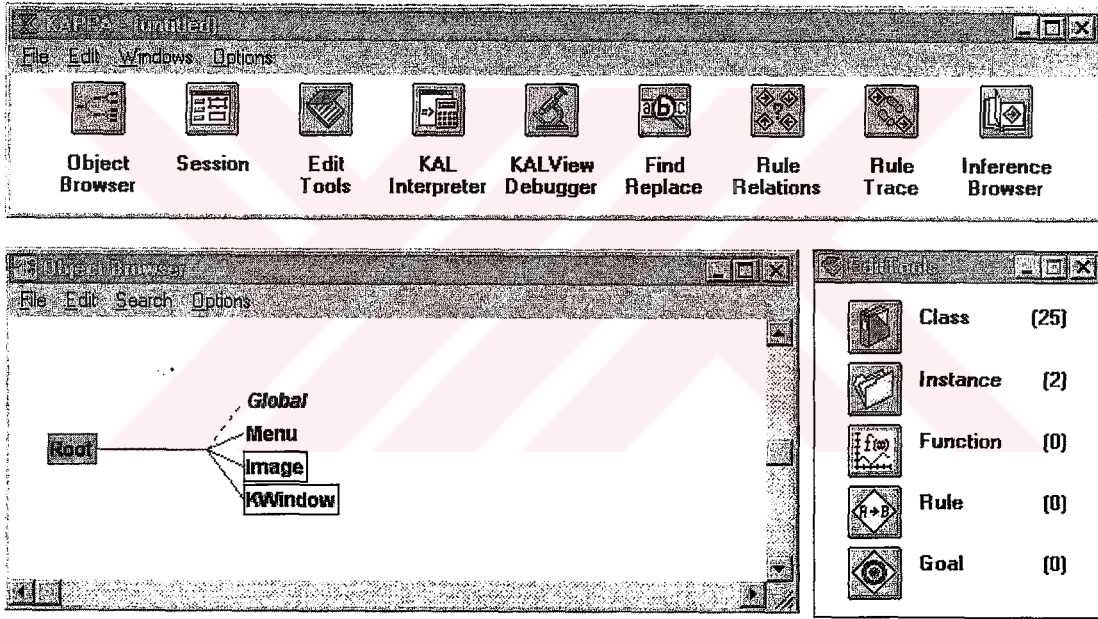
KappaPC, Intelli Corp. tarafından geliştirilen bir uzman sistem kabuğudur. Büyük sistemlere uygun olarak geliştirilen KEE ve ProKappa gibi kabuklara benzer olarak, fakat Windows ortamı için geliştirilmiş olan bir kabuktur.

KappaPC nesne düzenlemeli olarak çalışmaktadır. Sistem, kural tabanlı ve çerçeveye dayalı bilgi temsilini desteklemektedir. Kurallar, ileri ve geriye zincirleme şeklinde taranabilmektedir.

KappaPC, diğer veri tabanı ve tablo programlarına bağlanarak veri alışverişi yapmayı desteklemektedir. Her türlü Windows ve DOS programını çalıştırabilmektedir.

Şekil 6.17'den görüldüğü üzere KappaPC'nin üç ana ekranı bulunmaktadır. En üstte KappaPC'nin kendi ana ekranı bulunmaktadır. "Object Browser" ekranı, geliştirilen programın yapısını grafiksel olarak görmeyi ve gerekirse üzerinde düzeltme yapılmasına imkan veren bir penceresidir. "EditTools" ekranı ise veri, kural veya fonksiyonların sisteme girilmesini sağlayan ekrandır.

KappaPC'nin dezavantajı ise kesinlik faktörü (certainty factor) olmamasıdır. Grafik özelliği olarak ise sadece bitmap (bmp) ve Windows metafile (wmf) grafik dosyalarını desteklemektedir.



Şekil 6.17 KappaPC ana ekranı

7 SONUÇLAR

Maden işletmeleri, birbirinden farklı ve kendilerine özel çalışma koşullarına sahiptirler. Bunlar, maden yatağının kendisine ait özelliklerinden ve işletmenin bulunduğu bölgeye ait özelliklerden kaynaklanmaktadır. Bu özellikler; sahanın jeolojik yapısı, maden yatağının jeomekanik özellikleri, rezerv miktarı, üretim miktarı, işletmenin kotu, iklim şartları, yeraltı suyu geliri vb. gibi parametrelerden oluşmakta ve her maden yatağı ve işletme için farklılıklar göstermektedir. Bu yüzden, parametrelerin işletmelerin kendi çalışma şartlarına göre değerlendirilmesi ve her işletme için farklı çözümün elde edilmesi gerekliliği açıktır.

Açık işletmelerde ekipman seçimi, açık maden işletmeciliğinin en önemli kısımlarından birini teşkil etmektedir. Açık işletmelerde kullanılan ekipmanlar, satın alma maliyetleri çok yüksek olan büyük kapasiteli iş makineleridir. Ayrıca bu makineler gerek satın alınmalarında, gerekse de yedek parça temininde büyük oranda yurt dışına bağımlıdır. Bu yüzden ekipmanların işletme şartlarına uygun seçilmesi ve kullanılması, hem işletme maliyetlerini, hem de verimli bir üretim yapılmasını etkileyen en önemli unsurdur.

Açık işletmelerde ekipman seçimi için klasik teknikler, yöneylem araştırması teknikleri ve Yapay Zeka teknikleri gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Günümüzde, Yapay Zeka teknikleri endüstrinin bütün alanlarında olduğu gibi madencilik sektörünün değişik alanlarında da uygulamalar bulmuştur. Endüstride ve üniversitelerde araştırma amaçlı olarak Yapay Zeka teknikleri ile geliştirilmiş olan bir çok program olmasına rağmen bunların içinde madencilik amaçlı olarak geliştirilen Yapay Zeka programları azınlıktadır. Madencilikte, Yapay Zeka teknikleri uygulanarak yapılan çalışmaların hızla artması ve diğer endüstri alanlarındaki gelişmeleri yakalaması için bu çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, açık işletmelerde ekipman seçimi için Yapay Zeka tekniklerinden biri olan Uzman Sistemler kullanılarak bir ekipman seçimi uzman sistemi geliştirilmiştir. Ekipman seçimi uzman sistemi, ekipman seçimini etkileyen parametrelerin ve bu

parametrelerin birbirleri ile olan ilişkilerinin ortaya konulduğu, aynı zamanda uzman görüşleri ile desteklenen ve herkesin kolaylıkla kullanabileceği bir program olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen uzman sistem, açık işletmelerde günümüzde kullanımı hızla artan bir üretim yöntemi olan hidrolik ekskavatör-kamyon yöntemi için en uygun ekskavatör ve kamyon seçimini gerçekleştirmektedir.

Geliştirilen uzman sistem, kullanıcılara bir seri sorular yönelterek kazılacak malzeme ve işletme ile ilgili bilgileri toplamakta ve elde edilen bilgilere bağlı olarak ekipman seçimi yapmaktadır. Bu sorgulama sırasında, kazıcı ekipman seçiminde en önemli parametre olan kazılabilirlik de belirlenmektedir. Kazılabilirliğin belirlenmesi için bir çok araştırmacı tarafından geliştirilen çeşitli kazılabilirlik sınıflamaları, yapılan detaylı literatür incelemeleri sonucu belirlenmiş ve bu çalışmaların doğrultusunda, geliştirilen uzman sistemde kullanılmak üzere uygun bir kazılabilirlik sınıflaması oluşturulmuştur. Uzman sistemin ilk aşaması olan kazılabilirliğin belirlenmesinde, bu sınıflama sistemi kullanılmıştır.

Uzman sistem tarafından, kazılabilirliğin belirlenmesinden sonra kullanıcıya malzeme, üretim ve işletme koşulları ile ilgili sorular yöneltilerek gerekli olan diğer bilgiler de alınmakta ve ilk adımda en uygun ekskavatör belirlenmektedir. Ekskavatör seçimi için ilk olarak üretim miktarına bağlı olarak kepçe hacminin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra zeminin taşıma gücü ve basamak yüksekliği parametreleri de incelenmektedir.

Uzman sistem tarafından ekskavatör seçimi yapıldıktan sonra, seçilen ekskavatöre en uygun kapasitedeki kamyonu belirlemektedir. Burada, ekskavatör tarafından 4-6 kepçede doldurulan kamyonlardan kasa hacmi en az boş kalan kamyon en uygun kamyon olarak seçilmektedir. Bunun için geliştirilmiş olan ekskavatör kapasitesi-kamyon tonajı-kamyon boş kasa hacmi tabloları kullanılmaktadır. Tablolar, kepçe dolma faktörünün ve kabarma faktörünün artan değerlerine karşılık çeşitli kapasitedeki ekskavatör ve kamyonlar için oluşturulmuştur. Seçilen kamyon kapasitesinde farklı markada kamyonlar bulunabilmektedir. Bunlar arasından da ilk olarak HP/ton oranı, birden fazla uygun kamyon olması durumunda ise ek seçim kriteri olarak motor gücü en yüksek olan kamyon seçilmektedir.

Optimum hidrolik ekskavatör-kamyon kombinasyonunun belirlenmesi için, ekipmanların satın alma maliyetlerine bağlı olarak inceleme yapılmıştır. İstenilen

retimi sağlayan farklı kapasite ve sayılardaki uygun ekskavatör ve kamyon alternatifleri için en düşük satın alma maliyetini veren ekskavatör ve kamyon kombinasyonu optimum çözüm olarak uzman sistem tarafından sunulmaktadır.

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



KAYNAKLAR

- Allahverdi, N., 2002. Uzman Sistemler - bir yapay zeka uygulaması, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Atkinson, T., Waller, M.D., and Denby, B., 1987. Future concepts in surface mining operations, *The Mining Engineer*, April, 627-637.
- Atkinson, T., 1971. Selection of open-pit excavating and loading equipment. *Trans.Inst.Min.Metal. (Sect.A:Min.Industry)*, **80**, A101-129.
- Atkinson, T., 1992. Selection and sizing of excavating equipment, *SME Mining Engineering Handbook - 2nd Edition*, Howart L. Hartman, (Ed.), **2**, 1311-1333.
- Aydın, B., Çelebi, N and Paşamehmetoğlu, A.G., 1988. A model for drilling machine selection, *Mine Planning and Equipment Selection*, Singhal (Ed.), 383-388.
- Badopadhyay, S. and Venkatasubramanian, P., 1987. A Rule-based system for mining method selection, *CIM Bulletin*, **81**, 84-88.
- Badopadhyay, S. and Venkatasubramanian, P., 1990. A fault-diagnostic expert system for walking draglines, *Mining Science and Technology*, **11**, 71-83.
- Başçetin, A. ve Kesimal, A., 1999. Açık işletmelerde yükleme-taşıma sistemi seçiminde yeni bir yaklaşım, *Türkiye 16. Madencilik Kongresi*, Ankara, 57-64.
- Berzonsky, B., 1990. A knowledge-based electrical diagnostic system for mining machine maintenance, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **26**, 342-346.
- 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.
- Brown, D.J., Denby, B and Singh, R.N., 1988. An expert system for slope stability assessment: Part II, *International Journal of Surface Mining*, **2**, 93-98.
- Burkert, A. and Hall, A.E., 1992. An information system to prevent sulphide dust ignition, *CIM Bulletin*, **87**, 80-82.

- Calder, P.N.**, 1993. Planning shovel truck fleet requirements for open pit mining operations. *Innovative Mine Design for the 21st Century*, Bawden & Archibald (eds), 347-354.
- Camm, T.W. and Smith, M.L.**, 1992. An object-oriented expert system for underground mining method selection and project evaluation, 23rd *APCOM Proceedings*, Kim (Ed), 910-916.
- Caterpillar Performance Handbook**, 1999. Edition 30, Caterpillar Inc., USA.
- Cebesoy, T.**, 1995. Madencilikte bilgisayara dayalı yapay zeka teknikleri uygulamaları, *Türkiye 14. Madencilik Kongresi*, Ankara, 179-188.
- Cebesoy, T.**, 1997. Çok kriterli bulanık dominant algoritmasına dayalı açık işletme ekipman seçimi, *Türkiye 15. Madencilik Kongresi*, Ankara, 79-87.
- Ceylanoğlu, A., Karpuz, C. and Paşamehmetoğlu, A.G.**, 1994. "Specific digging energy as a measure of diggability", *Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Paşamehmetoğlu et al (Eds), İstanbul, 489-494.
- Chhipa, V.K. and Sengupta, M.**, 1995. Artificial intelligence in surface coal mine planning, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 9, 47-51.
- Clarke, M.P., Denby, B. and 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.
- Çebi, Y., Köse, H. and Yalçın, E.**, 1994. A computer program for the selection of open pit mining equipment and economical evaluation of open pit mining Methods, *Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Paşamehmetoğlu et al (Eds), İstanbul, 417-421.
- Denby, B. and Atkinson, T.**, 1988. Expert system applications in the mining industry, *The Mining Engineer*, May, 505-509.
- Denby, B. and 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.
- Denby, B. and Shofield, D.**, 1992. Dragline selection using intelligent computer techniques, *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. A: Min. Industry)*, 101, A79-84.

- Denby, B.**, 1992. Decision support system for mine design applications, *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. A: Min. Industry)*, **101**, A144-148.
- Denby, B. and Ren, T.X.**, 1992. A knowledge-based decision support system for spontaneous combustion control, *The Mining Engineer*, **151**, 253-258.
- Drevdahl, E.R.**, 1963. Fundamentals of Excavation Equipment for Engineering And Technology, Roadrunner Technical Publications, Arizona.
- Erçelebi, S.G.**, 1997. Shovel-truck simulation in surface mining and comparison with a cyclic queueing model, *11th European Simulation Multiconference (ESM'97)*, Kaylan and Lehmann (Eds.), İstanbul, 787-791.
- Erçelebi, S.G and Kirmanlı, C.**, 2000. Review of surface mining equipment selection techniques, *Mine Planning and Equipment Selection 2000*, Panagiotou and Michalakopoulos (Eds.), Greece, 547-553.
- Erdem, B.**, 1990. Expert system for overburden removal equipment selection in surface coal mines, *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Erdem, B., Çelebi, N. and Paşamehmetoğlu, A.G.**, 1994. Development of an expert system for dragline and stripping method selection, *Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Paşamehmetoğlu et al (Eds), İstanbul, 595-601.
- Erdem, B. and Çelebi, N.**, 1995. Development of an expert system for stripping equipment selection in surface coal mines, *International Scientific Conference on the Occasion of 50th Anniversary of Moving the Technical University from Příbram to Ostrava*, Petros, V. (Ed.), September, Ostrava, Czech Republic, 46-51.
- Erdem, B., Çelebi, N. and Paşamehmetoğlu, A.G.**, 1996. An expert system for stripping method and dragline selection, *Fifth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Hennies, da Silva, and Chaves (Eds.), Ekim, Sao Paulo, Brasil.
- Erdem, B., Çelebi, N. and Paşamehmetoğlu, A.G.**, 1998. Optimum dragline selection for strip coal mines, *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. A: Mining Industry)*, **107**, A13-24.
- Fytas, K., Collins, J.L., Flament, F., Galibois, A and Singhal, R.**, 1988. Potential applications of knowledge-based systems in mining, *CIM Bulletin*, **81**, 38-43.
- Ganguli, R. and Bandopadhyay, S.**, 2002. Expert system for equipment selection, *International Journal of Surface Mining, reclamation and Environment*, **16**, 163-170.

- Gökay, M.K.**, 1994. Interaction matrix concept application in equipment selection, *Mine Planning and Equipment Selection*, Paşamehmetoğlu et al. (eds), İstanbul, 583-588.
- Grayson, L.A., Watts, M.C., Singh, H., Yuan, S., Dean, J.M., Reddy, N.P. and 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.
- Haidar, A.D and Naoum, S.G.**, 1996. Opencast mine equipment selection using genetic algorithms, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, **10**, 61-67.
- Kappas, G. and Yegulalp, T.**, 1991. Application of closed queuing networks theory in truck-shovel system, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, **1**, 45-53.
- Kesimal, A.**, 1995. Açık işletmelerde en uygun ocak içi nakliye ekipmanlarının seçiminde geliştirilen modelleme sistemi, *Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu*, İzmir, 105-108.
- King, R.L.**, 1987. Design of a methane control expert system, *Proc. of the International Symposium on Underground Mining and Technology*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 11-19.
- Kocabaş, Ş.**, 2002. Yapay zeka araştırma alanları ve 21. yüzyılda yapay zeka, *BUMAT Seminer Notları*, İstanbul.
- Koenigsberg, E.**, 1958a. Cyclic queues, *Operational Research Quarterly*, **9**, 22-35.
- Koenigsberg, E.**, 1958b. An operations research approach to mine haulage, *Mining Congress Journal, Part I*, 64-70.
- Koenigsberg, E.**, 1959. An operations research approach to mine haulage, *Mining Congress Journal, Part II*, 53-56.
- Lambert C. JR. and Mutmanský, J.M.**, 1973. Application of integer programming to effect optimum truck and shovel selection in open pit mines, *Proc. 11th Conf. of APCOM*, Arizona, A75-105.
- Lessard, D., Demers, R. and Billette, N.R.**, 1992. Improving hoist safety and productivity: an expert system prototype, *CIM Bulletin*, **85**, 71-75.
- Lillie, N, Obradovic, I and Stankovic, R.**, 1997. Ventex: An expert system for mine ventilation systems analysis, *Mining Technology*, **79**, 295-302.
- Lizotte, Y.**, 1988. Economic and technical relations between open-pit design and equipment selection, *Mine Planning and Equipment Selection*, Singhal (ed.), 3-13.

- Maehlmann, H.**, 1988. Application of large hydraulic excavators in open-pit mines and basic parameters for the selection of excavator and truck size, *Mine Planning and Equipment Selection*, Singhal (ed.), 247-253.
- Maslyn, R.M.**, 1986. EXPLOR and PROSPECTOR – Expert systems for oil and gas and mineral exploration, *Computer & Geology*, **5**, 89-103.
- 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.
- Morgan, B.**, 1994. Cost effective equipment applications zones, *Third International Symposium on Mine planning and equipment selection*, Paşamehmetoğlu et al (Eds), İstanbul, 323-328.
- Morgan, W.**, 1975. Fleet production and cost program, *Caterpillar Tractor Co.*, Peoria, Ill.
- Muduli, P.K. and Yegulalp, T.M.**, 1996. A simulation model for truck-shovel systems with multiple classes of trucks, *Proceedings of the First International Symposium on Mine Simulations via the Internet*.
- Mutagwaba, W.K. and 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*, Ankara, 29-37.
- Nasuf, E. and Yazıcı, S.**, 1994. A prototype expert system for blasting design, *Third International Symposium on Mine planning and equipment selection*, Paşamehmetoğlu et al (Eds), İstanbul, 619-624.
- Nasuf, E., Yazıcı, S. ve Kırmanlı, C.**, 1995. Patlayıcı maddeler ile kazı tasarımı için uzman sistem geliştirilmesi, *TUBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu*, Proje No: YBAG-125, İstanbul.
- Özgenoğlu, A and Öcal, A.**, 1994. ŞEVDUR: An expert system for slope stability analysis, *Third International Symposium on Mine planning and equipment selection*, Paşamehmetoğlu et al (Eds), İstanbul, 625-628.
- Panagiotou, G.N., Michalakopoulos, T.N.**, 1994. Analysis of shovel-truck operations using STRAPAC, *Mine Planning and Equipment Selection*, Paşamehmetoğlu et al. (eds), Balkema, 295-300.

- Panagiotou, G.N., Michalakopoulos, T.N., 1996.** STRAPAC2 – A tool for planning and analysis of shovel-truck operations, *Proceedings of the First Symposium on Mine Simulations via the Internet*.
- Paşamehmetoğlu, G.N., 1988.** Jeoteknik ve performans verilerinin değerlendirilmesi, kazılabilirlik sınıflama sisteminin önerilmesi, TKİ Final Raporu, 150.
- Pfleider, E.P., 1972.** Surface Mining, The Maple Press Company, 1061.
- Ramani, V., Iroegbu, M., and Manula, C.B., 1976.** Application of a total system surface mine simulator to coal stripping, equipment selection models, **3**, *Final Report*, Penn State University, Pennsylvania, 213.
- Ren, T.X. and Richards, M.J., 1994.** A computerized system for the study of the spontaneous combustion of coal, *The Mining Engineer*, November, 121-127.
- Rolston, D.W., 1988.** Principles of Artificial Intelligence and Expert Systems Development, McGraw-Hill Book Company, New York, 257.
- Rossouw, P.A., 1995.** Mining expert systems: A look at shells and languages, *Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, **9**, 53-56.
- Rumfelt, H., 1961.** Computer methods for estimating, “Proper machine mass for stripping overburden”, *Mining Engineering*, **13**, 5.
- Rzhevsky, V.V., 1985.** Opencast Mining Unit Operations, Mir Publisher, Moscow, 478.
- Scheck, E.S., 1988.** Expanded expert system for blast design, *Mine planning and equipment selection*, Paşamehmetoğlu et al (Eds), İstanbul, 361-367.
- Sinha, A.K and Sengupta, M., 1989.** Expert system approach to slope stability, *Mining Science and Technology*, **8**, 21-29.
- Singhal, R.K. and Fytas, K., 1986.** Optimization of loading and hauling operations in surface mining, *3rd Conference on the Use of Computers in the Coal Industry*, 119-129.
- SME Mining Reference Handbook, 2002.** Raymond L. Lowrie, PE (Ed.), Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., USA.
- Taşgetiren, M.F., 1997.** Uzman sistemler, *Otomasyon*, **57**, 100-105.
- Turban, E., 1992.** Expert Systems and Applied Artificial Intelligence, Macmillan Publishing Company, New York.

Wade, N.H. and Clark, P.R., 1989. Material diggability assessment for BWE stripping of plain coal, *International Journal of Surface Mining*, **3**, 35-41.

Waterman, D.A., 1986. A guide to expert systems, Addison Wesley Publishing Company, USA, 419.

www.intellicorp.com/products/kappapc/download/kappapc-gpl.htm

Yazıcı, S., Nasuf, E. ve Kırmanlı, C., 1995. Patlayıcı kazı tasarımı için bir karar destek sistemi - PATAS, *Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu*, İzmir, 147-154.

Yavuzer, Y., 1996. Uzman Sistemler ve Yapay Zeka, Harp Akademileri Komutanlığı Yayınları, İstanbul, 49-65.

Zakaria, S., 1994. Automatic haulage truck (AHT) expert system, *CIM Bulletin*, **87**, 74-77



EKLER



Tablo A1. Ekskavatör Veritabanı

Marka	Model	Tip	Güç (HP)	Kepçe Kapasitesi (yd ³)	Boş Ağırlığı (ton)	Koparma Kuvveti (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Maksimum Kazı Yüksekliği (m)	Maksimum Kazı Derinliği (m)	Maksimum Boşaltma Yüksekliği (m)
Terex O&K	RH 400	Düz kepçe	4000	58,9	900	3300	2400	20,5	2,5	9,0
Terex O&K	RH 200	Düz kepçe	2030	34,0	480	1800	1500	15,3	2,5	11,3
Terex O&K	RH 200	Ters kepçe	2060	29,6	483	1200	1200	16,7	9,3	11,2
Terex O&K	RH 170	Düz kepçe	1662	23,5	360	1500	1200	14,0	2,5	11,3
Terex O&K	RH 170	Ters kepçe	1662	22,9	360	980	970	17,4	7,3	11,3
Terex O&K	RH 120-E	Düz kepçe	1280	19,6	265	1370	920	13,8	2,3	10,6
Terex O&K	RH 120-E	Ters kepçe	1280	19,6	265	900	800	14,1	6,2	14,1
Terex O&K	RH 90C	Düz kepçe	866	13,1	163	870	750	13,0	2,2	10,0
Terex O&K	RH 90C	Ters kepçe	866	11,6	165	550	550	13,4	9,4	9,5
Terex O&K	RH 40E	Düz kepçe	607	9,2	100	650	500	11,0	2,1	8,0
Terex O&K	RH 40E	Ters kepçe	607	8,0	100	400	380	13,2	8,8	8,4
Terex O&K	RH 30-F	Ters kepçe	494	6,3	90	335	415	12,6	9,2	9,0
Terex O&K	RH 30-E	Düz kepçe	436	6,3	80	530	400	8,8	2,2	6,7
Hitachi	EX750	Düz kepçe	434	5,8	77	440	365	13,5	5,0	7,9

Tablo A1 Ekskavatör Veritabanı (devam)

Marka	Model	Tip	Güç (HP)	Kepçe Kapasitesi (yd ³)	Boş Ağırlığı (ton)	Koparma Kuvveti (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Maksimum Kazı Yüksekliği (m)	Maksimum Kazı Derinliği (m)	Maksimum Boşaltma Yüksekliği (m)
Hitachi	EX750	Ters kepçe	434	5,4	75	440	365	15,7	10,6	8,0
Hitachi	EX1100	Düz kepçe	600	8,2	105	755	555	11,4	5,2	8,8
Hitachi	EX1100	Ters kepçe	600	8,5	103	540	450	17,4	11,4	9,0
Hitachi	EX1800	Düz kepçe	1000	19,0	180	910	666	13,4	6,0	10,4
Hitachi	EX1800	Ters kepçe	1000	18,3	180	564	588	21,9	14,5	10,5
Hitachi	EX2500	Düz kepçe	1300	18,3	236	968	843	14,0	3,7	10,3
Hitachi	EX2500	Ters kepçe	1300	18,1	236	740	750	17,0	8,6	10,5
Hitachi	EX3500	Düz kepçe	1760	32,7	334	1100	1029	15,8	6,0	12,5
Hitachi	EX3500	Ters kepçe	1760	32,7	330	910	931	19,0	9,0	12,8
Hitachi	EX5500	Düz kepçe	2600	35,5	515	1750	1570	16,6	4,6	13,2
Hitachi	EX5500	Ters kepçe	2600	38,0	515	1220	1316	21,0	9,0	13,6
Hitachi	EX750V	Ters kepçe	434	5,4	75	440	365	13,5	10,5	7,9
Liebherr	R 954	Ters kepçe	294	5,0	52	225	260	10,7	7,5	7,3
Liebherr	R 964	Ters kepçe	346	6,6	64	250	300	11,8	8,0	8,0

Tablo A1 Ekskavatör Veritabanı (devam)

Marka	Model	Tip	Güç (HP)	Kepçe Kapasitesi (yd ³)	Boş Ağırlığı (ton)	Koparma Kuvveti (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Maksimum Kazı Yüksekliği (m)	Maksimum Kazı Derinliği (m)	Maksimum Boşaltma Yüksekliği (m)
Liebherr	R 964	Düz kepçe	367	5,0	68	426	350	10,4	2,9	7,2
Liebherr	R 974 B	Ters kepçe	471	9,2	85	330	405	14,0	9,4	9,4
Liebherr	R 974 B	Düz kepçe	471	9,8	85	550	450	11,4	3,1	8,0
Liebherr	R 984 B	Ters kepçe	680	12,6	112	410	505	14,5	9,2	9,7
Liebherr	R 984 B	Düz kepçe	680	13,8	112	660	550	12,5	3,6	8,9
Liebherr	R 984 C	Ters kepçe	676	13,0	118	416	550	13,7	9,2	8,9
Liebherr	R 984 C	Düz kepçe	676	13,7	117	750	550	16,4	3,8	12,0
Liebherr	R 992	Ters kepçe	782	12,5	141	480	600	15,2	8,3	9,9
Liebherr	R 992	Düz kepçe	782	15,7	144	900	650	13,9	3,8	11,0
Liebherr	R 994	Ters kepçe	1273	23,6	214	638	725	16,2	8,6	10,7
Liebherr	R 994	Düz kepçe	1273	26,2	221	960	886	15,6	3,9	11,0
Liebherr	R 995	Ters kepçe	2146	30,0	411	1150	1400	18,4	9,2	10,5
Liebherr	R 995	Düz kepçe	2146	30,0	414	1800	1400	15,0	4,5	13,1
Liebherr	R 996	Ters kepçe	3000	43,1	648	1670	1500	16,6	8,8	10,5

Tablo A1 Ekskavatör Veritabanı (devam)

Marka	Model	Tip	Güç (HP)	Kepçe Kapasitesi (yd ³)	Boş Ağırlığı (ton)	Koparma Kuvveti (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Maksimum Kazı Yüksekliği (m)	Maksimum Kazı Derinliği (m)	Maksimum Boşaltma Yüksekliği (m)
Liebherr	R 996	Düz kepçe	3000	44,4	653	2340	1905	20,4	3,9	14,3
Caterpillar	5230	Düz kepçe	1470	22,2	319	1250	1125	15,0	3,9	11,0
Caterpillar	5230 ME	Ters kepçe	1470	36,0	317	874	873	15,0	9,4	9,8
Caterpillar	5130B	Düz kepçe	800	14,5	181	770	715	13,4	3,2	8,7
Caterpillar	5130B ME	Ters kepçe	800	24,0	182	624	672	14,2	8,4	9,2
Caterpillar	5080	Düz kepçe	428	6,8	84	434	451	11,0	2,7	8,0
Caterpillar	375	Ters kepçe-I	428	5,8	76	325	421	14,5	10,8	10,4
Caterpillar	375	Ters kepçe-II	428	7,3	79	291	371	14,5	10,8	10,4
Caterpillar	375 L	Ters kepçe-I	428	5,8	79	325	421	14,5	10,6	10,3
Caterpillar	375 L	Ters kepçe-II	428	7,3	81	291	371	14,5	10,6	10,3
Komatsu	H135S	Düz kepçe	730	13,6	140	660	660	13,5	3,1	9,5
Komatsu	H255S	Düz kepçe	1207	18,3	240	1100	1000	15,4	3,2	10,3
Komatsu	H285S	Düz kepçe	1580	25,0	335	1200	1200	17,8	3,5	12,8
Komatsu	H455S	Düz kepçe	2236	33,0	490	1700	1600	19,0	2,9	14,0

Tablo A1 Ekskavatör Veritabanı (devam)

Marka	Model	Tip	Güç (HP)	Kepçe Kapasitesi (yd ³)	Boş Ağırlığı (ton)	Koparma Kuvveti (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Maksimum Kazı Yüksekliği (m)	Maksimum Kazı Derinliği (m)	Maksimum Boşaltma Yüksekliği (m)
Komatsu	H485S	Düz kepçe	3000	44,0	640	2100	2100	19,8	2,8	14,0
Komatsu	H485SP	Düz kepçe	3730	46,0	685	2200	2100	20,1	2,7	14,0
Komatsu	H655S	Düz kepçe	3714	46,0	685	2400	2360	20,1	2,5	14,0
Komatsu	H135S	Ters kepçe	730	11,1	140	500	500	14,5	8,0	10,0
Komatsu	H255S	Ters kepçe	1207	18,3	240	780	770	14,5	8,7	9,5
Komatsu	H285S	Ters kepçe	1675	20,0	335	950	1000	16,2	8,9	10,4
Komatsu	H455S	Ters kepçe	2236	33,5	490	1270	1400	14,5	7,8	10,5
Komatsu	H485S	Ters kepçe	3000	34,0	640	1500	1500	15,2	9,2	12,6
Komatsu	H485SP	Ters kepçe	3730	44,0	685	1600	1600	20,1	9,5	13,8
Komatsu	H655S	Ters kepçe	3714	40,0	685	1600	1600	18,8	9,8	12,8
Komatsu	PC750-6	Ters kepçe	444	5,3	77	181	296	12,8	10,4	8,9
Komatsu	PC750LC-6	Ters kepçe	444	5,3	81	181	296	12,8	10,4	8,9
Komatsu	PC750SE-6	Ters kepçe	444	6,0	78	331	391	11,5	7,0	7,6
Komatsu	PC750-6	Düz kepçe	444	5,9	74	331	391	10,5	3,0	7,2

Tablo A1 Ekskavatör Veritabanı (devam)

Marka	Model	Tip	Güç (HP)	Kepçe Kapasitesi (yd ³)	Boş Ağırlığı (ton)	Koparma Kuvveti (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Maksimum Kazı Yüksekliği (m)	Maksimum Kazı Derinliği (m)	Maksimum Boşaltma Yüksekliği (m)
Komatsu	PC1100-6	Ters kepçe	611	9,0	103	422	392	13,9	10	14,1
Komatsu	PC1100SP-6	Ters kepçe	611	7,0	112	471	392	13,0	7,9	13,7
Komatsu	PC4000	Düz kepçe	1875	28,0	362	1330	1250	15,0	3,4	13,5
Komatsu	PC4000	Ters kepçe	1875	29,0	362	1050	1155	18,4	8,0	10,7
Komatsu	PC1800-6	Ters kepçe	908	15,7	184	518	621	16,6	10,8	11,5
Komatsu	PC8000	Düz kepçe	3714	46,0	755	2320	2320	14,5	2,8	14,0
Komatsu	PC5500	Düz kepçe	2504	33,0	540	1700	1600	14,5	2,9	14,0
Komatsu	PC5500	Ters kepçe	2504	36,6	540	1270	1400	16,4	7,6	13,8
Komatsu	PC3000-6	Düz kepçe	1207	18,3	265	1100	1000	13,8	2,8	8,5
Komatsu	PC3000-6	Ters kepçe	1207	16,5	240	780	770	14,5	7,8	10,5
Komatsu	PC1400	Ters kepçe	728	12,4	140	500	500	14,2	8,2	9,2
Komatsu	PC1400	Düz kepçe	728	13,6	140	660	660	13,5	3,1	9,7
Volvo	EC460	Ters kepçe	296	5,0	46	170	239	13,4	9,2	8,1

Tablo A2 Kamyon Veritabanı

Marka	Model	Tip	Kapasite		Güç (flywheel)	Kasa Hacmi		Boş Ağırlığı	HP/ton Oranı
			ston	ton		Silme yd ³	Yığma yd ³		
Liebherr	T252	Damperli	215	195	2025	100,0	141,0	129,0	10
Liebherr	T262	Damperli	240	218	2500	110,0	156,0	152,0	11
Liebherr	T272	Damperli	320	290	2700	150,0	230,0	151,0	9
Liebherr	T282	Damperli	360	327	3500	160,0	240,0	203,0	11
Caterpillar	769D	Damperli	41	37	485	21,2	30,7	31,3	13
Caterpillar	771D	Damperli	44	40	485	23,6	33,8	34,0	12
Caterpillar	773D	Damperli	58	52	650	34,0	44,6	40,2	12
Caterpillar	777D	Damperli	69	63	693	40,6	54,3	44,0	11
Caterpillar	777D	Damperli	106	97	938	55,0	78,6	64,4	10
Caterpillar	785C	Damperli	150	136	1290	74,0	102,0	96,4	9
Caterpillar	789C	Damperli	195	177	1705	96,0	137,0	121,5	10
Caterpillar	793C	Damperli	240	218	2166	126,0	169,0	147,5	10
Caterpillar	797	Damperli	360	326	2395	228,0	290,0	262,0	7
Caterpillar	D400E	Treyler	40	36	405	21,6	28,8	29,3	11
Caterpillar	D350E	Treyler	35	32	340	19,1	25,1	27,9	11
Caterpillar	D300E	Treyler	30	27	285	17,0	21,6	22,0	10
Caterpillar	D250E	Treyler	25	23	260	13,7	18,0	20,1	11
Caterpillar	D30D	Treyler	30	27	285	16,4	21,6	21,7	10
Caterpillar	D25D	Treyler	25	23	260	13,0	18,0	19,5	11
Terex	TR35	Damperli	35	32	319	20,0	25,0	23,0	10

Tablo A2 Kamyon Veritabanı (devam)

Marka	Model	Tip	Kapasite		Güç (flywheel)	Kasa Hacmi		Boş Ağırlığı	HP/ton Oranı
			ston	ton		Silme	Yığma		
					HP	yd ³	yd ³	ton	
Terex	TR40	Damperli	40	36	444	22,5	31,2	35,0	12
Terex	TR45	Damperli	45	41	495	25,6	34,0	35,0	12
Terex	TR60	Damperli	60	55	620	34,0	46,0	41,0	11
Terex	TR70	Damperli	72	65	700	38,0	54,3	47,0	11
Terex	TR100	Damperli	100	91	975	54,4	74,5	69,0	11
Terex	TA25	Treyler	25	23	264	14,4	17,6	20,0	11
Terex	TA30	Treyler	30	27	287	16,0	21,0	21,0	11
Terex	TA35	Treyler	35	32	338	19,0	25,5	28,0	11
Terex	TA40	Treyler	40	36	380	22,2	28,8	29,5	10
Terex	2566C	Treyler	25	23	244	14,4	17,6	19,4	11
Terex	2766C	Treyler	27	25	244	16,4	19,6	19,6	10
Terex	3066C	Treyler	30	27	287	17,0	21,0	20,6	11
Terex	4066C	Treyler	40	36	375	22,2	28,8	28,7	10
Unit Rig	MT-3000	Damperli	120	109	1125	56,0	91,0	97,5	10
Unit Rig	MT-3300	Damperli	150	136	1279	82,0	114,0	105,0	9
Unit Rig	MT-3600B	Damperli	190	172	1875	101,0	146,0	116,0	11
Unit Rig	MT-3600B	Damperli	170	154	1875	81,0	128,0	116,0	12
Unit Rig	MT-3700B	Damperli	205	186	1875	121,0	161,0	131,0	10
Unit Rig	MT-3700B	Damperli	190	172	1875	101,0	146,0	130,5	11
Unit Rig	MT-4400	Damperli	260	236	2287	131,0	188,0	156,0	10
Unit Rig	MT-5500	Damperli	360	326	2478	207,0	285,0	217,0	8

Tablo A2 Kamyon Veritabanı (devam)

Marka	Model	Tip	Kapasite		Güç (flywheel)	Kasa Hacmi		Boş Ağırlığı	HP/ton Oranı
			ston	ton		Silme	Yığma		
Unit Rig	BD 270	Treyler	270	245	1885	290,0	354,0	188,0	8
Payhauler	350C	Damperli	50	45	607	31,1	41,8	33,0	13
Belaz	7512	Damperli	132	120	1200	68,0	92,0	90,0	10
Belaz	7513	Damperli	143	130	1601	67,0	97,0	105,0	12
Belaz	7521	Damperli	198	180	2267	110,0	144,0	157,0	13
Belaz	7530	Damperli	221	200	2366	105,0	150,0	151,0	12
Belaz	7540	Damperli	33	30	389	20,0	24,2	22,0	13
Belaz	7547	Damperli	50	45	601	26,0	34,3	31,0	13
Belaz	7548	Damperli	46	42	601	28,0	34,0	29,5	14
Belaz	7549	Damperli	88	80	1017	46,0	60,2	67,0	13
Belaz	7555	Damperli	61	55	690	33,0	45,0	40,2	13
Komatsu	HD255-5	Damperli	28	25	316	14,9	20,1	30,0	13
Komatsu	HD325-6	Damperli	40	36	488	23,5	31,4	28,7	13
Komatsu	HD465-5	Damperli	61	55	715	32,7	44,7	41,1	13
Komatsu	HD605-5	Damperli	67	61	715	37,9	52,3	46,0	12
Komatsu	HD785-5	Damperli	100	91	1010	50,5	78,7	70,0	11
Komatsu	HD985-5	Damperli	116	105	1010	58,9	83,7	73,7	10
Komatsu	HD1500-5	Damperli	165	150	1406	71,0	102,0	100,5	9
Komatsu	330M	Damperli	100	91	1010	50,5	78,7	69,0	11
Komatsu	530M	Damperli	165	150	1377	71,0	102,0	100,0	9
Komatsu	630E	Damperli	190	172	1911	101,0	135,0	124,0	11

Tablo A2 Kamyon Veritabanı (devam)

Marka	Model	Tip	Kapasite		Güç (flywheel)	Kasa Hacmi		Boş Ağırlığı	HP/ton Oranı
			ston	ton		Silme yd ³	Yığma yd ³		
Komatsu	730E	Damperli	205	186	1860	101,0	145,0	138,0	10
Komatsu	830E	Damperli	255	231	2409	153,0	193,0	155,0	10
Komatsu	930E	Damperli	320	290	2550	182,0	241,0	190,0	9
Euclid	R32C	Damperli	36	33	383	19,1	27,5	24,3	12
Euclid	R36C	Damperli	40	36	491	22,2	30,7	26,3	14
Euclid	R40C	Damperli	42	38	362	22,2	31,2	31,8	10
Euclid	R65C	Damperli	72	66	725	36,0	51,0	42,8	11
Euclid	R90C	Damperli	100	91	982	50,0	75,0	70,0	11
Euclid	R130C	Damperli	141	128	1244	70,8	102,5	98,7	10
Euclid	R170C	Damperli	173	157	1695	94,4	133,4	122,0	11
Euclid	R190C	Damperli	207	188	1892	104,5	150,5	136,2	10
Euclid	R260C	Damperli	262	238	2390	121,5	172,5	148,6	10
Euclid	R280C	Damperli	281	256	2646	138,8	193,8	180,0	10
Euclid-Hitachi	EH4500	Damperli	282	255	2700	121,5	193,1	435,5	11
Euclid-Hitachi	EH4000	Damperli	251	228	2500	121,5	172,5	386,0	11
Euclid-Hitachi	EH3500	Damperli	213	193	2000	104,5	150,5	324,3	10
Euclid-Hitachi	EH3000	Damperli	173	157	1800	94,4	133,3	279,0	11
Euclid-Hitachi	EH2000	Damperli	155	140	1600	77,5	110,0	250,0	11
Euclid-Hitachi	EH1700	Damperli	108	98	1200	50,5	78,8	170,1	12
Euclid-Hitachi	EH1600	Damperli	100	90	1050	46,3	74,6	160,6	12
Euclid-Hitachi	EH1100	Damperli	72	66	760	36,0	51,0	108,4	12

Tablo A2 Kamyon Veritabanı (devam)

Marka	Model	Tip	Kapasite		Güç (flywheel)	Kasa Hacmi		Boş Ağırlığı	HP/ton Oranı
			ston	ton		Silme	Yığıma		
					HP	yd ³	yd ³	ton	
Euclid-Hitachi	EH1000	Damperli	66	60	700	33,0	47,0	101,6	12
Euclid-Hitachi	EH700	Damperli	42	38	525	22,2	31,2	69,9	14
Euclid-Hitachi	EH650	Damperli	40	36	496	22,2	30,7	62,6	14
Euclid-Hitachi	EH600	Damperli	36	33	398	19,1	27,5	56,9	12
Volvo	A20C	Treyler	22	20	228	12,3	15,7	16,4	11
Volvo	A25C (4x4)	Treyler	25	23	251	13,2	17,0	15,8	11
Volvo	A25C (6x6)	Treyler	25	23	251	13,9	17,7	17,8	11
Volvo	A30C	Treyler	30	27	311	16,9	21,6	21,5	11
Volvo	A35C	Treyler	36	33	352	19,4	24,9	25,7	11
Volvo	A35D	Treyler	36	33	382	19,9	26,1	28,3	12
Volvo	A40C	Treyler	40	36	395	21,3	28,8	30,1	11
Volvo	A40D	Treyler	41	37	414	22,1	29,4	31,3	11
John Deere	250C	Treyler	25	23	237	15,0	18,0	16,5	10
John Deere	300C	Treyler	30	27	251	17,0	22,0	19,0	9
John Deere	350C	Treyler	35	32	335	19,6	26,5	27,0	10
John Deere	400C	Treyler	40	36	410	22,0	29,0	28,5	11
Moxy	MT40B	Treyler	40	36	450	23,0	29,0	27,5	12
Moxy	MT36	Treyler	36	33	400	21,0	26,0	26,5	12
Moxy	MT30XT	Treyler	30	27	263	17,8	21,0	18,2	10
BELL	B40C(6X6)	Treyler	40	37	410	22,0	29,0	28,8	11
BELL	B35C (6X6)	Treyler	35	32	349	19,6	25,6	25,9	11

Tablo A2 Kamyon Veritabanı (devam)

Marka	Model	Tip	Kapasite		Güç (flywheel)	Kasa Hacmi		Boş Ağırlığı ton	HP/ton Oranı
			ston	ton		Silme yd ³	Yığma yd ³		
BELL	B30C (6X6)	Treyler	30	27	251	17,0	22,0	18,2	9
BELL	B25C (6X6)	Treyler	24	22	237	15,0	18,0	16,1	11
BELL	B20C (6X4)	Treyler	20	18	221	11,1	14,4	14,1	12
BELL	B17C (6X4)	Treyler	19	17	168	10,6	14,0	13,4	10
Komatsu	HM350-1	Treyler	35,5	32,3	290	19,1	25,9	28,6	9
Komatsu	HM400-1	Treyler	40	36,5	430	21,6	29,2	30,3	12

```

/***** METHOD: Catlak_ara_cevir *****/
MakeMethod( Catlak_ara, Catlak_ara_cevir, [],
{ If KnownValue?( Kazilabilirlik:Catlak_ara )
Then {
If ( Kazilabilirlik:Catlak_ara < 0.1 )
Then ( Kazilabilirlik:Catlak_ara_puan = 5 )
Else If ( Kazilabilirlik:Catlak_ara >= 0.1 And
Kazilabilirlik:Catlak_ara < 0.5 )
Then ( Kazilabilirlik:Catlak_ara_puan = 10 )
Else If ( Kazilabilirlik:Catlak_ara >= 0.5
And Kazilabilirlik:Catlak_ara < 1.0 )
Then ( Kazilabilirlik:Catlak_ara_puan = 15 )
Else If ( Kazilabilirlik:Catlak_ara >= 1.0 And Kazilabilirlik:Catlak_ara < 1.5 )
Then ( Kazilabilirlik:Catlak_ara_puan = 20 )
Else If ( Kazilabilirlik:Catlak_ara >= 1.5 )
Then Kazilabilirlik:Catlak_ara_puan = 25; }; } );

```

```

/***** METHOD: Kazilabilirlik_sinifi *****/
MakeMethod( Kaz_sinifi, Kazilabilirlik_sinifi, [],
{
If KnownValue?( Toplam_puan:Toplam_puan1 )
Then {
If ( Toplam_puan:Toplam_puan1 < 20 )
Then (Kazilabilirlik:Kazilabilirlik_sinifi = 1 )
Else If (Toplam_puan:Toplam_puan1 >= 20 And
Toplam_puan:Toplam_puan1 < 40)
Then (Kazilabilirlik:Kazilabilirlik_sinifi = 2 )
Else If (Toplam_puan:Toplam_puan1 >= 40 And
Toplam_puan:Toplam_puan1 < 60 )
Then (Kazilabilirlik:Kazilabilirlik_sinifi = 3 )
Else If (Toplam_puan:Toplam_puan1 >= 60 And
Toplam_puan:Toplam_puan1 < 100 )
Then (Kazilabilirlik:Kazilabilirlik_sinifi = 4 )
Else If (Toplam_puan:Toplam_puan1 >= 100 )
Then Kazilabilirlik:Kazilabilirlik_sinifi = 5; }; } );

```

```

/**** METHOD: Kazilabilirlik_patlatma_gerek *****/
MakeMethod( Kaz_sinifi, Kazilabilirlik_patlatma_gerek, [],
{ If KnownValue?( Kazilabilirlik:Kazilabilirlik_sinifi )
Then {
If ( Kazilabilirlik:Kazilabilirlik_sinifi >= 3 )
Then ( Kazilabilirlik:Kazilabilirlik_patlatma_gerek
= "Delme Patlatma Gerekli" )
Else Kazilabilirlik:Kazilabilirlik_patlatma_gerek
= "Delme Patlatma Gerekmez"; }; } );

```

Şekil B.1 Kazılabilirlik kural örnekleri

```

/***** METHOD: Eks_gunluk_dekapaj_miktari *****/
MakeMethod( Isyeri, Eks_gunluk_dekapaj_miktari, [],
{
    Isyeri:Eks_gunluk_dekapaj_miktari = ( ( Isyeri:Yillik_uretim_miktar * Isyeri:Dekapaj_orani )
        / Isyeri:Yillik_calisma_gunu ); } );

/***** METHOD: Cevrim_sayisi *****/
MakeMethod( Isyeri, Cevrim_sayisi, [],
{
    If KnownValue?( Ekipman:Eks_cevrim_suresi )
    Then {
        Isyeri:Cevrim_sayisi = ( Isyeri:Gunluk_calisma_saat * Isyeri:Randiman * 3600 )
            / Ekipman:Eks_cevrim_suresi; } );

/*****
**** FUNCTION: Eks_Fiyat8
*****/
MakeFunction( Eks_Fiyat8, [],
{
    If ( Isyeri:a8eks2> 48 And Isyeri:a8eks2<= 59 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 3750000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 45 And Isyeri:a8eks2<= 48 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 3150000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 44 And Isyeri:a8eks2<= 45 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 3000000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 40 And Isyeri:a8eks2<= 44 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 2850000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 35 And Isyeri:a8eks2<= 38 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 2650000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 30 And Isyeri:a8eks2<= 35 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 2500000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 28 And Isyeri:a8eks2<= 30 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 2150000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 26 And Isyeri:a8eks2<= 28 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 2000000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 25 And Isyeri:a8eks2<= 26 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1850000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 23 And Isyeri:a8eks2<= 25 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1850000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 22 And Isyeri:a8eks2<= 23 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1750000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 19 And Isyeri:a8eks2<= 22 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1750000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 18 And Isyeri:a8eks2<= 19 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1650000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 16 And Isyeri:a8eks2<= 18 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1650000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 15 And Isyeri:a8eks2<= 16 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1615000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 14 And Isyeri:a8eks2<= 15 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1615000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 13 And Isyeri:a8eks2<= 14 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1500000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2> 10 And Isyeri:a8eks2<= 13 ) Then ( Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1500000 )
    Else If ( Isyeri:a8eks2<= 10 ) Then Secilmis_eks_dek:Fiyat8= 1100000 ; } );

/*****
**** FUNCTION: Kamyon0
*****/
MakeFunction( Kamyon0, [],
{
    Secilmis_kamyon_dek:Kapasite_a1eks2 = 0;
    Secilmis_kamyon_dek:Kapasite_a2eks2 = 0;
    Secilmis_kamyon_dek:Kapasite_a3eks2 = 0;
    Secilmis_kamyon_dek:Kapasite_a4eks2 = 0;
    Secilmis_kamyon_dek:Kapasite_a5eks2 = 0;
    Secilmis_kamyon_dek:Kapasite_a6eks2 = 0;
    Secilmis_kamyon_dek:Kapasite_a7eks2 = 0;
    Secilmis_kamyon_dek:Kapasite_a8eks2 = 0;
    Secilmis_kamyon_dek:Kapasite_a9eks2 = 0;
    Secilmis_kamyon_dek:Kapasite_a10eks2 = 0; } );

```

Şekil B.2 İşyeri kural örnekleri

```

/*****
**** FUNCTION: Zemin
*****/
MakeFunction( Zemin, [],
{
If (Isyeri:Yeraltı_suyu = Var Or Isyeri:Yagmur_dur = "Çok yağmurlu") Then Isyeri:Zemin = Kötü;
If (Isyeri:Yeraltı_suyu = Var Or Isyeri:Yagmur_dur = "Az yağmurlu") Then Isyeri:Zemin = İyi;
If (Isyeri:Yeraltı_suyu = Var Or Isyeri:Yagmur_dur = Kurak) Then Isyeri:Zemin = İyi;
If (Isyeri:Yeraltı_suyu = Yok Or Isyeri:Yagmur_dur = "Az yağmurlu") Then Isyeri:Zemin = İyi;
If (Isyeri:Yeraltı_suyu = Yok Or Isyeri:Yagmur_dur = Kurak) Then Isyeri:Zemin = İyi;
If (Isyeri:Yeraltı_suyu = Yok Or Isyeri:Yagmur_dur = "Çok yağmurlu") Then Isyeri:Zemin = Kötü;
} );

/***** METHOD: Kepce_dolma_faktoru *****/
MakeMethod( Ekipman, Kepce_dolma_faktoru, [],
{
If ( KnownValue?( Malzeme:Patlatma_dur ) And KnownValue?( Malzeme:Malzeme_turu ) )
Then {
If ( Malzeme:Patlatma_dur = "Kötü patlatılmış kaya" Or Malzeme:turu = "Yerinde kumtaşı vb." )
Then Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru = 0.75;
If ( Malzeme:Patlatma_dur = "Kötü patlatılmış kaya" Or Malzeme:turu = "Sert kum-kil vb." )
Then Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru = 0.85;
If ( Malzeme:Patlatma_dur = "Kötü patlatılmış kaya" Or Malzeme:turu = "Sert kil vb." )
Then Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru = 0.85;
If ( Malzeme:Patlatma_dur = "Kötü patlatılmış kaya" Or Malzeme:turu = "Gevşek kil vb." )
Then Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru = 0.85;
If ( Malzeme:Patlatma_dur = "İyi patlatılmış kaya" Or Malzeme:turu = "Gevşek kum-kil vb." )
Then Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru = 0.95;
If ( Malzeme:Patlatma_dur = "İyi patlatılmış kaya" Or Malzeme:turu = "Yerinde kumtaşı vb." )
Then Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru = 0.90;
If ( Malzeme:Patlatma_dur = "İyi patlatılmış kaya" Or Malzeme:turu = "Sert kum-kil vb." )
Then Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru = 0.90;
If ( Malzeme:Patlatma_dur = "İyi patlatılmış kaya" Or Malzeme:turu = "Sert kil vb." )
Then Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru = 0.90;
If ( Malzeme:Patlatma_dur = "İyi patlatılmış kaya" Or Malzeme:turu = "Gevşek kil vb." )
Then Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru = 0.95;
If ( Malzeme:Patlatma_dur = "İyi patlatılmış kaya" Or Malzeme:turu = "Gevşek kum-kil vb." )
Then Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru = 0.85;
} };

/*****
**** RULE: Poisson_01
*****/
MakeRule( Poisson_01, [],
KnownValue?( Kazılabilirlik:Sismik_hiz ),
{
Malzeme:Poisson = -99;
} );

```

Şekil B.3 Malzeme kural örnekleri

```

/***** METHOD: Eks_sayisi2 *****/
MakeMethod( Ekipman, Eks_sayisi2, [],
{
    If KnownValue?( Isyeri:Eks_gunluk_dekapaj_miktari )
    Then {
        Isyeri:a2eks = ( Isyeri:Eks_gunluk_dekapaj_miktari / 2 );
        Isyeri:a2eks2 = Ceil( ( Isyeri:a2eks / Isyeri:Cevrim_sayisi )
        * Malzeme:Kabarma_faktoru / Ekipman:FS_kepce_dolma_faktoru * 1.3 );    }; } );

/***** METHOD: Kamyon_kap_dek_bul *****/
MakeMethod( Ekipman, Kamyon_kap_dek_bul, [],
{
    If Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi == 59 Then SendMessage( Ekipman, Kamyon59 );
    If Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi == 46 Then SendMessage( Ekipman, Kamyon46 );
    If Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi == 44 Then SendMessage( Ekipman, Kamyon44 );
    If Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi == 38 Then SendMessage( Ekipman, Kamyon38 );
    If Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi == 34 Then SendMessage( Ekipman, Kamyon34 );
    If Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi == 30 Then SendMessage( Ekipman, Kamyon30 );
    If Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi == 25 Then SendMessage( Ekipman, Kamyon25 );
    If Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi == 18 Then SendMessage( Ekipman, Kamyon18 );
    If Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi == 15 Then SendMessage( Ekipman, Kamyon18 );
    If Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi == 10 Then SendMessage( Ekipman, Kamyon10 );    }; } );

/***** METHOD: Eks_komur_adet *****/
MakeMethod( Ekipman, Eks_komur_adet, [],
{
    If Ekipman:Secilmis_eks_komur == Isyeri:b1eks2 Then Ekipman:Secilmis_eks_komur_adet = 1;
    If Ekipman:Secilmis_eks_komur == Isyeri:b2eks2 Then Ekipman:Secilmis_eks_komur_adet = 2;
    If Ekipman:Secilmis_eks_komur == Isyeri:b3eks2 Then Ekipman:Secilmis_eks_komur_adet = 3;
    If Ekipman:Secilmis_eks_komur == Isyeri:b4eks2 Then Ekipman:Secilmis_eks_komur_adet = 4;
    If Ekipman:Secilmis_eks_komur == Isyeri:b5eks2 Then Ekipman:Secilmis_eks_komur_adet = 5; } );

/*****
**** FUNCTION: Kamyon_dek_sayi_bul_a2eks2
*****/
MakeFunction( Kamyon_dek_sayi_bul_a2eks2, [],
{
    Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi_a2eks2 == Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi;
    Ekipman:Kamyon_dek_sefer_sure_a2eks2 = (
        (((Isyeri:Nakliye_yolu_dek)/1000)/Ekipman:Kamyon_dolu_hizi)* 60)+
        (((Isyeri:Nakliye_yolu_dek)/1000)/Ekipman:Kamyon_bos_hizi) * 60)+
        (((Ekipman:Kepce_sayisi * Ekipman:Eks_cevrim_suresi) / 60)+ 2));
    Ekipman:Kamyon_dek_sefer_sayi_a2eks2 =
    (50 / Ekipman:Kamyon_dek_sefer_sure_a2eks2 );
    Ekipman:Kamyon_dek_kap_a2eks2 = ((Ekipman:Kepce_sayisi *
    Secilmis_eks_dek:Kepce_kapasitesi_a2eks2 * 0.764 *
    Kazilabilirlik:Yogunluk)/Malzeme:Kabarma_faktoru);
    Ekipman:Kamyon_dek_is_hacmi_a2eks2 = (Ekipman:Kamyon_dek_sefer_sayi *
    Ekipman:Kamyon_dek_kap_a2eks2);
    Ekipman:Kamyon_dek_sayisi_a2eks2 = Ceil((((Isyeri:Eks_gunluk_dekapaj_miktari /
    Isyeri:Gunluk_calisma_saat) * Kazilabilirlik:Yogunluk) /Ekipman:Kamyon_dek_is_hacmi_a2eks2));
});

```

Şekil B.4 Ekipman kural örnekleri

ÖZGEÇMİŞ

İ. Cengiz KIRMANLI, 14.01.1963'te İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1981 yılında girdiği İTÜ Maden Fakültesi'nden 1985 yılında mezun oldu. 1987 yılında İTÜ Maden Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1985-1988 yılları arasında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimini tamamlayarak yüksek mühendis oldu. 1995-1996 yılları arasında askerlik görevini yaptı. 1997 yılında doktora öğrenimine başladı. Halen İTÜ Maden Fakültesi'nde mühendis olarak çalışmasına devam etmektedir. Evli, bir kız ve bir erkek çocuk babasıdır.

