

ÇOK KRİTERLİ BULANIK DOMİNANT ALGORİTMASINA DAYALI AÇIK İŞLETME EKİPMAN SEÇİMİ

SURFACE MINING EQUIPMENT SELECTION BASED ON MULTI CRITERIA FUZZY DOMINANT ALGORITHMS

T. CEBESÖY

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çamlık, Denizli

ÖZET: Uzun ve kısa vadeli açık işletme madencilik planlamalarının en önemli süreci olan ekipman seçimi kararları, işletmenin ekonomik ömrünü son derece etkiler. Bu alanda, son yıllarda dikkate değer akademik araştırmalar yapılmıştır. Bu makalede, en optimal yükleme-taşıma kombinasyonu (loder-kamyon, hidrolik ekskavatör-kamyon, elektrikli şovel-kamyon) seçiminin sezgisel yaklaşımlarla bulunması konusu üzerinde durulmuştur. İşletme yerindeki çalışma şartları ve ekipmanların teknik özelliklerle temel seçim faktörleri olup, bu faktörler kurallara haline getirilerek prototip bir uzman sistem yazılmıştır. Uzman sistemde belirsizliğe yol açan dilsel değişkenler, bulanık dominant algoritma ile çözülmeye çalışılmıştır. Makale örnek bir uygulama üzerine olmuştur.

ABSTRACT: Equipment selection decisions which are the most important stage of short and long term surface mine planning have radically influenced the economic life of any mining scenario. In this paper, it is discussed the selection of the most optimal combination (toader-truck, hydraulic excavator-truck, shovel-truck) based on the heuristic approaches. As the selection factors, the working conditions on the mine site and the technical specifications of items of equipment have been taken into account and then with all these factors grouped as the knowledge rules, an prototype expert system has been developed. The linguistics terms which cause the uncertainty in this system are managed by using the fuzzy dominant algorithm. The paper is concluded by an illustrative example.

1 GİRİŞ

Dünyanın en büyük metal ve metal dışı üretim endüstrisi olan açık işletmeler, bir yandan yüksek tenörlü cevherlerin tükenmesi ve üretim maliyetlerinin yükselmesi ile karşılaşırken diğer yandan çevre korumacıların yoğun baskısına (özellikle mermer açık ocaklarında) maruz kalarak kapalılaşma eğilimine gelmiştir. Bütün bu olumsuz gelişmeler altında üretimini sürdürmede kararlı olan birçok firma çeşitli iktisadi üretim modellerini geliştirmişlerdir. Mevcut kıt kaynakların en rasyonel şekilde kullanılması esasına dayanan iktisadi üretim modelleri, açık işletmelerin teknoloji yoğun olmasından ötürü kullanılan ekipmanların üzerinde geliştirilmiştir. Bu bağlamda, ekipman seçimi, maliyet analizi ve yenileme problemleri, ekipmanlarda önleyici ve düzeltici bakım politikalarının geliştirilmesi ve ekipmanların verimli kullanma yöntemleri iktisadi üretim modellerinin açık işletmedeki başlıca uygulama alanlarıdır. Burada sadece ekipman seçiminden bahsedilecektir.

Açık işletmelerde ekipman seçimi işletmenin toplam yatırımının çok büyük bir dilimini oluşturmaktadır. Günümüze kadar, ekipman seçimi konusu hakkında

sayısız akademik araştırmalar yapılmış olup, bu anlamda birçok teori ve yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu araştırmalar arasında özellikle Yapay Zeka destekli ekipman seçimi son yıllarda birçok araştırmacı tarafından yoğun bir ilgi ile incelenmiştir. Örneğin, Clarke, Denby ve Schofield (1990) açık işletme ekipman seçimi ile ilgili yapay zeka destekli bir karar verme modeli geliştirmişlerdir. Yine Schofield ve Denby (1990, 1992) tamamiyle teknik faktörlere dayalı hidrolik ekskavatör-kamyon ve draglayn seçimi ile ilgili yapay zeka destekli bir bilgisayar modeli geliştirmişlerdir. Haidar (1995) genetik algoritmalar tekniği ile açık işletme ekipmanlarının seçimi ile ilgili bir model geliştirmiştir. Açık işletme ekipman seçimi konusu genellikle ya bir tek ekipman seçimi (örneğin bir kamyon veya bir hidrolik ekskavator seçimi gibi) ya da bir ekipman kombinasyon seçimi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Tek bir ekipmanın seçimi kombine ekipmanların seçiminde daha kolay olduğu açıktır. Özellikle açık işletmelerde yükleme-taşıma operasyonunda kullanılacak loder-kamyon, hidrolik ekskavator-kamyon ve elektrikli şovel-kamyon kombinasyonları arasında sürekli bir seçim mevcut olup, bu kombinasyonlardan en uygunun seçiminde karar vericiler belirsizlikler yüzünden zorlanmışlar ve çoğu

zaman sezgileri ve insiyatifleri ile baş başa kalınışlardır Ancak, bulanık küme teorisinin uygulamaya konulmasıyla birlikte söz konusu belirsizlikler kantitatif olarak kolaylıkla değerdinilmiş ve bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler sayesinde, konuşma dilinin de uzman sistemlerle kolay bir şekilde programlanabilmesi, karar vericilerin yuku dikkate değerd bir oranda a/almıştı

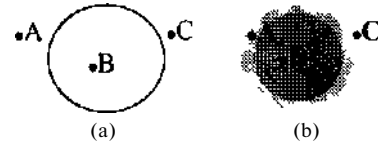
Bu makalede, loder-kamyon, hidrolik eskalor-kamyon ve elektrikli şovel-kamyon kombinasyonlarından en uygunun seçiminde, iş yen çalışma şartlan ve ekipmanlanın teknik özelliklen temel seçim faktörleri olarak ele alınmış olup, bu faktörler bulanık küme teorisi ve geliştirilen prototip uzman sistem modeli ile yorumlanarak en uygun kombinasyonun seçimi yapılmıştır Modelin uygulamasını göstermek için makalede birde örnek verilmiştir

2 BULANIK KÜME TEORİSİ

Bulanık küme teorisi matematiğin yeni bir dalı olup, bir çok mühendislik dalında geniş uygulama alanları bulmuştur Son yıllarda da madencilik endüstrisinde de birçok problemlen çözümünde yoğun bir şekilde kullanılmış ve kullanılmaktadır Lotfi Zadeh (1965) tarafından geliştirilen bulanık küme teorisi, belirsizliğe yol açan dilsel bulanık terimlere 0 ile 1 arasındaki değışen ondalıklı değerdler atayarak çözüm bulmaya çalışan bir teoridir Bu anlamda, maden endüstrisinde mühendisleri tarafından direkt olarak kabul edilen ve ancak gerçek manasında bulanıklık içeren sayısız dilsel belirsizlikler vardır Ot itenin çalışma veri /emmin ıslak, nemli ve kuru oldiak sınıflandıılmaya tabu tutulduğunda bu sınıflar arasında esasında kesin olaıak lam bu sınır mevcut ikilidir ^ anı çalışma /emmin ıslak okluğu hangi ölçülere göre kabul edilmiş bu kesinlikle belli defiklını İşte abanu lteialında fu//y kunc teorisi (0 ii,ıl lulu n \c I uıkçe literatim' bulanık küme teni ısı olarak ><e> bu leon ite belirsizliğe neden ulan dıslıl bt lıslıphkkı sayısal olarak douer lnduieibilmekte

Bulanık kunc teorisini modem matematiğin icmel konusu olan klasik küme ısırışının ı>ene!çsluılmış hır halı ol irak noumek yanlış sayılma/ Ancak lei ne kadar bu kıımt teorisine ben/ese de bazı abdaldan ayı ı alık gosıuu Öncüğü klasik küme teorisinde bir (leman kümeye ya aıllır vida değildir Bulanık küme teori inde ise bu elemanın hu kunu ye ait olup olmaması t lenıunu uyu it ıkuu sim bağıldı İki

küme arasındaki fark şu şekilde de izah edilebilir Bir (A) kümesi ve herhangi (x) elemanın bu kümenin bir elemanı olup olmadığını, her ıkı kümenin mantığı ile inceleyelim Klasik küme teorisinde, $x \in A$ ise üyelik derecesi $\mu_A(x) = 1$ eğer $x \notin A$ $\mu_A(x) = 0$ dır Buna karşın bulanık küme teorisinde ise, x'in bu kümenin bir elemanı olup olmaması 0 ile 1 arasında alacağı üyelik derecelen ile ölçülür Zira eğer x elemanın üyelik derecesi $\mu_A(x) = 0$ ise bu eleman A bulanık kümesinin bir elemanı değildir ($x \notin A$), eğer x elemanın üyelik derecesi $\mu_A(x) = 1$ ise bu A bulanık kümesinin tam üyesidir ($x \in A$) Bu ıkı değerd dışında, x elamanı 0 ile 1 arasında alacağı reel değerdlere göre de A bulanık kümesinin değışik derecelerde üyesidir Daha açık bir ifadeyle bu ıkı küme teonsı arasındaki fark Şekil-1'de görüldüğü 20m'lık bir basamak yüksekliği ile burada çalışacak ve bir (P) kümesinin elemanı olan uç hidrolik ekskavatöre (A,B,C) ait değışik kazı yüksekliği arasındaki ilişkiyi gösteren bir örnekle de izah edilebilir (P) kümesi önce klasik daha sonra bulanık küme ile değerdlendirmeye alınmıştır



Şekil 1 Klasik (a) ve bulanık (b) kümeler

Basamak yüksekliği 20m
F-skavator A- kazı yüksekliği - 19m
Eskavator B- kazı yüksekliği = 25m
Fskavator (- kazı yüksekliği 15m

Şekil-1'den yorulduğu gibi klasik küme teorisine göre sadece ekskavator B'nın kazı yüksekliği basamak yüksekliğinden büyük olup, söz konusu klasik kümenin bu elemanı ve üyelik derecesi de u, (B) 1 dır Diğer ekskavatorlenn kazı yükseklikleri basamak yüksekliğinden larklı olduklarından seçilme şansları yoklu ve bunlar klasik kümenin de biter damam değillcrdı Dolayısıyla bu eskavaloiterinde üyelik dereceleri sılırdır dı.,(A) 0, fı.,(C) 0) Bulanık küme teorisine göre ise, ekskavator B'nın kazı yüksekliği basamak yüksekliğinden büyük olduğu için seçilme şansı en yüksek olduğundan verilecek üyelik derecesi ise 1 dır (n.,(B) 1) A eskavaloru basamak yüksekliğine yakın bu ka/ı yüksekliğine sahip olup bu eskavaloıun so/ konusu bulanık kümenin bu ek manı »lup olmadı;! 0 ile 1 arasında alaca"! üyelik demesini ba"lıdır I kskavaloı (düşük kt ane

yüksekliğine sahip olduğundan bulanık kümenin bir elemanı değildir ve üyelik derecesi de sıfırdır

Bulanık küme teorisi, birleşme, kesişme, kapsama, eşitlik, komplementasyon, toplama, çıkarma, çarpma gibi aynı klasik küme teorisinde görülen matematiksel işlemlere sahiptir. Ancak bu işlemler ile ilgili detay bilgiler burada verilmemiştir.

1 ÇOK KRİTERLİ BULANIK DOMİNANT ALGORİTMA

Bulanık küme teorisinin çok değişik uygulamaları vardır. İşte bulanık dominant algoritma bu uygulamalardan sadece birisidir. Bulanık dominant algoritma, alternatif kombinasyonları birçok faktörlere altında birbirlerine karşı olan dominant durumlarını inceleyerek en iyi kombinasyonun seçimini yapmaya yarayan bir algoritmadır. Kaufman (1975) alternatif olan seçenekler arasında dominant durumunu şu şekilde açıklamaktadır. Sonlu elemana sahip bir E kümesi ve bu kümeye bağlı olan A ve B gibi iki adet bulanık alt küme var olsun,

$$A = \{m_1, m_2, m_3, m_4, \dots, m_n\}$$

$$B = \{k_1, k_2, k_3, k_4, \dots, k_n\}$$

(A) bulanık alt kümesinin her bir elemanın üyelik derecesi aritmetiksel olarak (B) bulanık alt kümesinin her elemanın üyelik derecesinden büyük ya da küçük olsun,

$$m_1 \geq k_1, m_2 \geq k_2, m_3 \geq k_3, m_4 \geq k_4, \dots, m_n \geq k_n$$

sekinde ise (A) bulanık alt kümesi daima (B) bulanık alt kümesi u/ermde dominanttır. Uygulamada dominant algoritma yaklaşımı 'y-kıl-2' de gerçekleştirildiği gibi satır olarak alternatifleri sütun olarak karşılaştırılarak alternatifler arasındaki ilişkiler bu şekilde değerlendirilmiştir.

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & u_{14} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} & u_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & u_{n3} & u_{n4} \end{bmatrix} \quad u_{ij} \in [0, 1]$$

V_kil = DL_j^k / U_{ij}

Bu değerlendirimin matematiksel ifadesi iki temel hükmü içerir: D=U/V_kil. Bu durumda U ve V_kil iki vektörün çarpımıdır. Bu işlemi gerçekleştirmek için U'nun transponunu V_kil ile çarpabiliriz. Bu işlemi matematiksel olarak şu şekilde yazabiliriz:

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^n \{[\mu_i(x_k) - \mu_j(x_k)] > \alpha\} \quad (D)$$

$$d_{ji} = \sum_{k=1}^n \{[\mu_j(x_k) - \mu_i(x_k)] \geq \alpha\} \quad (2)$$

Burada, μ_i, μ_j U_j (i) ve (j) alternatiflerin üyelik dereceler n matrisin satır sayısı, k matrisin sütun sayısı, α eşitlik sınır katsayısı, d_ji değerlendirme matrisi içindeki (j) alternatifinin (i) alternatifi üzerinde dominantı, d_ji (i) alternatifinin (j) alternatifi üzerinde dominantı. Eşitlik sınır katsayısı bulanık dominant algoritma asındaki belirsizliği göstermek için kullanılan bir faktör olup, genellikle çok düşük alınır (Yaklaşık olarak 0.01-0.05 arasındadır).

Dominant matrisinin doğruluk derecesi tamamıyla oluşturulacak olan değerlendirme matrislerine bağlıdır. Değerlendirme matrisinin oluşturulmasında izlenecek adımlar şöyledir,

-Kritik faktörlere 0 ile 1 bu arasında değişen değerler vererek uygun bu oran ölçüğü oluşturulur. Genellikle bu değerler, farklı uzmanların değerlendirmeleri ile atandığından tamamıyla subjektiftir. Bu çalışmada kullanılacak olan oran ölçüğü ve bu ölçüğe atadığımız dilsel belirsizlikler aşağıdaki tablo-1'de sunulmuştur. Bir ekipmanın veya bir kombinasyonun seçilebilme şansı, yüksek üyelik derecesinden düşük üyelik derecesine doğru azalmaktadır.

Tablo 1 Oran ölçüğü	
Dilsel değişken	Üyelik dereceleri
(çok yüksek)	0.9
Yüksek	0.7
Ortaklına	0.5
Düşük	0.3
(çok düşük)	0.1

Kritik faktörlerin değerlendirilmesi için kullanılan subjektif değerlendirme ölçeğinin kullanılması için bir dizi ön çalışma yapılmalıdır. Bu çalışma binlerce alternatif için yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen değerlendirme ölçeği aşağıdaki gibidir. Bu ölçeğin kullanılması ile değerlendirme matrisinin oluşturulması daha kolay olacaktır.

(3) kutunun içerdiği değerlendirme matrisi üyelerinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Bu matrisin oluşturulması için kullanılan değerlendirme ölçeği aşağıdaki gibidir.

kuçuk olanı seçilir (bkz Şekil-3) Matematiksel olarak aşağıdaki bağıntı ile gösterilebilir,

$$r_{ij} = r^1_{ij} \cap r^2_{ij} \cap \dots \cap r^k_{ij} = \min(r^1_{ij}, r^2_{ij}, \dots, r^k_{ij}), \quad (3)$$

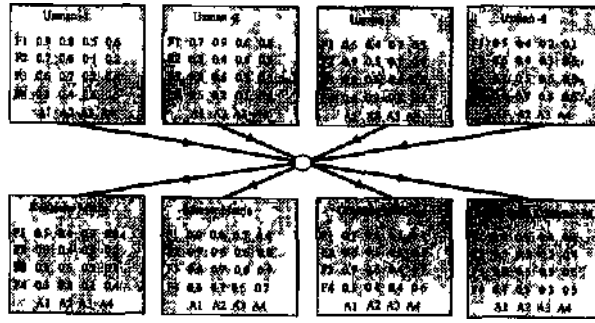
Burada, r_{ij} , i'nci satır j'mnci sütundaki her bir faktörün 0 ile 1 arasındaki üyelik derecesi, r^k_{ij} bulanık küme kesişimidir

b-) İyimsel Değerlendirme Matrisi Bu matriste, aynı sütun ve satırda bulunan kriterlerin üyelik dereceleri karşılaştırılır ve bunların arasından en büyük olan seçilir (bkz Şekil-3) Matematiksel olarak bu aşağıdaki bağıntı ile izah edilebilir

$$r_{ij} = r^1_{ij} \cup r^2_{ij} \cup \dots \cup r^k_{ij} = \max(r^1_{ij}, r^2_{ij}, \dots, r^k_{ij}), \quad (4)$$

Burada, u bulanık küme birleşimidir

c-) Aritmetik Ortalama Değerlendirme Matrisi Bu matriste aynı sütun ve satırda bulunan kriterlerin



Şekil 3 Değerlendirme matrislerini değerlendirme metodları

4 GELİŞTİRİLEN PROTOTİP UZMAN SİSTEM

Uzman sistemler veya bilgi tabanlı akıllı sistemler madencilik endüstrisinde son on yıldan bu yana yoğun bir şekilde kullanılan bir yapay zeka tekniğidir. Bu sistemler, öğrenme, analiz yapma, iletişim kurma, danışmanlık yapma, tasarım yapma, öğrenme ve öğretme gibi insan özgü birtakım özelliklere sahiptirler. Çıktı veriminin yüksek olması, ucuz olması, kendi kendini yenileyebilmesi, etkin zaman yönetimi sağlaması, esnek olması, güvenilir olması, hızlı karar verebilmesi ve problem çözmesi bu sistemlerin kullanıcılara sağladığı en büyük avantajlardır. Etkin bir uzman sistemin yazılması, tamamıyla programcının tecrübesine ve kullanılan uzman sistem programına bağlı olup yazım süresi 2 il 4 yıl içinde değişmektedir. Uzman sistem projeleri, imlani UKIHC I isp Prolog SmallTalk Modula Ail i gibi

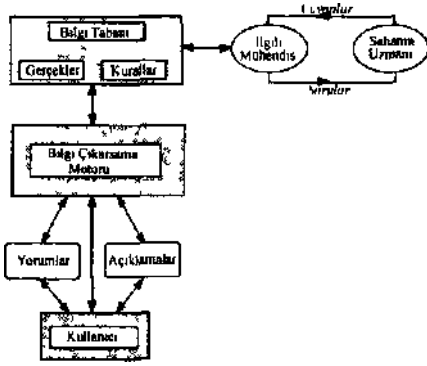
üyelik derecelennin aritmetik ortalaması alınır (bkz Şekil 3) Matematiksel olarak aşağıdaki şekilde izah edilebilir

$$r_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k r^k_{ij} \quad (5)$$

d-) Değıştirilmiş Kötümser Değerlendirme Matrisi Bu matris kötümser değerlendirme matrisi ile aritmetik ortalama değerlendirme matrisinin toplamının bir ortalamasıdır. Bu matriste aynı sütun ve satırda bulunan her iki matristeki kriterlerin üyelik dereceleri toplanır ve ortalaması alınır (bkz Şekil-3) Matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ile de izah edilebilir

$$r_{ij} = \frac{1}{2} \left[(r^1_{ij} \cup r^2_{ij} \cup \dots \cup r^k_{ij}) + \left(\frac{1}{k} \sum_{k=1}^k r^k_{ij} \right) \right], \quad (6)$$

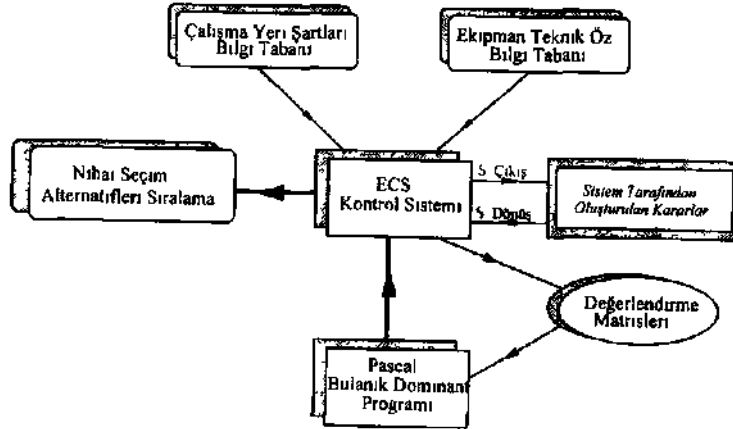
mantıksal programlarla yazılır, ancak son zamanlarda C, C++, Pascal gibi geleneksel dillerle de uzman sistem programları yazılmaktadır. Günümüzde ticari anlamda değışik brandalarda piyasaya 100 üstünde uzman sistem programları sürülmüştür. Ticari branda veya markası ne olursa olsun tüm uzman sistemlerin çalışma prensipleri aynı olup genel yapıları Şekil - 4 le görüldüğü gibidir.



Şekil 4 Uzman sistemlerin genel yapısı

Uzman sistemler hakkında genel bilgiler ve çalışma prensipleri bir çok yerli yabancı literatürde detaylıca açıklandığından burada ayrıca açıklanmayacaktır. Burada kullanılan uzman sistem Xi-Plus Shell sistem olup, bu sistemi kullanarak geliştirilen prototip uzman sistemin adı ECS(Ekipman Kombinasyonu Seçimi) dir. ECS'in çalışma hiyerarşisi Şekil-5 görülmektedir.

Sistem iki bilgi tabanı, bir kontrol mekanizması ve sistemin tüm matematiksel işlemlerini çözen bir PASCAL programından oluşur. Bilgi tabanlarındaki bilgi kurallarını oluşturan ve aynı zamanda uygun kombinasyonun seçim ile ilgili kritik faktörler Tablo-2'de gösterilmiştir.



Şekil 5 ECS'in çalışma hiyerarşisi

Tablo 2 Kombinasyon seçimi ile ilgili kritik faktörler

Çalışma Yeri Faktörleri	Ekipman Teknik Faktörleri
- Üretim miktarı	- Segregasyon
- Örtünün kalınlığı	- Ka/Jvükçüklüğü
- Ka/J koşulları	- Dumpyükçüklüğü
- Çalışılacak zeminin fi/ıki durumu	- Çalışma dengesi
- Yüklenecek mal/cmc'nin unv ç boyum	- Hareketlilik
- Yuvarlanma ve meyil direnci	- Ağırlık
- Kol durumu	- Nikli(_ mesafesi
- Atmosferik şartlar	- laydılı omur
- Nakliye mesafesi	- Maiyel karakteristikleri

Çalışma yeri bilgi tabanı toplam 81 kuraldan oluşmaktadır, örnek olması açısından bazı kuralları şunlardır:

comment *yüklenecek malzeme tipi*
eğer kazılan malzeme gevsek toprak ise
veya eğer kazılan malzeme kuru kum ise

veya eğer kazılan mal/cmc nemli kum ve küçük boyutlu gTovak ise
ve/ya eğer kazılan mal/cmc çamur ise
vc>acğer kazılan mal/eme kumlu kum ise
kazı kofulu kolavdır

comment *zemin koşulları*
eğer çalışılan yer ıslak veya çamurlu ise

zemin ıslaktır
eğer çalışılan yer sadece nemli ise,
zemin nemlidir
eğer çalışılan yer kuru ise,
zemin kurudur

comment < *yüklenecek malzemenin boyutu ve emsi*
eğer dekapaj malzemesi kıl ve çakıltaşı ise
ve çakıltaşı küçük boyutlu ve kıl bağlantısı zayıf ise
malzeme boyutu *i cm* den daha küçüktür

Ekipman teknik özelliklerini içeren bilgi tabanı da 80 kuraldan oluşmakta olup, bu kurallann bazıları şunlardır

comment ^ <- <- < *kazı yükseklikten*
eğer ekipmanın kazı yüksekliği ≥ 2
ve ekipmanın kazı yüksekliği ≤ 6
malana loaderdır (report to file output rpt)
makinenin kazı yüksekliği= [ekipmanın kazı yüksekliği |
eğer ekipmanın kazı yüksekliği ≥ 8
ve ekipmanın kazı yüksekliği < 14
makına hidrolik ekskavatördür (report to file output rpt)
makinenin kazı yüksekliği= (ekipmanın kazı yüksekliği]
eğer ekipmanın kazı yüksekliği $m \geq 14$
ve ekipmanın kazı yüksekliği $m \leq 20$
makına elektrikli kepçedir (report to file output rpt)
makina i u n k a a yüksekliği^ [ekipmanın kazı yüksekliği]

comment = ^ *Nakliye mesafesi*
eğer nakliye mesafesi 0 ile 100m arasında ise
sadece hidrolik ekskavatör ve kamyon kombinasyonu uygundur
eğer nakliye mesafesi 200 ile 300m arasında ise,
kepçe kamyon ve loader kamyon kombinasyonları uygundur
eğer nakliye mesafesi 100m den büyük ise,
badece kepçe kamyon kombinasyonu uygundur

comment *maliyet karakteristiktan*
eğer ekipmanın ilk yatırım maliyeti çok yüksek ise
ve değişken maliyeti yüksek ise
ekipman seçildi
eğer ekipmanın ilk yatırım maliyeti çok yüksek ise
ve değişken maliyeti düşük ise,
ekipman seçildi

Kontrol mekanizması, bilgi tabanlarında verilen bilgilere göre kullanıcıya sorular sormakta ve bunlara bağlı olarak, Tablo-1 deki oran ölçüğünü dikkate alarak üyelik dereceleri inden oluşan *mxu'* lık değerlendirme matrisleri oluşturur. Bunu bu örnekle açıklamak gerekirse ECS ocaktaki zemin durumu ve ekipmanların ağırlıklarını dikkate alarak aşağıdaki sonuçlar göre Tablo-3'deki üyelik derecelerini atar

Tablo 3 Bir örnekleme

Zemin Şartları	Ekipman Ağırlıkları	Üyelik derecesi
Islak	Eskavator, Loder, Şovel	0 9,0 4, 0 1
Nemli	Eskavator, Loder, Şovel	0 8,0 8 , 0 2
Kuru	Eskavator, Loder, Şovel	Hepsi ideal

Buradaki üyelik dereceleri, farklı uzman görüşleri dikkate alarak belirlendiğinden, tamamıyla sübjektiftir. Yüksek üyelik dereceleri kombinasyonun seçilme şansını arttırmaktadır. Kontrol mekanizması farklı uzman görüşleri altında, en az dört farklı değerlendirme matrisi oluşturur. Tüm bu değerlendirme matrisinden daha sonra ECS programı ile etkileşim halinde olan PASCAL programında analiz edilerek nihai değerlendirme matrisleri oluşturulur. Sonra bu nihai değerlendirme matrislerinden dominant matrisler oluşturulur ve bu matrislerinin sonuçları ECS tarafından okunarak en uygun kombinasyonların tercih sıralaması yapılır.

S NUMERİK UYGULAMA

Burada anlatılan yaklaşım aşağıda bir kuramsal örnekle gösterilmiştir. Çalışma yeni ve seçilecek kombinasyonlara ait tüm veriler Tablo-4'de verilmiştir.

Bu veriler ECS'de analiz edildiğinde şu kararlara ulaşılır

- örtü ince, bu *ömmda* hidrolik ekskavatör + kamyon ve elektrikli şovel + kamyon en iyi kombinasyonlardır
- Üretim miktarı düşük, bu durumda elektrikli şovel + kamyon ve loader + kamyon uygun olabilir. Hidrolik ekskavator + kamyon işletme maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı bu kadar düşük üretim miktarına uygun değildir
- Çalışma yerinde yol durumu oldukça iyi olup, yuvarlanma direnci oldukça düşük. Bu durumda tüm kombinasyonlar düşünülebilir
- Çalışma yerinde kazı koşulları zor olup, en iyi alternatif olarak hidrolik ekskavatör- kamyon ikilisi düşünülebilir
- Çalışılan yerdeki zemin durumu kolu, bu durumda yalnız hidrolik ekskavator + kamyon ikilisi *en iyi alternatif* olarak düşünülebilir
- Malzeme boyutu 8 cm civarında ve yükleme şartları orta, bu durumda elektrikli şovel + kamyon ikilisi en iyi seçim olup ayrıca hidrolik ekskavator + kamyon ikilisi de ayrıca düşünülebilir
- Çalışma yerinde orta dereceli bir tırmanma durumu var. Bu durumda uyumlu kombinasyon loader + kamyon ikilisi düşünülmüştür.

Tablo 4. Genel verler

Çalışma Yeri Teknik Faktörleri	
Dekapaj miktarı	400.000 ton/yıl
Resmi izin	20 gün/yıl
Fiili iş günü sayısı	5 gün/hafta
Örtü	Çimentom grovak, kumtaşı ve kıltaşı
Örtünün kalınlığı	15m
Zemin durumu	Nemli
Patlatma durumu	Orta ve malzeme iri boyutlu
Nakliye mesafesi	100m ile 200m arasında
Nakliye yol durumu	Yol kirlî fakat iyi preslenmiş
Yol meyil durumu	Orta
Yuvarlanma direnci	0.3 olarak ölçülmüş
Rakım	Yüksek
Kombinasyonlarla ilgili Teknik Faktörleri	
Segregasyonu	Orta
Kazı yüksekliği	10m
Dump yüksekliği	6m
Stabilité	iyi
Faydalı ömür	15000 saat
Hareketlilik	Orta
Ağırlığı	Orta
İlk yatırım maliyeti	Yüksek
Değişken Maliyeti	Çok yüksek

- Üretim kullanılacak kombinasyonun segregasyonu orta, bu durumda Hidrolik ekskavatör + kamyon ve loader + kamyon en iyi seçim olurken elektrikli keçe düşük segregasyona sahip olduğundan uygun değildir
- Seçilen kazı yüksekliği hidrolik ekskavatörün kazı yüksekliğine yakındır, dolayısıyla hidrolik ekskavatör + kamyon ikilisi iyi bir seçim olarak düşünülebilir
- Seçilen dump yüksekliği bir loadenn dump yüksekliğine yakın olup, dolayısıyla loader + kamyon ikilisi iyi bir seçim olarak düşünülebilir.
- Nakliye mesafesi 200 ile 300m arasında olup, bu durumda elektrikli keçe + kamyon ve loader + kamyon bu mesafede en iyi kombinasyonlar olarak ele alınabilir
- Çalışma yerinde ekipmanların denge durumları İyi, bu durumda en iyi kombinasyon elektrikli keçe + kamyon ikilisi düşünülebilir
- İlk alış maliyeti yüksek, değişken maliyet çok yüksek ise loader + kamyon ve hidrolik ekskavatör + kamyon kombinasyonları düşünülebilir.
- Servis ömrü 8000 ile 20000 arasında ise bu durum loader + kamyon ikilisi en iyi seçimdir
- Ekipmanların hareketliliği çok yüksek ise, loader + kamyon ve hidrolik ekskavatör + kamyon en iyi kombinasyonlardır.
- Ekipmanın ağırlığı oldukça fazla ise loader + kamyon en iyi kombinasyondur.
- Çalışılan yerde rakım yüksek olup, bu gibi yerlerde elektrikli keçe + kamyon en iyi kombinasyondur.

)lo 5. Kötümser değerlendirme matrisi

**** • --^Kombin	Loder	HEsk	E Şov
Faktorler ^***->	Kam..	Kam	Kam
Üretim Miktan	0 70	0 30	0 50
Örtü Kalınlığı	0 50	0 80	0 70
Kazı Koşulları	0 50	0 80	0 50
Malzeme Boyutu	0 30	0 50	0 70
Zemin Durumu	0 30	0 70	0 40
Nakliye Mesafesi	0 80	0 40	0 70
Yol Durumu	0 60	0 40	0 20
Kot Durumu	0 10	0 40	0 60
Segregasyon	0 60	0 80	0 20
Kazı Yüksekliği	0 30	0 70	0 60
Dump Yüksekliği	0 70	0 60	0 30
Çalışma Dengesi	0 40	0 60	0 70
Hareketlilik	0 60	0 50	0 10
Ağırlık	0 20	0 70	0 50
Servis Ömrü	0 80	0 70	0 30
Maliyet	0 50	0 60	0 20

Tablo 6. iyimser değerlendirme matrisi

.** • -OCombin.	Loder	HEsk	E Şov
Faktörler ^****_^	Kam	Kam.	Kam.
Üretim Miktan	0 90	0 60	0 80
Örtü Kalınlığı	0 70	0 90	0 80
Kazı Koşulları	0 60	0 90	0 70
Malzeme Boyutu	0 50	0 80	0 90
Zemin Durumu	0 50	0 90	0 70
Nakliye Mesafesi	0 90	0 60	0 80
Yol Durumu	0 90	0 60	0 50
Kot Durumu	0 40	0 70	0 90
Segregasyon	0 80	0 90	0 50
Kazı Yüksekliği	0 50	0 80	0 60
Dump Yüksekliği	0 90	0 70	0 60
Çalışma Dengesi	0 60	0 70	0 80
Hareketlilik	0 90	0 80	0 4
Aırlık	0 40	0 90	0 70
Sems Ömrü	0 90	0 80	0 70
Maliyet	G 70	0 90	0 30

ECS bu kararlara bağılı olarak en az dört farklı uzman görüşünü yansıtan değerlendirme matrisi oluşturur Bu değerlendirme matnsleri, PASCAL programı tarafından değerlendirilerek tablolarda görüldün (Tablo-5/6/7/8) dört farklı 16 x 3'luk nihai değerlendirme matnslen oluşturur

Bu nihai değerlendirme matnslennden Tablo - 9'da görüldüğü gibi dominant matrisleri oluşturulmuş ve bu matrislerden en uygun kombinasyonun Hidrolik Ekskavatör + Kamyon olduğu görülmüştür.

Tablo 7 Ortalama değerlendirme matrisi

Kombin	Loder + Kam	H Esk + Kam	E Şov + Kam
Üretim Miktarı	0.82	0.45	0.68
Orta Kalınlığı	0.60	0.88	0.78
Kazı Koşulları	0.45	0.80	0.63
Malzeme Boyutu	0.38	0.65	0.83
Zemin Durumu	0.40	0.80	0.58
Nakliye Mesafesi	0.85	0.53	0.75
Yol Durumu	0.75	0.50	0.35
Kot Durumu	0.25	0.58	0.75
Segregasyon	0.70	0.88	0.33
Kazı Yüksekliği	0.33	0.75	0.58
Dump Yüksekliği	0.83	0.70	0.48
Çalışma Dengesi	0.50	0.65	0.73
Hareketlilik	0.80	0.65	0.28
Ağırlık	0.33	0.83	0.60
Servis Ömrü	0.83	0.73	0.48
Maliyet	0.63	0.73	0.23

Tablo 8 Değiştirilmiş değerlendirme matrisi

Kombin	Loder + Kam	H Esk + Kam	E Şov + Kam
Üretim Miktarı	0.77	0.38	0.59
Orta Kalınlığı	0.55	0.84	0.74
Kazı Koşulları	0.48	0.80	0.57
Malzeme Boyutu	0.34	0.58	0.77
Zemin Durumu	0.35	0.75	0.49
Nakliye Mesafesi	0.83	0.47	0.73
Yol Durumu	0.68	0.45	0.28
Kot Durumu	0.18	0.49	0.68
Segregasyon	0.65	0.84	0.27
Kazı Yüksekliği	0.32	0.73	0.39
Dump Yüksekliği	0.77	0.65	0.39
Çalışma Dengesi	0.45	0.63	0.72
Hareketlilik	0.70	0.58	0.19
Ağırlık	0.27	0.77	0.55
Servis Ömrü	0.82	0.72	0.39
Maliyet	0.57	0.67	0.22

Tablo 9 Dominant matrisler

	Kombin	Loder+Kam	H Esk+Kam	E Şov+Kam
Kotmsr Dominant Matris	Loder+Kamyon	0	10	7
	H Esk + Kamyon	6	0	5
	E Şov +Kamyon	8	11	0
	Toplam	14	21	12
İyimsr Dominant Matris	Loder+Kamyon	0	11	8
	H Esk + kamyon	6	0	2
	E Şov +Kamyon	8	11	0
	Toplam	14	22	10
Ortalama Dominant Matris	Loder+Kamyon	0	9	8
	H Esk + Kamyon	6	0	4
	E Şov +Kamyon	8	11	0
	Toplam	14	20	12
Değiştirilmiş Dominant Matris	Loder+Kamyon	0	10	8
	H Esk + Kamyon	6	0	5
	E Şov +Kamyon	8	11	0
	Toplam	14	21	13

ı> MJİvl riAR

Hu ımkalcrie, tıık işle include vıkkınc-tasjma optı ısyortmJı 1111UHIPIlrık ıı/eic loılu kamyon ı-ı-M in 1- Hn\\(ıı M oitkfuıklı şovü kamyon l (nu)ııı(i*)(ııffin MIDIMI ili t(>ıı) it) piololıp sistem

geliştirilmiştir. Geliştirilen y-stimm çalışması, bulanık kümeleme ve onun bu uygulaması olan bulanık dominant algoritması ile u/niin sistimlerle u/ennc dayalı olup t kıpının sı amı yap.ni n/m.nıl<n tun u>k iyi hu karı dclı k sistemi olttıı u I abul ı d ilebilir. Aynı ti gedsin ilen M (LOI tipik İm yapay /ı ka

uygulanması olduğundan ekipman seçiminde yeni bir yaklaşımda öncülüğünü üstlenmektedir. Keza, geçmişle ekipman seçimi hususlarında pek çok kıymetli araştırmalar yapılmasına rağmen, yapay zeka destekli ekipman seçimi uygulamalarının nadir olduğu görülmüştür. Geliştirilen sistemdeki en büyük dezavantaj, değerlendirme matrislerindeki üyelik derecelerinin subjektif olarak atanmasıdır. Ancak bilindiği gibi bulanık küme teorisi uygulamalarında üyelik dereceleri subjektif olarak atanmaktadır.

Her ne kadar geliştirilen sistem prototip olsa da ilerde yapılacak olan çalışmalarla sistemin pratikte daha iyi kullanılabilir hale getirilmesi mümkündür. Bu manada sisteme eklenebilecek ilave çalışmalar şunlar olabilir,

- Daha fazla kriterler (maliyet analizleri gibi) dikkate alınarak seçim daha makul bir hale getirilecektir.
- Sistemde daha fazla ekipmanın seçimi yapılacaktır (draglayn, hidrolik ekskavator, skaryer seçimi gibi).
- Ekipman maliyetlerinin optimizasyonu yem bir yapay zeka tekniği olan genetik algoritmalarla yapılacaktır.
- Sistem daha fazla bilgisayar paket programlarla (Clipper, FoxPro, gibi) etkileşim halinde olacaktır.

7 KAYNAKLAR

Bandopadyhay, S 1987 *Partial Ranking of Primary Stripping Equipment in Surface Mine Planning* International of Surface Mining, 1 55-59

Claike M P, Denby, B ve Schofield, D 1990 *Decision Making tools for Surface Mine Equipment Selection* Mining Science and Technology, 10 321-315

Denby B and Schofield D 1992 *Dynamic Selection Using Intelligent Computer Simulation* Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section-A, Mining Industry (UK) 1

Haidai A D and Naom SO 1990 *Open-pit Mine Equipment Selection Using Genetic Algorithms* International of Surface Mining and Reclamation 1(1) 67

Mipel KW 1982 *Fuzzy Set Methods in Mine Planning Modelling* In Proceedings of the 1st International Conference on Fuzzy Logic and Applications, M. M. Gupta and Sanchez (Eds) Amsterdam: North-Holland.

Hipel KW 1983 *Fuzzy Set techniques in Decision Making Research* Management and Optimisation, 2 187-203

Kaufman A 1975 *The Theory of Fuzzy Subsets* Vol 1 London, Academic Press

Schofield, D and Denby, B 1990 *Surface Mining System Design Using Intelligent Computer Techniques* Second International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection. 37-41 Calgary Canada

Zadeh LA 1965 *Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Processes* New York Academic Press

