



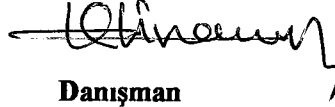
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

105349

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇİFTALAN LİNYİT SAHASI İÇİN OPTİMUM YERALTI ÜRETİM
YÖNTEMİ SEÇİMİ

Abdulkadir KARADOĞAN
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden Mühendisliği Programı



Danışman
Doç. Dr. Ali KAHRİMAN

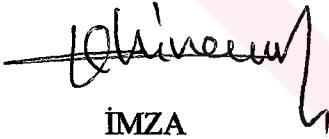
Ağustos 2001

105349

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ YÖNTEMLERİ KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma 15/10/ 2001 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Maden Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



İMZA

Doç.Dr. Ali KAHRİMAN
Danışman



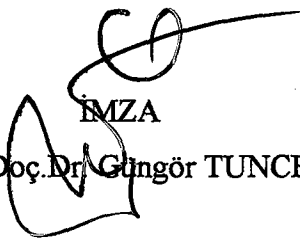
İMZA

Prof.Dr. Erkin NASUF



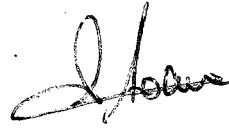
İMZA

Yrd.Doç.Dr. Şafak G. ÖZKAN



İMZA

Yrd.Doç.Dr. Gungör TUNCER



İMZA

Yrd.Doç.Dr. Ataç BAŞÇETİN

ÖNSÖZ

Öncelikle tezimin hazırlanmasında, gerek konu seçiminde, gerekse çalışmalarımı sürdürdüğüm her aşamada, çok değerli bilgi ve yardımlarını şahsımdan esirgemeyen kıymetli danışman hocam, Doç. Dr. Ali KAHRİMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim. Ayrıca lisans aşaması dahil olmak üzere iyi bir mühendis olarak yetiştirilmem için gayret sarfeden ve tezimin hazırlanması sırasında gerekli her türlü desteği gördüğüm değerli hocalarım, Prof. Dr. Bedri İPEKOĞLU, Yrd. Doç. Dr. Güngör TUNCER ve Yrd. Doç. Dr. Ataç BAŞÇETİN'e ve tezimin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Savaş GÖRGÜN ve Arş. Gör. Tansel DOĞAN'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında desteğini aldığım İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu'na, çalışmanın uygulama aşamasında ölçüm, gözlem ve bilgiye ulaşmada yoğun desteklerini gördüğüm Maden Yüksek Mühendisi Mehmet BUDAK ve Kutman Ticaret Limited Şirketi yöneticileri ve tüm çalışanlarına da teşekkürlerimi sunarım.

Gerek özel hayatımda gerekse akademik hayatımda manevi desteklerini aldığım Aileme ve bana vermiş olduğu sevgi ile daha azimle çalışmamı sağlayan sevgili eşim Evren KARADOĞAN'a teşekkür etmenin yanında sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ağustos, 2001

Abdulkadir KARADOĞAN
Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ	IV
TABLO LİSTESİ	V
FOTOĞRAF LİSTESİ	VI
EK LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
2. MALZEME VE YÖNTEM	3
2.1. Üretim Yöntemi Seçimine Etki Eden Parametreler	3
2.1.1. Cevher Yatağının Fiziksel ve Jeolojik Karakteristikleri	3
2.1.1.1. Cevher Yatağının Geometrik Şekli	4
2.1.1.2. Cevher Kütlesinin Kalınlığı	5
2.1.1.3. Eğim Açısı	5
2.1.1.4. Kazının Yapıldığı Derinlik	6
2.1.1.5. Cevherin Tenör Dağılımı	6
2.1.1.6. Cevher-Yantaş Kontak Durumu	7
2.1.1.7. Cevher ve Yantaşın Sağlık Durumu	7
2.1.1.8. Cevherin Mineralojik ve Kimyasal Bileşimi	8
2.1.1.9. Metan Gazının Varlığı	9
2.1.2. Cevher Zonu, Tavan ve Taban Koşulları	9
2.1.2.1. Kaya Dayanımı	11
2.1.2.2. Çatlak Kayma Direnci	12
2.1.2.3. Çatlak Aralığı	12
2.1.2.4. Yerinde Basınç Ölçümü	12
2.1.2.5. Hidrolik Koşullar	13
2.1.3. Üretim ve Sermaye Maliyeti	13
2.1.4. Üretim Oranı	14
2.1.5. İşe Yararlık ve Emek Maliyeti	14
2.1.6. Çevresel Düzenlemeler	15
2.2. Üretim Yöntemi Seçim Teknikleri	15
2.2.1. Boshkov ve Wright Yaklaşımı	16
2.2.2. Hartman Yaklaşımı	16
2.2.3. Morrison Yaklaşımı	19
2.2.4. Laubscher Yaklaşımı	20
2.2.5. Nicholas Yaklaşımı	21
2.3. Yeraltı Üretim Yöntemi Seçimi İçin Bulanık Küme Teorisi Yaklaşımı	23
2.3.1. Karar Verme	23
2.3.1.1. Karar Ortamı	24
2.3.1.2. Karar Verme Araçları	24
2.3.2. Bulanık Kümeler Kuramı	25
2.3.2.1. Bulanık Kümeler Kuramının Matematik Temelleri	26

2.3.2.1.1. Olasılık-Olabilirlik Farkı	27
2.3.2.1.2. Geleneksel Küme ve Bulanık Küme	27
2.3.2.2. Bulanık Kümelerde İşlemler	29
2.3.2.3. Dil Değişkenleri ve Dil Değişken Değerleri	35
2.3.2.4. Bulanık Kümeler Mantığı	36
2.3.2.5. Olabilirliğin Gösterimi	38
2.3.3. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme	38
2.3.3.1. Karar Vermede Önemli Kavramlar	38
2.3.3.2. Karar Verme Tipleri	40
2.3.3.2.1. Çok Amaçlı Karar Verme	40
2.3.3.2.2. Çok Kriterli Karar Verme	42
2.3.3.2.3. Çok Nitelikli Karar Verme	44
2.3.3.3. Bulanık Çok Kriterli Yaklaşımlar	44
2.3.3.3.1. Alternatiflerin Sınıflanması Yöntemi	45
2.3.3.3.2. Saaty Teorisi	46
2.3.3.3.3. Bellman and Zadeh	49
2.3.3.3.4. Yager Teorisi	51
3. BULGULAR	54
3.1. Çiftalan Linyit Sahası Hakkında Genel Değerlendirme	54
3.1.1. Ulaşım	54
3.1.2. Coğrafya	54
3.1.3. İklim	54
3.1.4. Araştırma Sahasının Stratigrafisi	56
3.1.5. Bölgenin Tarihçesi	60
3.1.6. Sahanın Hukuki Durumu	63
3.2. Arazi ve Laboratuvar Çalışma Sonuçları	63
3.2.1. Çiftalan Linyit Sahasının Geometrisi	63
3.2.2. Çiftalan Linyit Sahasının Rezerv Hesabı	68
3.2.3. Kaya Mekanığı Laboratuvar Deney Sonuçları	69
3.2.3.1. Schmidt Çekici Deneyle	69
3.2.3.2. Nokta Yükleme Deneyle	71
3.2.3.3. Yoğunluk Deneyle	72
3.2.3.4. Kimyasal Analiz Sonuçları	72
3.3. Çiftalan Linyit Sahası İçin Optimum Yeraltı Üretim Yöntemi Seçimi	72
3.4. Seçilen Üretim Yönteminin Tanıtılması ve Tasarımı	78
3.4.1. Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi	78
3.4.2. Seçilen Üretim Yönteminin Tasarımı	79
3.4.2.1. Geliştirilen Oda-Topuk Tasarımının Esasları	80
3.4.2.2. İşletme Şartları İçin Tipik Bir Tasarım Örneği ve Sonuçlarının Tartışılması	82
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	85
5. KAYNAKLAR	87
6. ÖZGEÇMİŞ	91
7. EKLER	92

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Hartman'ın Üretim Yöntemi Seçim Şeması	18
Şekil 2.2. Üretim Yöntemi Seçimi İçin Morrison'un Seçim Grafiği	19
Şekil 2.3. Laubscher'in Seçim Tasarımı	20
Şekil 2.4. Laubscher'in Hidrolik Yarıçapı Dikkate Alarak Yaptığı Sınıflandırma	20
Şekil 2.5. Klasik Küme Teorisi	28
Şekil 2.6. Bulanık Küme Teorisi	28
Şekil 2.7. Bulanık Kümede Örtüşüm	29
Şekil 2.8. Bulanık Giriş Değişkeninin Üyelik Derecesi	29
Şekil 2.9. Kümelerin Eşitliği ve Tümleyen Kümelerin Grafikselsel Gösterimi	30
Şekil 2.10. Bulanık Kümelerde Kapanmanın Grafikselsel Gösterimi	32
Şekil 2.11. Bulanık Kümelerde Açılmanın Grafikselsel Gösterimi	33
Şekil 2.12. Bulanık Kümelerde Kuvvetlendirmenin Grafikselsel Gösterimi	33
Şekil 2.13. Saaty Hiyerarşisine Bir Örnek	47
Şekil 3.1. Çiftalan Linyit Sahasının Yeri ve Ruhsat Alanları	55
Şekil 3.2. Çiftalan Bölgesinin Genelleştirilmiş Stratigrafik Sütun Kesiti	58
Şekil 3.3. Belgrad Formasyonu Jeolojik Kesiti	59
Şekil 3.4. Çiftalan Linyit Sahasının Tavan Blok Diyagramı	66
Şekil 3.5. Çiftalan Linyit Sahasının Taban Blok Diyagramı	67
Şekil 3.6. Kriterlerin Karşılaştırılması	75
Şekil 3.7. Oda-Topuk Yönteminin Genel Görünümü	78

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Deer'e Göre Kaya Sınıflaması	10
Tablo 2.2. Coate'nin Kaya Sınıflaması	10
Tablo 2.3. Kaya Dayanımının Sınıflandırılması	11
Tablo 2.4. Kayaların Çatlak Kayma Direncinin Sınıflandırılması	12
Tablo 2.5. Kayaların Çatlak Aralıklarının Sınıflandırılması	12
Tablo 2.6. Üretim Yöntemlerinin Sıralamasına Dayanan Nispi Maliyetler	14
Tablo 2.7. Yeraltı Üretim Yönteminin Uygulamaları	17
Tablo 2.8. Üretim Yönteminin Seçimini Etkileyen Faktörlerin Tanımı	21
Tablo 2.9. Üretim Yöntemi Seçiminde Kullanılacak Puanlama Değerleri	22
Tablo 2.10. Değişik Üretim Yöntemleri İçin Geometri/Tenör Dağılım Puanlaması	22
Tablo 2.11. Değişik Üretim Yöntemleri İçin Kaya Mekaniği Karakteristiklerinin Puanlaması	22
Tablo 2.12. Bazı Dil Değişkenleri ve Aldıkları Değerler	36
Tablo 2.13. Bulanık Kümelerdeki Bazı İşlemlerin Dilsel Karşılıkları	36
Tablo 2.14. Alternatiflerin Sınıflanması Metodu İle Çözümdeki Önemli Yaklaşımlar	45
Tablo 3.1. Çiftalan Linyit Sahasında Yapılan Sondajların Verileri	64
Tablo 3.2. Çiftalan Linyit Sahasının Poligon Yöntemiyle Rezerv Hesabı	68
Tablo 3.3. Schmidt Çekici Değerlerine Göre Kaya Sertliği Tanımı (ISRM)	70
Tablo 3.4. Sarımsı Kil-Kum-Çakıl Biriminde Yapılan Schmidt Çekici Deneysel Sonuçları	70
Tablo 3.5. Yeşilimsi Kil-Kum-Çakıl Biriminde Yapılan Schmidt Çekici Deneysel Sonuçları	70
Tablo 3.6. Kömür Formasyonunda Yapılan Schmidt Çekici Deneysel Sonuçları	71
Tablo 3.7. Çiftalan Linyit Sahası Kömürlerinin Nokta Yükleme Deneysel Sonuçları	71
Tablo 3.8. Linyit Kimyasal Analiz Sonuçları	72
Tablo 3.9. Alternatif Yöntemler İçin Hesaplanan Teknik Kriterler	73
Tablo 3.10. Alternatif Üretim Yöntemleri	73
Tablo 3.11. Yeraltı Üretim Yöntemi Seçiminde Göz Önüne Alınan İşlem Kriterleri	74
Tablo 3.12. Taban Kilinin Oda-Topuk Tasarımına Etkisi	83

FOTOĞRAF LİSTESİ

	Sayfa No
Fotoğraf 3.1. Haliç’de Dekovil Hattının Başlangıç Noktası ve Silahdarağa Termik Santrali	62
Fotoğraf 3.2. 1916-1922 Yılları Arası Askeri Makamlar Tarafından İşletilen Karadeniz Kıyısındaki Kömür Ocağı	62



EK LİSTESİ

- Ek I. Çiftalan Linyit Sahasının Son Durumunu Gösteren Fotoğraf
- Ek II. Çiftalan Linyit Sahasında Alınan Kesit Düzlemlerini ve +30, +40 Yatay Kesitlerde Damarın Durumunu Gösteren Harita
- Ek III. Çiftalan Linyit Sahasından Alınan Kesitler
- Ek IV. Çiftalan Linyit Sahasının Poligon Haritası



ÖZET

“ÇİFTALAN LİNYİT SAHASI İÇİN OPTİMUM YERALTI ÜRETİM YÖNTEMİ SEÇİMİ”

Maden planlama mühendisleri karar aşamasında kendi insiyatif ve tecrübelerini çok sık kullanırlar. Çoğunlukla probleme etki eden dilsel değişkenler (zayıf kaya, masif boyutlu cevher, uniform tenörlü cevher vb.) söz konusudur ve karar verici bu değişkenleri hesaba nasıl katacağını tam olarak bilemez. Bu çalışmada incelenen Bulanık Küme Teorisi ile karar verme prosesinde söz konusu bu belirsizlikler (bulanık ortamlar) kolayca değerlendirilebilmektedir. Bilgisayar teknolojisinin ve uzman sistemlerle konuşma dili programlamasının hızla gelişimi ile de karar vericinin yükü önemli ölçüde azalmıştır. Bu tezin amacı, yeraltı üretim yöntemi seçimi için belirsiz değişkenlerin (dilsel değişkenler) söz konusu olduğu karar aşamasında, maden planlama mühendislerine bu değişkenleri; madencilikte yeni uygulama sahası bulmuş (ülkemizde ve dünyada yeraltı madenciliğinde henüz örneği bulunmayan) bulanık kümeler teorisi ile nasıl değerlendireceğini göstermektir. Burada önemli olan diğer bir nokta ise bulanık küme teorisinin ekipman seçimi prosesine uygulandığı gibi madenciliğin diğer problemlerinin çözümünde de uygulanabileceğidir.

Bu tez çalışmasının esas olarak dört ana bölümden oluştuğu söylenebilir. İlk bölümde yeraltı üretim yöntemi seçimine etki eden faktörler ve seçim teknikleri incelenmektedir. Üretim yöntemi seçimine etki eden faktörlerin bilinmesi problemin çözümünde büyük rol oynamaktadır. İkinci bölümde ise bulanık küme teorisi, karar ortamı ve bulanık çok kriterli karar verme prosesi tanıtılmıştır. Aralarında belirsiz (kesin olarak tanımlanmamış) sınırlar olan kavramlar, elemanlar grubu olarak tanımlanabilen bulanık küme teorisi, ilk defa Lotfi Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Birçok sektörde uygulamasını gördüğümüz bulanık küme teorisi ve bulanık çok kriterli karar verme prosesine ait Zadeh ve diğer bazı bilim adamları tarafından geliştirilmiş değişik metotlar vardır. Bununla birlikte bu tez çalışmasında, kriterleri hem alternatiflere göre hemde birbirlerine göre kıyaslayıp eksponansiyel bir önemleme derecesi elde edildiği ve böylece daha optimal sonuçlara ulaşılabilirdiği için Yager Teorisi kullanılmıştır. Tezin üçüncü bölümü olarak nitelendirdiğimiz bölümde ise bulanık küme teorisine dayanan ve gerçek işletme verileri kullanılarak bir örnek uygulama yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise bulanık küme teorisi kullanılarak seçilen yeraltı üretim yöntemi tanıtılmış ve bu yöntemin, işletme verileri kullanılarak tasarımı yapılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma ile karar aşamasında (bulanık ortamlarda) kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi için yeni bir yaklaşım sunulmuş ve böylece önerilen algoritma ile daha kolay, çabuk ve optimal kararların alınabileceği gösterilmiştir.

* Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir
(Proje No: T - 832/07032000)

ABSTRACT

“SELECTION OF OPTIMUM UNDERGROUND MINING METHOD FOR THE CIFTALAN LIGNITE BASIN”

Mine planning engineer often use of their intuition and experiences in decision making. Mostly linguistic variables (weak rock, massive dimension ore, etc.) become in question and decision-makers may not know how this variables are computed. Since the fuzzy set theory has been carried out, these uncertainties in question are easily evaluated in decision making process. By the development of computer technology and programming of colloquial language with expert systems have considerably reduced decision makers burden. The purpose of this thesis is to show mine design engineers how this variables will be evaluated by fuzzy set theory, when uncertain variables for selection of underground mining method becomes in question in decision making. The other point of view is that as well as the fuzzy set theory is used for selection of underground mining method it also can be utilised other mining problems.

This thesis can mainly be divided into four sections. In the first section, it is evaluated factors that effect selection of underground mining method. If this factors are known exactly, it helps us to solve selection process of underground mining method. In the second section, fuzzy set theory, decision-making, decision area and fuzzy multiple attribute decision-making process are introduced. The fuzzy set theory that can be defined as concepts or group of elements, which have uncertain limits among them, is firstly discussed by Lotfi Zadeh. There are many methods related with fuzzy set theory and fuzzy multiple attribute decision-making process that have been developed by Zadeh and other scientists. In addition to this, Yager Theory has been used to have optimal results and obtain weighting degree comparing criteria both among them and alternatives. In the third section, there is a study based on fuzzy set theory using a real mine data. In the fourth section, it is designed of the underground mining method that is selected. Consequently, within the scope of this thesis, a new approach has been represented for weighting of the criteria in decision making. Therefore, it is proved that optimal decision making can be obtained easily and rapidly.

* This study was supported by Researc Found of Istanbul University (Project number: T-832/07032000)

1. GİRİŞ

Doğal kaynakların tükenebilirliği dikkate alındığında, günümüzde maden rezervlerinin optimum şekilde değerlendirilmesi zorunlu hale gelmektedir. Bu süreçte; ekonomik, teknik ve emniyetlilik açısından, koşullara uygun yeraltı üretim yöntemi seçimi büyük önem arz etmektedir [1]. Yöntem seçimi, ocak dizaynını ve üretim planlamasını etkileyen çok önemli bir faktördür. Ayrıca plan yerleşimi ve derinliğin bir fonksiyonu olarak maliyet tahmin parametrelerini ve özellikle cevher üretim maliyetleri gibi yeraltı madenciliğindeki ekonomik düşünceleri de etkilemektedir. Dolayısıyla yeraltı üretim yöntemi seçimi aşamasında verilecek yanlış bir karar büyük ekonomik kayıplara ve verimsiz üretime neden olabilecektir. Bu nedenle maden planlama mühendisleri bu konuya gerekli önemi vermek zorundadırlar [2]

Yöntem seçiminde ise, bilindiği gibi kontrol edilebilir ve kontrol edilemez nitelikte pek çok kriter etkilidir. Üretim yöntemlerinin seçim performansı için ön gereksinim duyulan bu kriterler iyi bir veri tabanı oluşturmaktadırlar. Bu nedenle, söz konusu kriterlerin; her cevher yatağı için ayrıntılı bilimsel ve teknik etütlerle ortaya konması gerekmektedir [3,4].

Günümüze kadar birçok bilimadamı tarafından yeraltı üretim yöntemi seçimi probleminin çözümüne yönelik çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Yeraltı üretim yöntemi seçimi konusunda yapılan bu çalışmalardan bazalarına; Boshkov-Wright (1973), Hartman (1987), Morrison (1976), Laubscher (1981), Nicholas-Narek (1981) örnek olarak verilebilir [5]. Klasik yöntemlerle yapılan değerlendirmeler çoğunlukla kompleks bir durum ortaya çıkarmakta ve de uzun zaman almaktadır. Özellikle yeraltı üretim yöntemi seçiminde olduğu gibi, çok fazla sayıda kriterin söz konusu olması ve bu kriterler kümesi içinde belirsiz, rakamsal olarak ifade edilemeyen elemanların bulunması (bulanık ortamlar) karar verme işini daha da zorlaştırmaktadır. Karar verme prosesleri için geliştirilen yeni metotlar (genetik algoritma, bulanık küme teorisi, vb.) amaca daha çabuk, kolay ve hassas ulaşmayı sağlamaktadır. Bu çalışmada, belirsiz yada yetersiz verilerin bulunduğu (dilsel değişkenler) karar aşamasında, üretim yöntemi seçimi için Bulanık Küme Teorisinin (Fuzzy Set Theory) kullanılması önerilmiştir [2].

Bölüm 2 ve 3'de de görüleceği üzere teorinin esası; herhangi bir yeraltı madeni için, yeraltı üretim yöntemi seçiminde etkili olan kriterleri (cevher ve yantaşın jeolojik ve jeoteknik özellikleri, ekonomik etkiler, çevresel etkiler, vb.), o işletme için söz konusu olabilecek üretim yöntemleriyle (uzunayak, oda-topuk, arakatlı göçertme, travers ayak vb.) karşılaştırıp alternatiflere üyelik derecesi atanmasına dayanır. Prosedür gereği bunun yapılabilmesi için öncelikle seçimi etkileyen bu kriterlerin çeşitli çözüm metotları ile (lineer programlama, uzman sistemler, uzman görüşleri gibi) analizi yapılarak, dilsel sonuçlar elde edilir. Bu analiz sonuçlarından yararlanarak

alternatiflerin kriterler karşısında alacağı üyelik dereceleri belirlenir. Bu tez çalışmasında kriterlerin analizi uzman görüşlerine dayanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada, İstanbul –Çiftalan Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yönteminin seçimi yapılmıştır. Bu amaçla; öncelikle söz konusu sahada üretim yöntemi seçimine etki eden; arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla tespit edilebilen (cevher ve yantaşın jeolojik ve jeoteknik özellikleri, ekonomik etkiler, çevresel etkiler, vb.) ve belirsiz (dilsel) faktörler uzman görüşleri de dikkate alınarak saptanmıştır. Bulanık küme teorisi ile belirsiz değişkenlere üyelik derecesi ataması yapılarak belirlilik getirilmiş ve ayrıca elde yetersiz verilerin olduğu durumlarda karar vericinin ulaşacağı subjektif bilginin de sayısallaştırılması bu teori ile mümkün kılınmıştır. Yeraltı üretim yöntemlerinden oluşan alternatifler kümesi, kriterler kümesi ile bir matris üzerinde değerlendirilmiş söz konusu saha için optimum üretim yöntemi seçimi yapılmıştır.

Bulanık Kümeler Teorisi kullanılarak yeraltı üretim yöntemi seçimi yapılan bu çalışma sonuçları, başka maden sahalarında da en uygun üretim yöntemi seçimlerine ışık tutabilecektir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Üretim Yöntemi Seçimine Etki Eden Parametreler

Yeraltı üretim yöntemi seçiminde literatürde göz önünde bulundurulan 6 temel parametre vardır [6]. Bunlar;

- Cevher yatağının fiziksel ve jeolojik karakteristikleri
- Cevher zonu ve yantaşların tabaka koşulları
- Madencilik ve sermaye maliyetleri
- Üretim oranı
- İşe yararlık ve emek maliyeti
- Çevresel düzenleme

Bu parametrelerden; fiziksel ve jeolojik karakteristikleri ve cevher zonu ve yantaşların tabaka koşulları, en uygun üretim yöntemlerinin çoğunun seçiminde göz önünde bulundurulan başlıca parametreler olmaktadır.

2.1.1. Cevher Yatağının Fiziksel ve Jeolojik Karakteristikleri

Cevher yatağının fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir [6]:

- Cevher Yatağının Geometrik Şekli
- Cevher Kalınlığı
- Eğim Açısı
- Cevherin YüzeYden Derinliği
- Tenör Dağılımı
- Cevher-Yantaş Kontak Durumu
- Cevher ve Yantaşın Sağlamlık Durumu
- Cevherin Mineralojik ve Kimyasal Bileşimi
- Metan Gazının Varlığı

Bu karakteristikler, jeolojik hazırlıklar ve sondaj stamplarından anlaşılabilirler. Jeolojik veriler; ekonomik uygulanabilirlik saptamalarının süreleri içinde kritik parametredir. Çoğu çalışmalarda, mühendisler, araştırmalar için öncelikli rezervin hedef modelini ve kesin olarak ilk cevherin durumunu

geliştirmişlerdir. Cevher arama sondajları sırasında jeologlar sadece jeolojik veri toplamak zorunda kalmayıp, aynı zamanda metalurjik, jeoteknik, hidrolik ve çevresel verileri de toplamak zorundadırlar.

Toplanan metalurjik, jeoteknik, hidrolik ve çevresel veriler, cevher tanımı için yapılan sondajlar sırasında çoğunlukla değişebilirler. Metalurjik verilerin karışmış cevheri sağlanıp sağlanmadığını etkilemesine rağmen, bu veriler üretim yöntemi tipini genellikle etkilemez [6].

RQD (kaya kalite belirteci), çatlak aralığı, saptanan dayanım gibi bazı jeolojik veriler, sadece sondaj karotundan elde edilebilirler. Cevherde yapılan sondajların çoğu, mineralin içinde veya yakınında yapılır. Bu nedenle; üretim yöntemi cevher yatağının üzerinde yanında veya altındaki yer şartları tarafından zorla kabul edilebilir. Dolayısıyla; cevher sınırlarının 15-30 m ötesine kadar sondaj yapılması gerekir. Cevher sınırları dışında yapılan sondajlar, jeoteknik noktaların görünüşü açısından çok önemlidir ve cevher sınırları içinde yapılan sondajlar gibi detaylı olarak sondaj stamlarına kaydedilebilirler [6].

2.1.1.1. Cevher Yatağının Geometrik Şekli

Cevher kütlesinin şeklinin geometrik olup olmaması üretim yönteminin seçiminde büyük ölçüde rol oynar. Cevher yatağının geometrik şekli aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Eşit-boyutlu (masif): Bütün boyutları yaklaşık olarak aynı olan yatak geometrisi
- Levha (tabular): Yatak kalınlığının diğer iki boyuta kıyasla çok küçük olması. Kalınlık genellikle 100 m'yi aşmaz.
- Düzensiz: Bütün boyutlar çok kısa mesafeler içinde değişir.

Seçilecek üretim yönteminde mümkün olduğu kadar, hazırlık işlerinin az olmasına dikkat edilmelidir. Bu husus, tavanı askıda tutarak çalışan kazı şekillerinde ancak belirli bir dereceye kadar geçerlidir. Ayrıca yatağın şekilsiz olması halinde de uygulanabilir [6].

2.1.1.2. Cevher Kütlesinin Kalınlığı

Cevher yatağının kalınlığı, kazının ekonomik olmasına göre ayarlanmalıdır. Cevher kütlesindeki kazı giderleri az kalınlıklarda (2 m'ye kadar) fazla, büyük kalınlıklarda düşüktür. Kazı giderlerine göre cevher kütlesinin kalınlığı aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir [6,7].

- 2 m kalınlığa kadar olan yataklar (kazı giderleri, kalınlığın azalması ve artmasına göre değişir)
- 2 – 15 m kalınlıktaki yataklar
- 15 m' den fazla kalınlıktaki yataklar

Bu sınıflara göre uygulanması gereken üretim yöntemleri ise aşağıdaki şekilde seçilmelidir;

Birinci Sınıf: Direk tahkimatlı tavan ayak, kısa kazı arınlı ayak, en azından 0,8 m kalınlığa kadar yantaşın kazıldığı depolama yöntemi, dik meyillerde cevherin askıda kalmaması için bazı önlemlerin gerekli olduğu dilim halinde göçertme yöntemi, topuklu ayak ve kat halinde göçertme yöntemi.

İki ve Üçüncü Sınıf: Kat halinde oda – topuk yöntemi, küp tahkimatlı ayak, yatay veya meyilli dilimler halinde dolgulu ayak ve çok kalın yataklarda blok halinde göçertme yöntemi [7].

2.1.1.3. Eğim Açısı

Maden yatağının eğiminin kazı işine, pasasının nakliyesine, tavan basıncı ve dolayısıyla tahkimata, cevher nakliyesine, dolgu malzemesinin getirilişine, işçinin iş yerine gelişine ve malzemelerin taşınmasına, taş veya cevher düşme tehlikesine v.b. hususlara etkileri vardır. Yukarıdaki sayılan faktörlerin bazıları üretim yönteminde faydalı, bazıları ise sakıncalı olmaktadır. Fakat uygun bir üretim yönteminin seçiminde sakıncalı yönler ortadan kaldırılabılır veya azaltılabilir [7,8].

Eğim açısına göre maden yatakları yatık ($0 - 20^{\circ}$), orta meyilli ($20^{\circ} - 55^{\circ}$) ve dik meyilli ($55^{\circ} - 90^{\circ}$) olmak üzere sınıflandırılmaktadır [6]. Yatık yataklarda kazılan

cevher yerinde kaldığı halde, meyilli olanlarda kendiliğinden taban tabakaları üzerinden kayar. Meyilin fazla olması halinde, çalışma ve emniyet tüzüklerine aykırı davranılacak olunursa, yuvarlanan cevher kazalara neden olabileceği gibi, tahkimat direğini de yıkabilir.

Üretim yönteminin seçiminde eğim açısının etkisi, cevher kütlesinin kalınlığına göre de değişir. Az kalınlıktaki maden yatağında, örneğin ambarlama yönteminde cevherin kendiliğinden hareketi için en azından 60° lik bir eğim açısı gerekir. Aksi halde ambarın boşaltılmasında kırılmış cevher askıda kalabilir

Ambarlama, kat halinde göçertme ve blok halinde göçertme yöntemleri ancak çok kalın, yatay veya az eğimli yataklarda uygulanabilir. Dilim halinde ve kat halinde göçertme yöntemlerinde cevher kütlesinin kalınlığı ve eğimi arasındaki belirli ilişki saptanabilir [7,9].

2.1.1.4. Kazının Yapıldığı Derinlik

Çok fazla derinliklerde üretimin yapıldığı metalik cevher ocaklarından elde edilen bilgiler, kalın olmayan yataklarda tahkimat veya dolgu, kalın yataklarda ise sadece dolgulu çalışmanın zorunlu olduğunu göstermiştir. Derinlik fazlaştıkça artan kaya sıcaklığı, kazı yerinin iyi bir şekilde havalandırılması sorununu ortaya çıkarmaktadır ki, bu husus örneğin, dilimli veya blok halinde göçertmeli çalışmada büyük zorlukların nedeni olmaktadır [7,9].

2.1.1.5. Cevherin Tenör Dağılımı

Cevher kütlesi içerisindeki zengin kısımların dağılımı çok değişik olabilir. Buna rağmen bunların tenörlerine göre sınıflandırılmasının yapılması mümkündür. Cevher yatağının tenör dağılımı aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir [5].

- Uniform: Tenör yatak içinde belirgin şekilde değişmemektedir. Değişim katsayısı $V \leq \%40$
- Tedrici : Tenör değerleri zonal karakteristikleri olup, bir zondan diğer bir zona tedrici şekilde değişim gösterir. $\%40 < V < \%100$
- Erratik : Çok kısa mesafeler içinde tenör değişimi çok belirgin ve bu değişimler belirli bir düzen göstermezler. $V > \%100 - 150$

Cevherin homojen bir yapı göstermesi halinde bütün yöntemler uygulanabilir. Cevherin zengin olan kısımları yuvalar halinde ise ve bunlar fakir cevherler tarafından çevrilmişse, üretimin ayrı ayrı yapılması zorunludur.

Üretim yönteminin seçimine etki eden başka bir husus da, cevherleşme zonunun açık bir şekilde fakir olan cevhersiz kısma geçmesidir. Bu durumda ancak oda yöntemi uygulanabilir. Göçertmeli çalışma ancak bazı cevherli kısımların bırakılmasının gerekli olmadığı hallerde uygulanabilir. Cevhersiz kısımları bırakmaktan başka çare yoksa, çok kalın yataklarda blok göçertme ve az kalınlıktaki yataklarda ise depolama yöntemi en uygun üretim şekli olur [6,9].

2.1.1.6. Cevher-Yantaş Kontak Durumu

Cevher ve yantaş arasındaki kontak durumu, az kalınlıkta olan tabaka halindeki yataklarda ayrıca yantaşın kazısını da gerektirdiğinden, farklı etki gösterir. Kontak durumu çok belirli ise, özellikle kıymetli cevherlerde ayrı ayrı kazı gerekir. Bu durumda az kalınlıktaki cevher kütlesi, uzun ayak veya direk tahkimatlı tavan ayak yöntemiyle üretilmelidir.

Tahkimatlı kazı yöntemlerinden ise, yatay direk tahkimatlı yatay dilimler halinde kazı şekli uygulanmalıdır. Ayrıca dolgulu yatay dilim, dolgulu tavan ayak, topuklu ve cevher kütlesinin tümünün dolgulu üretildiği, keza yantaşın en azından 0,8 m kazıldığı depolama yöntemleri kullanılmalıdır. Cevher ile yantaş arasındaki belirli bir kantağın bulunmaması halinde ayrı ayrı kazı olanağı yoktur [6,7,9].

2.1.1.7. Cevher ve Yantaşın Sağlık Durumu

Üretim yönteminde gerekli olan emniyetin sağlanması yönünden cevher ve yantaşın sağlık durumu önemli rol oynamaktadır. Bu özelliklere göre aşağıdaki şekilde sınıflama yapılabilir [7].

- **Cevher ve Yantaş Sağlık:** Bu durumda göçertmeli üretim yöntemi dışında bütün üretim yöntemleri uygulanabilir. Göçertme ancak tavanın zorla göçürtüldüğü dilim halindeki göçertme ve blok halindeki göçertme yönteminde geçerli olabilir.

- Sağlam Cevher ve Çürük Yantaş: Büyük açıklıklar meydana getirecek üretim yöntemi uygulanamaz. Tahkimatlı ve dolgulu bütün yöntemler geçerlidir. Ayrıca yatay dilimli ve dolgulu tavan ayaklar da uygulanabilir. Göçertmeli üretim yöntemleri, kat halinde göçertme şartı ile emniyet yönünden bütün sistemlerde kullanılabilir.
- Çürük Cevher Fakat Sağlam Yantaş: Bu durumda kısa kazı arınlı açık ayaklar söz konusu olabilmektedir. Tahkimatlı çalışma halinde kısıtlayıcı durum yoktur. Ayrıca depolama yöntemi ile cevher üretiminde de uygulanır. Göçertmeli yöntemlerden ise; dilim halinde göçertmeli yöntem söz konusu olup, burada tavan da aynı zamanda göçertilmektedir.
- Cevher ve Yantaş Çürük: Tahkimat ve dolgu ile çalışan bütün yöntemler uygulanabilir. Blok halinde göçertmeli yöntemde ana kütlelerin altından sürülecek yollar için özel hususlar zorunludur.

Kayanın sağlamlığı ve özelliklerine göre de yöntem saptanır. Tavandaki çatlakların yönü ve durumuna göre ayak ilerleme yönünün seçimi gerekir. Taban tabakalarında olan düzensizlikler de kazı için seçilecek tahkimat şekline etki eder [7].

Tabaka halinde oluşum gösteren maden yataklarında, örneğin kömür v.b. çatlaklar ve yangına yakınlık durumu göz önüne alınmalıdır. Kömür içerisinde çatlakların bulunması halinde kazı arınının çatlakların kazıyı kolaylaştıracak şekilde düzenlenmesi gerekir. Keza çatlakların varlığı büyük kömür bloklarının düşmesine neden olabilir. Ayak ilerleme yönü ve bununla ilgili uygun tahkimatın seçimi ile bu tehlike önlenir. Kömürün kendi kendine yanma eğilimi söz konusu ise, seçilecek üretim yöntemi mümkün olduğu kadar küçük topuk bırakılan yöntem olmalıdır. Ayrıca panoların birbirinden kolaylıkla ayrılabilir şekilde düzenlenmesi gerekir [9].

2.1.1.8. Cevherin Mineralojik ve Kimyasal Bileşimi

Cevherin mineralojik ve kimyasal bileşiminin, üretim yönteminin seçiminde önemli etkisi vardır. Kendi kendine yanabilme özelliği ile, tuz minerallerinin nem çekme özelliği ve sülfürlü cevherlerin kolaylıkla okside olabilmeleri, ambarlamalı çalışma halinde önem kazanmaktadır. Kendi kendine yanmaya yatkın cevherlerdeki üretim yöntemlerinin yangın tehlikesi yaratmayacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Örneğin; yanmayan dolgu malzemesinin kullanıldığı tahkimatlı yöntemler ile açılan boşluklara sonradan dolgunun yapıldığı ambarlama ve yangın önleyici önlemlerin alındığı dilim halindeki göçertme yöntemleri gibi. Maden yatağından kalker, kil v.b. mineraller mevcutsa, bunlar kazılmış cevheri birbirine yapıştırıp fereleri tıkama tehlikesi meydana getirebilir. Bu durumda depolama ve ambarlama yöntemleri uygulanamaz [6,7]

2.1.1.9. Metan Gazının Varlığı

Metan varlığının söz konusu olduğu kömür yataklarında uygulanacak üretim yönteminde kör bacaların ve yukarı doğru açılmış boşlukların olmamasına dikkat edilmelidir. Bunun nedeni, metanın havadan hafif olmasından dolayı buralarda birikerek tehlikeli durumlar meydana getirebilmesidir. Fazla miktarda gaz kapsayan damarlarda her kazı arını, ek olarak sürülmüş bir galeri yardımıyla, ayrı olarak havalandırılmalıdır. Bu tip ocaklarda çalışma bölgeleri hava akımı boyunca düzenlenmiş olmalıdır [7,9].

2.1.2. Cevher Zonu, Tavan ve Taban Koşulları

Cevher zonu, tavan taşı ve taban taşı koşullarının üretim yöntemi seçimi için tanımlanması gerekir. Bu temel bileşenler aşağıda belirtilmiştir [5].

- Kaya dayanımı
- Çatlak kayma direnci
- Çatlak aralığı
- Yerinde basınç
- Hidrolik koşullar

Bütün bu parametrelerin kombinasyonu, kaya kütlelerinin nasıl davrandığını tanımlar. Kaya kütlesi, özel parametrelerin saptanmasıyla veya RQD değerine göre sınıflandırılmasıyla nicel olarak açıklanabilir. Hiçbir yaklaşım kaya kütle davranışının saptanmasında tamamen tatmin edici değildir. Sınıflama yaklaşımları oldukça kolaydır fakat, sınıf seçimi biraz subjektiftir ve her sınıflama sistemi geleneksel madencilik için belirli yönlerinin üretimini hedeflemiştir. Bu nedenle; kaya mekanikçileri hala, kaya kütle dayanımını ortaya atmak (öne sürmek) için özellikleri birleştiren yollar üzerinde çalışmaktadırlar.

Söz konusu sınıflama sistemlerinden Tablo 2.1'de Deer'e (1968) göre kaya sınıflaması, Tablo 2.2'de ise Coate'nin (1970) yapmış olduğu kaya sınıflaması verilmiştir. Kaya sınıflama sistemlerinin çoğunda aynı parametreler kullanılarak sınıflama yapılmıştır [6].

Tablo 2.1. Deer'e Göre Kaya Sınıflaması [6]

1. SAĞLAM KAYA DAYANIMI		
Sınıfı	Açıklama	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
A	Çok Yüksek Dayanım	>220
B	Yüksek Dayanım	110-220
C	Orta Dayanım	55-110
D	Düşük Dayanım	27-55
E	Çok Düşük Dayanım	< 27
2. SAĞLAM KAYA KATSAYISI (E_t/σ_c)		
Sınıfı	Açıklama	Katsayı
H	Yüksek Katsayı	> 500
M	Orta Katsayı	200-500
L	Düşük Katsayı	< 200
3. ÇATLAK ARALIKLARI		
Açıklama		Çatlak Aralıkları
Çok Yakın		> 50 mm
Yakın		50-300 mm
Kısmen Yakın		0.3 – 1 m
Geniş		1 – 3 m
Çok Geniş		> 3 m
4. KAYA KALİTE BELİRTECİ (RQD)		
Açıklama		RQD (%)
Çok Zayıf		0-25
Zayıf		25-50
Orta		50-75
İyi		75-90
Çok İyi		90-100

Tablo 2.2. Coate'nin Kaya Sınıflaması [6]

1. MADDE DAYANIMI	
Açıklama	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
Kuvvetli	≥ 70
Zayıf	≤ 70
2. FORMASYON	
Masif	Çatlak aralıkları > 2 m
Tabakalı	Tabakalar arasındaki bağ tabakadakinden daha az
Blok	Çatlak aralıkları 0.3 – 1 m arasında
Kırılgan	Çatlak aralıkları 0.3 m'den az
Çok Kırılgan	Çatlak aralıkları 3 mm'den az

2.1.2.1. Kaya Dayanımı

Bu özellik, jeolojik yapılar arasındaki kayanın dayanımını gösterir. Bozulmamış kaya dayanımı, tek eksenli ve üç eksenli basınç testlerinden tespit edilir. Kaya tipinden deney tipine göre tercihen en az üç deney numunesi gereklidir. Her sondajdaki her kaya tipinden üçer adet numune seçilmesiyle; sonradan yapılacak deneyler için numunelerin toplanması mümkün olacaktır [6].

Uygulanabilen bir madencilik sistemi için kaya dayanımının nicel ölçümünü formüle etmek oldukça zordur. Maden araştırmalarının başlangıç aşamalarına rağmen, desteklenebilir veriler madencilik çalışmaları yakınında elde edilebilirse, bazı sonuçlara örnek uygulamalardan ulaşılabilir. Örnek uygulamalar cevherin kendisinde beklenebilen kaya tipinin jeolojik durumunu çok iyi verir [10,11].

Başka bir yaklaşım, kayanın tek eksenli basınç dayanımını ölçmektir. Üretim yöntemi seçiminde, literatürde tek eksenli basınç dayanımının derinlik basıncına oranı olan kaya dayanım faktörü kullanılmaktadır. Cevher, tavan ve taban formasyonları için kaya dayanım faktörüne göre kaya dayanım sınıfı Tablo 2.3'deki gibi belirlenmektedir [10,12].

Tablo 2.3. Kaya Dayanımının Sınıflandırılması [12]

Kaya Dayanımı	Kaya Dayanım Faktörü ($\sigma/\gamma.H$)
Zayıf	< 8
Orta	8-15
Sağlam	>15

Her işletme sisteminde kaya dayanımı, hem tahkimatsız hem de özel tahkimat metotlarıyla kazılabilen açıklıkların boyutları için sınırları belirler. Eğer açıklık çok büyükse, çalışma koşulları emniyetsiz olur ve göçük meydana gelebilir. Olabilecek kazaları gidermek için yeraltında açılan boşluğun boyutu azaltılmalıdır. Emniyetli üretimler sadece güncel yeraltı araştırmaları sonucunda yapılabilir [10,13].

Bu nedenle, diğer araştırma çalışmalarıyla derlenen jeolojik haritalama ve araştırma sondajları, genellikle açık kazı ve dolgu yöntemi arasında karar vermede yeterli olabilir. Kaya dayanımı, özel üretim yöntemi seçiminde kullanılan en önemli parametrelerden biridir [6,10].

2.1.2.2. Çatlak Kayma Direnci

Bu özellikler, direk çekme dayanımı deneyleriyle saptanırlar. Jeolojik yapılar tarafından kontrol edilebilen çoğu başarısız yollar, bu deneyde kritik olarak yapılabilir. Cevher, tavan ve taban formasyonlarının çatlak kayma dirençleri Tablo 2.4'deki gibi sınıflandırılır [5,6].

Tablo 2.4. Kayaların Çatlak Kayma Direncinin Sınıflandırılması [5]

Çatlak Kayma Direnci	Açıklama
Zayıf	<ul style="list-style-type: none"> • Temiz çatlak, düzgün yüzeyli veya çatlak dolgu malzemesinin direnci kayaç direncinden az
Orta	<ul style="list-style-type: none"> • Pürüzlü yüzeyli – temiz çatlak
Sağlam	<ul style="list-style-type: none"> • Çatlak dolgusunun direnci kayaç direncine eşdeğer veya daha büyük

2.1.2.3. Çatlak Aralığı

Cevher, tavan ve taban formasyonlarında oluşan çatlakların aralığı (çatlak sayısı/m) kaya sınıflandırmasında ve üretim yöntemi seçiminde etkili bir faktördür. Cevher, tavan taşı ve taban taşındaki çatlak sayısı ve RQD değerine göre çatlak aralığının sınıflandırması Tablo 2.5'deki gibi yapılmaktadır [5,6].

Tablo 2.5. Kayaların Çatlak Aralıklarının Sınıflandırılması [5]

Çatlak Aralığı	Çatlak Sayısı / m	% RQD
Çok sık	> 16	0-20
Sık	10-16	20-40
Geniş	3-10	40-70
Çok geniş	< 1	70-100

2.1.2.4. Yerinde Basınç Ölçümü

Yerinde basınç ölçümleri, kayadaki basınçların yönü ve büyüklüğünü tespit eder. Yukarıda açıklanan parametrelere kaya kütle dayanımının saptanmasında ihtiyaç

duyulur. Yerinde basınç ölçümünün alınmasının önemi artmaktadır. Ölçümler, basınçların çok yüksek olduğu derindeki açıklıklar ve her yeraltı çalışması için gerekmektedir. Basınç ölçme yöntemleri, USBM, Güney Afrika CSIR ve Avustralya CSIRO.

Bu yöntemlerin hepsinin destekleyicileri de, karşı olanları da vardır ve gelişmeler sabit olarak devam etmektedir. Basıncın yönü genel olarak her üç teknik için, basınç büyüklüğünden daha doğrudur. Büyüklüğün tam değeri yüksek değişebilirliğe sahipken, basınçlardaki karşılaştırmalı farklılıkların tespit edilmesinde önemlidir. Eğer basınç ölçümleri yapılmazsa, jeolojik tarih, kaya tipi ve jeolojik yapılarla yakınlıkta bir sonuca varılabilmektedir [6,10] .

2.1.2.5. Hidrolik Koşullar

Hidrolik koşullar; eğer su varsa, drenaj programı için izin verilmesi gereken kazının yapılması için kaya kütle dayanımına katkıda bulunur. Üretim yöntemlerinin çoğu; bazı hidrolik yöntemlerin haricinde, su ile iyi mücadele edemezler. Hidrolik veriler, su seviyesinin yükseltilmesi ve depolama katsayısını içerir [6].

2.1.3. İşletme ve Sermaye Maliyeti

Doğal olarak, bazı üretim yöntemleri diğerlerinden daha yüksek maliyetlere sahiptirler. Örneğin; blok göçertme, genel olarak yeraltı üretim yöntemleri içinde en ucuz yöntem olarak bilinir. Bu nedenle; eğer büyük rezervli bir maden yatağı, geniş eklem aralıklı ve yüksek dayanımlı olursa, blok göçertmenin maliyeti belki de çok yüksek çıkabilir. Günümüz teknolojilerindeki gelişmelerle artık pahalı olarak bilinen bir metot, daha ucuz olabilmektedir [6].

İşletme maliyetlerinde aşırı farklılıklar olabilmesine rağmen; üretim yöntemi, halen cevherin ilk geometrisi ve kaya koşullarına dayanmasıyla seçilebilmektedir. Eğer yöntem çok pahalı ise, sonradan yeni ve denenmeyen teknikler gerektirebilen daha ucuz yöntemler göz önüne alınabilir [10]. Tablo 2.6'da nispi maliyetlerine dayanan farklı üretim yöntemlerinin yaklaşık sıralamasını gösterir.

Sermaye gereksinimi; üretim yöntemi, cevher yatağının boyutu, artan ihtiyaçlar ve üretim oranına bağlı olarak değişir. Maalesef bir cevher yatağını üretim aşamasına getirmede verilen kararların çoğu paranın zaman değeriyle kontrol edilir.

Tablo 2.6. Üretim Yöntemlerinin Sıralamasına Dayanan Nispi Maliyetler [6]

Üretim Yöntemi	Nispi Maliyet Oranı (%)
Hidrolik Madencilik, Yerinde Çözündürme	5
Açık İşletme	10
Blok Göçertme, Uzunayak	20
Oda-Topuk	30
Arakathlı Kazı	40
Arakathlı Göçertme, Ambarlı Ayak	50
Dolgulu Tavan Aranlı Ayak	60
Küp Tahkimathlı Yöntem	100

2.1.4. Üretim Oranı

Madencilik veya üretim oranı, maden yatağının sermaye maliyeti, boyutu, tenörü ve yerinin bir fonksiyonudur. Üretim oranı genellikle üretim yönteminin seçiminde büyük etkiye sahip değildir. Üretim oranı, ocağın dışına cevherin nasıl taşınacağı üzerinde etkilidir. Fiziksel olarak yeterli büyüklükte verilen bir cevher yatağındaki üretim yöntemi, ihtiyaç duyulan üretimi gerçekleştirmek için genellikle genişletilir.

Marjinal olarak ülkelerdeki madencilik, yönetimlerle kalıcı hale geldiği zaman özel şirketler madencilğe daha hızlı yönelebileceklerdir. Üretim yöntemi, yüksek tenörlü ve düşük tenörlü malzemelerin kazanımı için tasarlanabilir. Endüstriyel mineraller gibi bazı ürünler, büyük üretim oranı gerektirmez. Bu yüzden, sabit üretim oranı mümkün olduğu halde, eğer bu oran hiçbir zaman uygulanmazsa, sermaye yatırımı yapmanın anlamı yoktur [6].

2.1.5. İşe Yararlık ve Emek Maliyeti

İş eğitiminin yeterliliği veya eksikliği, üretim yöntemi seçiminde etkili olabilir. Maden işçileri, yöntemin gerektirdiği görevleri yapacak yetenekte olmalıdırlar veya uygun eğitim programları planlanmalıdır. Bazı çalışmalarda, cevher yatağının yeri, iş

kaynaklarında önemli etkiye sahip olacaktır ve böylece üretim yönteminin çeşidi göz önüne alınabilecektir.

Verilen bu koşullarda, robotik ve bilgisayarlı ekipmanlar kullanılabilir. Böylece iş-vardiya başına yüksek üretim oranı sağlanabilir ve maliyetler azaltılabilir. Bu nedenle; iş maliyetinin düşük olduğu ve eğitimin sınırlandırıldığı ülkelerde, büyük iş ekipleri gerektiren yöntemler uygulanabilir ve muhtemelen de tercih edilir [6,10].

2.1.6. Çevresel Düzenlemeler

Çevresel düzenlemeler ve gereksinimler, seçilebilen üretim yöntemlerinin çeşidini sınırlayabilir. Çökme (tasman), yer altı suyu kirliliği, artık kontrolü ve ıslah çalışmalarını, yöntem seçimi sırasında hesaba katmak zorunda kalınabilir. Açık işletme yöntemlerinin genel olarak yer altı üretim yöntemlerinden daha az maliyetinin olmasına rağmen; gelecekte, madencilik endüstrisi çevreye daha az zararlı etkiye sahip oluşundan dolayı, daha çok yer altı üretim yöntemlerini seçmek zorunda kalabilir. Yüzeyde oluşan çökme sınırları, madencilik yapılarının dışında kalan yerleşim yerlerinin altındaki ve kır alanlarındaki yararlanmayı etkiler. Teknolojik gelişmeler, bu problemlerin azalmasına ve cevherin maksimum kazanımının sağlanmasına yardım edebilir.

Üretim yöntemi seçimindeki diğer parametreler genellikle sahaya özgül faktörlerdir. Bu faktörler; yer sıcaklığı, meskun alanların yakınlığı veya büyük su birikintileri ve deprem tehlikesin olarak dikkate alınabilir [6].

2.2. Üretim Yöntemi Seçim Teknikleri

Uygulanabilir üretim yöntemlerini saptamak için; teknik olarak uygulanabilirliği göz önünde bulundurulabilen ve ekonomik olarak belirlenebilen en uygun üretim yönteminin gerektirdiği, maden yatağına ait karakteristiklerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Burada tartışılan seçim teknikleri, üretim yöntemlerini saptayan başlıca iki ana parametre ile ilgilidir: Bunlar; 1) Cevher yatağının fiziksel ve jeolojik karakteristikleri, 2) Tabantaşı, tavantaşı ve cevher zonunun koşullarıdır. Üretim yöntemlerini değerlendiren bu teknikler; sadece geçmiş yıllarda araştırmacılar tarafından yapılan tartışmalar, önceki çalışmalar ve tecrübelerden elde edilen tanımlamalar ve ölçümlerin yazılı olarak belirli bir formata dönüştürülen çalışmalardır.

Bu nedenle; burada bahsedilen her üretim yöntemi seçim teknikleri, benzerdir ve çok az farklılıklar vardır. Bu teknikleri tartışmanın amacı, bunların kritiğini yapmak değil, basit bir şekilde uygun seçimlerin çoğunu destekleyen alternatifleri sunmaktır. Bu tekniklerin çoğu, uygulanabilir yöntemlerin çok olduğu yerlerde en uygun yeraltı üretim yöntemlerinin saptanması için tasarlanmıştır.

Eğer maden rezervi açık işletme yöntemleri kullanılarak üretilmiyorsa, bu aşamadan sonra yeraltı üretim yöntemleri göz önünde bulundurulabilir. Üretim yöntemi seçim teknikleri; sadece bilinen fiziksel parametreler ve kaya dayanım karakteristiklerinin temelinde dayandırılan seçimlerle sınırlandırılmıştır. Bazen, üretim yöntemlerinin birkaçı, uygulamada eşit olarak ortaya çıkabilir. Bu durumda en uygun olan yeraltı üretim yöntemini saptamak için, işletme maliyetleri, üretim oranı, işe yararlılık ve çevresel etkiler gibi parametreler daha detaylı olarak göz önünde bulundurulabilir [5].

2.2.1. Boshkov ve Wright Yaklaşımı

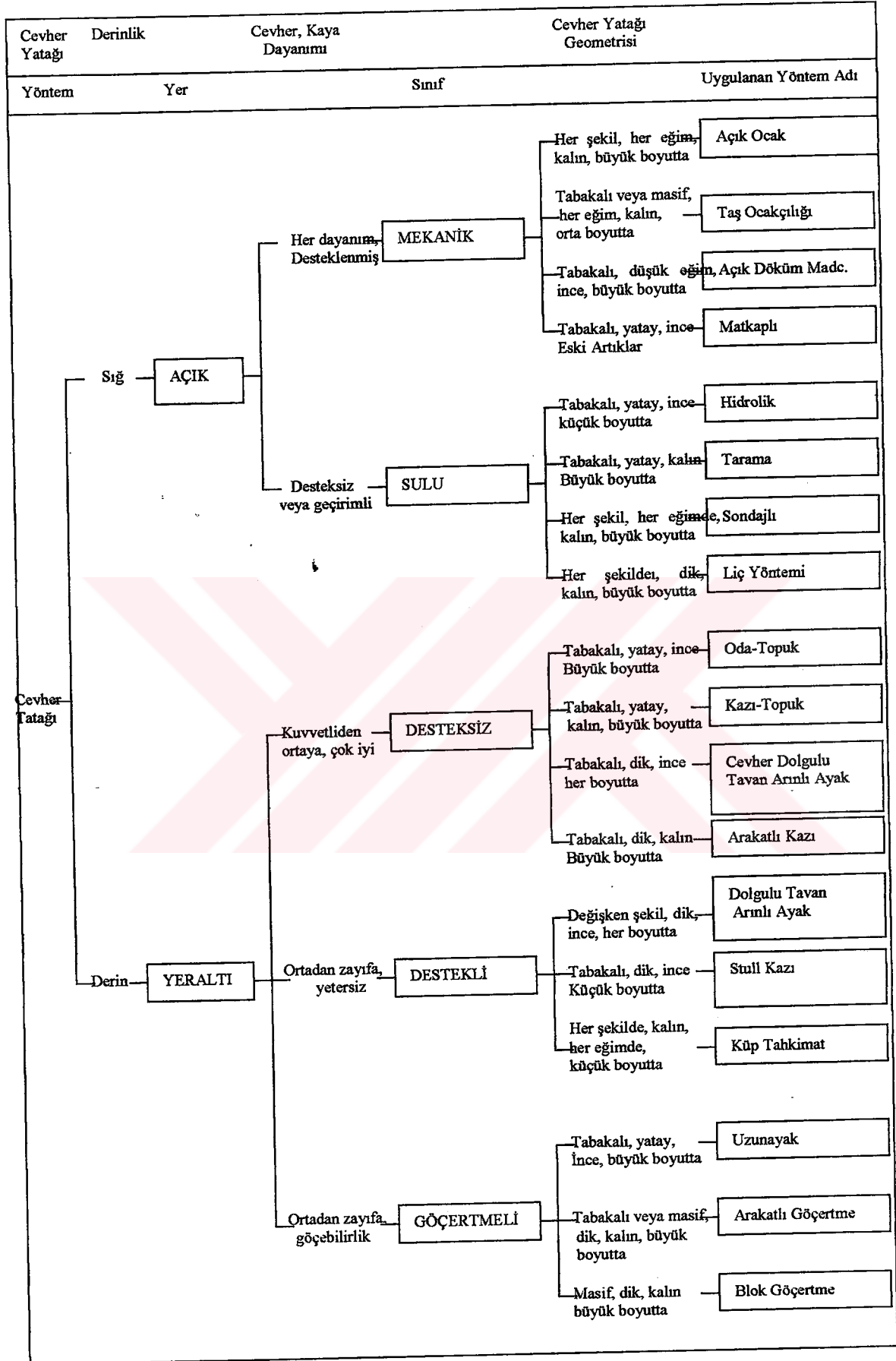
Boshkov ve Wright (1973) tarafından ileri sürülen bu seçim sistemi, yeraltı üretim yöntemi seçimi için geliştirilen ilk tekniklerinden birisidir (Tablo 2.7). Bu sistem açık ve yeraltı üretim yöntemlerinin her zaman en aza indirilmesinin mümkün olacağını farz eder. Bu teknik; benzer koşullar altında uygulanabilen yaygın üretim yöntemlerini tanımak için cevher kalınlığı, derinliği, cevher ve yantaşın dayanımının genel tanımlamalarını kullanır. Bu seçimin sonuçları uygulanabilen 4 üretim yöntemini verir [5].

2.2.2. Hartman Yaklaşımı

Hartman (1987), cevher zonunun yer koşulları ve cevher yatağının geometrisine dayanan üretim yöntemlerinin tanımlaması için bir seçim prosesi akış grafiği geliştirmiştir (Şekil 2.1) Bu sistem; Boshkov ve Wright tarafından önerilen sisteme benzerdir, fakat daha özel üretim yöntemlerinin saptanmasında kullanımı amaçlanmıştır. Hartman, nitel olan ve ilk yaklaşım olarak kullanılabilen bir yöntem izin verir. Bu sistem, açık ve yeraltı yöntemlerini, kömür ve sert kayadaki yöntemleri ele alır ve seçim yapar [5].

Tablo 2.7. Yeraltı Üretim Yönteminin Uygulamaları [5]

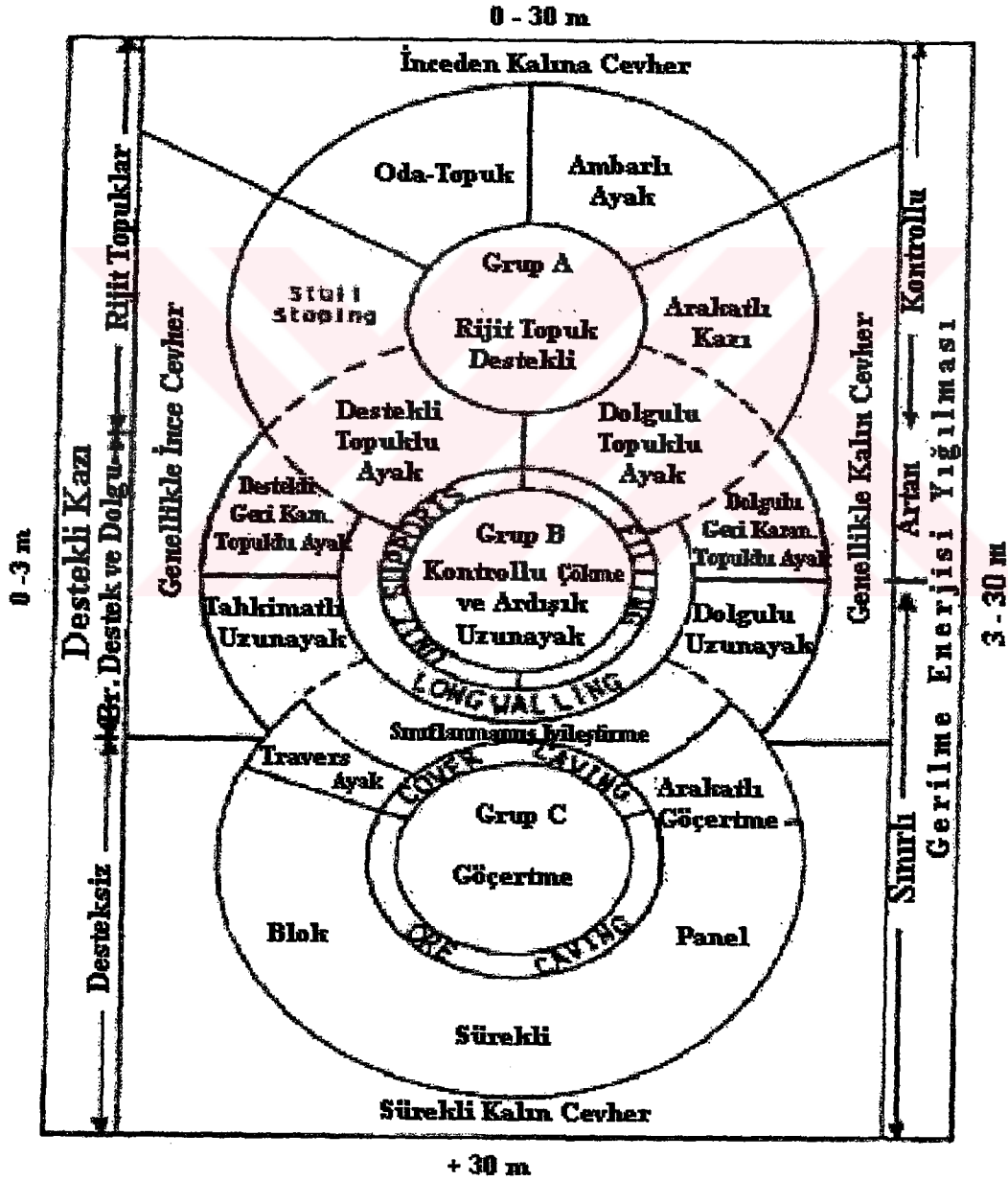
Cevher Yatak Tipi	Dalım	Cevher Dayanımı	Yantaş Dayanımı	Uygulanan Üretim Yöntemleri
İnce Yataklar	yatay	kuvvetli zayıf veya kuvvetli	kuvvetli zayıf	Oda-Topuk Uzunayak Uzunayak
Kalın Yataklar	yatay	kuvvetli zayıf veya kuvvetli zayıf veya kuvvetli	kuvvetli zayıf kuvvetli	Oda-Topuk Travers Ayak Arakathı Göçertme Yer altı Huni Şekilli Ayaklar
Çok Kalın Yat.				
Çok dar damar	dik	kuvvetli veya zayıf	kuvvetli veya zayıf	
Dar damarlar	yatay dik	kuvvetli zayıf	kuvvetli zayıf kuvvetli zayıf	Cevher Dolgulu Tavan Arınlı Ayak Dolgulu Tavan Arınlı Ayak Dolgulu Tavan Arınlı Ayak Küp Tahkimat Taban Arınlı Ayak Küp Tahkimat Travers Ayak Küp Tahkimat
Geniş Damarlar	yatay dik	kuvvetli zayıf	kuvvetli zayıf kuvvetli zayıf	Cevher Dolgulu Tavan Arınlı Ayak Arakathı Kazı Dolgulu Tavan Arınlı Ayak Karışık Yöntemler Dolgulu Tavan Arınlı Ayak Travers Ayak Arakathı Göçertme Küp Tahkimat Karışık Yöntemler Taban Arınlı Ayak Travers Ayak Arakathı Göçertme Blok Göçertme Küp Tahkimat Karışık Yöntemler Travers Ayak Arakathı Göçertme Küp Tahkimat Karışık Yöntemler
Kütleler Halinde Cevher		kuvvetli zayıf	kuvvetli zayıf veya kuvvetli	Yeraltı Huni Şekilli Ayaklar Cevher Dolgulu Tavan Arınlı Ayak Arakathı Kazı Dolgulu Tavan Arınlı Ayak Karışık Yöntemler Travers Ayak Arakathı Göçertme Blok Göçertme Küp Tahkimat Karışık Yöntemler



Şekil 2.1. Hartman'ın Üretim Yöntemi Seçim Şeması [5]

2.2.3. Morrison Yaklaşımı

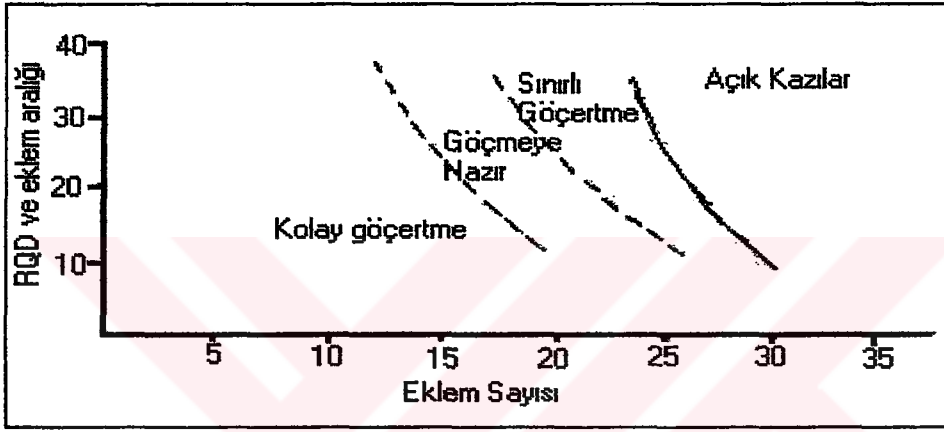
Morrison (1976) tarafından önerilen bu teknik, yeraltı üretim yöntemlerini üç gruba ayırır: 1) Rijit topuk tahkimatlı yöntemler, 2) Çökmeyi kontrol eden yöntemler ve 3) Göçertmeli yöntemler (Şekil 2.2). Cevher genişliği, tahkimat tipi ve gerilme enerjisi yığılmasının genel tanımları, üretim yöntemi tespiti için kriter olarak kullanılırlar. Bu sınıflama yer koşullarının değişik kombinasyonlarına dayanan diğer yöntemler içerisinde birinin seçimini göstermeye yardım eder. Bu teknikte; yer koşulları, gereken tahkimat tipini saptamada önceden değerlendirilmektedir [5].



Şekil 2.2. Üretim Yöntemi Seçimi İçin Morrison'un Seçim Grafiği [5]

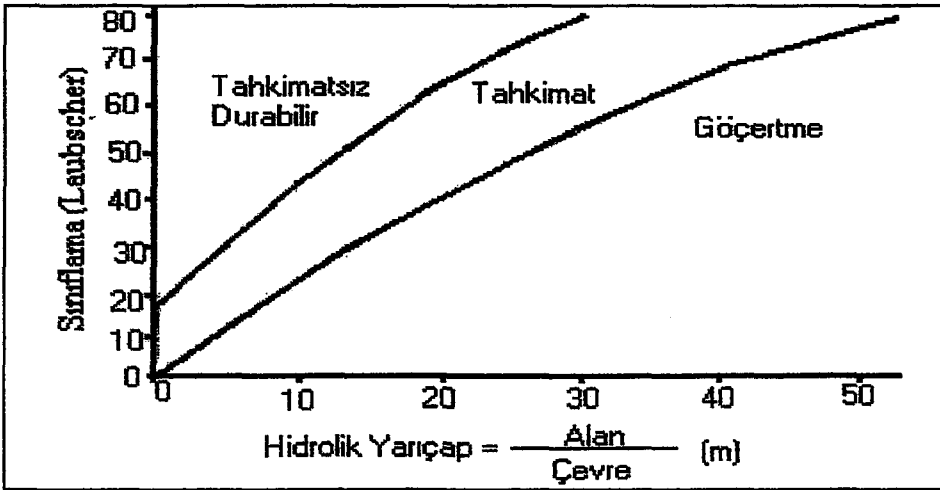
2.2.4. Laubscher Yaklaşımı

Laubscher (1981) tarafından önerilen bu seçim tasarımı; kaya kütle dayanımına etkiyen beklenen madencilik faaliyetleri için kendisi tarafından geliştirilen, kaya kütle sınıflama sistemine dayandırılmaktadır. Laubscher'in tasarımı, kütle halinde üretim yöntemleri için, esasen de blok göçertme yöntemleri için yapılmıştır. Laubscher'in temel olarak üzerinde durduğu göçebilirliktir. Bir açık kazı sisteminden önce kullanılan bir göçertme sisteminin olup olmadığını saptayan ve eklem karakterlerini (dolgu, su koşulları vs.) açıklayan parametreler, kırılma frekansı, RQD, eklem aralığı ve eklem sayısıdır (Şekil 2.3). Bu tasarım, sadece kontrol amacıyla göçebilirliğin saptanması için eklem olma durumunda önerilmiştir [5].



Şekil 2.3. Laubscher'in Seçim Tasarımı [5]

Laubscher (1990), kaya kütle oranıyla ilişkili olan bu sınıflandırmayı hidrolik yarıçapı dikkate alarak (Şekil 2.4) yakın zamanda geliştirmiştir. Hidrolik yarıçapın göz önüne alınmasıyla, göçebilirlik, yeraltı kazıları için mevcut saha büyükse çoğu hakim kaya için uygun olmuştur.



Şekil 2.4. Laubscher'in Hidrolik Yarıçapı Dikkate Alarak Yaptığı Sınıflandırma [5]

2.2.5. Nicholas Yaklaşımı

Nicholas (1981) tarafından geliştirilen bu sistem; nümerik sıra ve böylece tamamen nicel olan uygulanabilir üretim yöntemlerini tespit eder. İlk adım, cevher geometrisini ve tenör dağılımını sınıflamaktır. Cevher zonu, tavan taşı ve taban taşının kaya mekaniği karakteristikleri, benzer bir şekilde sınıflandırılır (Tablo 2.8).

Tablo 2.8. Üretim Yönteminin Seçimini Etkileyen Faktörlerin Tanımı [5]

FAKTÖRLER	TANIMLAMA	
Genel Geometrik Şekil Eşit-boyutlu (masif)	<ul style="list-style-type: none"> Bütün boyutları yaklaşık olarak aynı olan yatak geometrisi 	
Levha-tabular	<ul style="list-style-type: none"> Yatak kalınlığının diğer iki boyuta kıyasla çok küçük olması 	
Düzensiz	<ul style="list-style-type: none"> Kalınlık genellikle 100 m'yi aşmaz. Bütün boyutlar çok kısa mesafeler içinde değişir. 	
Kalınlık		
Dar	< 10 m	
Orta	10-30 m	
Kalın	30-100 m	
Çok kalın	> 100 m	
Eğim		
Yatay	< 20°	
Orta	20°-55°	
Dik	> 55°	
Tenör Dağılımı		
Uniform	<ul style="list-style-type: none"> Tenör, yatak içinde belirgin şekilde değişmemektedir. Değişim katsayısı $V \leq \%40$ 	
Tedrici	<ul style="list-style-type: none"> Tenör değerleri zonal karakteristikleri olup, bir zondan diğer bir zona tedrici şekilde değişim gösterir. $\%40 < V < \%100$ 	
Erratik	<ul style="list-style-type: none"> Çok kısa mesafeler içinde tenör değişimi çok belirgin ve bu değişimler belirli bir düzen göstermezler. $V > \%100 - 150$ 	
Kaya Dayanımı		
Zayıf	< 8	
Orta	8-15	
Sağlam	>15	
Çatlak Aralığı	Çatlak Sayısı	% RQD
Çok sık	> 16	0-20
Sık	10-16	20-40
Geniş	3-10	40-70
Çok geniş	< 1	70-100

Bütün bu faktörler uygulanabilecek üretim yöntemlerine göre çeşitli puanlar ile sayısal şekilde değerlendirilir. Bu planlamada üretim yönteminin “uygulanabilirlik ölçüsü”, temel ilke olarak ele alınmıştır. Bu ölçüte göre verilecek puanlama değerleri Tablo 2.9’da verilmiştir [5,12].

Tablo 2.11 (Devamı)

Cevher			
Açık işletme Blok göçertme Arakatlı kazı Arakatlı göçertme Uzunayak Oda-topuk Ambarlı kazı Dolgulu Tavan Arınlı Dilimli Göçerme Küp tahkimatlı			
Taban Taşı			
Açık işletme Blok göçertme Arakatlı kazı Arakatlı göçertme Uzunayak Oda-topuk Ambarlı kazı Dolgulu Tavan Arınlı Dilimli Göçerme Küp tahkimatlı			
	Z : zayıf O : orta S : sağlam	ÇY : çok sık S : sık Z : zayıf (seyrek) ÇZ : çok zayıf	Z : zayıf O : orta S : sağlam

Nicholas tarafında geliştirilen ve aşamaları yukarıda özetlenen seçim yönteminin sonucunda, seçim verilerinin geometri/tenör, kaya mekaniği özellikleri (cevher, tavan ve tabanın direnç, çatlak aralığı ve çatlak kayma direnci) açılarından aldıkları puanlar toplandığında en yüksek puanı alan üretim yöntemi, uygulanabilirliği en yüksek yöntem olarak seçilir.

2.3. Yeraltı Üretim Yöntemi Seçimi İçin Bulanık Küme Teorisi Yaklaşımı

2.3.1. Karar Verme

Kişiler ve örgütler değişik konularda karşılaştıkları problemleri çözümlenmek veya belirli amaçları gerçekleştirmek için sürekli olarak karar alma durumundadırlar. Doğru kararların alınabilmesi için de; karar ortamı ile karar veren kişinin önemi

ortadadır. Burada karar veren kişinin çıkarım yapma (akıl yürütme) kabiliyeti doğru kararların alınmasında doğrudan rol oynamaktadır [2,14]. Karar verme konusuna Bölüm 2.3.3. ve alt bölümlerinde detaylı olarak değinilmiştir.

2.3.1.1. Karar Ortamı

Karar veren kişinin ne hakkında karar vereceğini bilmesi çoğu zaman doğru karar için yeterli değildir. Karar vereceği ortamda kendisine doğru karar vermede yardımcı olacak ne gibi verilerin olduğunu bilmesi de gereklidir. Karar ortamını oluşturan ve belirleyen verilere göre karar ortamları genel olarak;

- Belirli ortam,
- Riskli ortam
- Belirsiz ortam

olmak üzere üçe ayrılmaktadırlar. Belirlilik ortamında belli bir durumun gerçekleşme olasılığı 1.00'dir. Yani, belli bir stratejinin seçimi sonunda ortaya çıkacak sonuç kesinlikle bellidir.

Risk ortamında karar vermede, karar veren/verenler sorunun çözümünü sağlayacak seçeneklerin belli bir olasılık (risk) değerine bağlı olarak meydana geleceğini kabul etmektedirler. Yani karar verici çeşitli durumların gerçekleşmesi konusunda kesin bilgiden yoksunsa, ancak bu durumların gerçekleşme olasılıklarını saptayabilir. Saptanan bu olasılıklar kesinse risk ortamında bulunuluyor demektir. Buradan da anlaşılacağı gibi, bir durumun gerçekleşmesi belirlilik ortamında kesin olarak bilinirken, risk ortamında olasılıklar biçiminde bilinmektedir. Dolayısıyla, risk ortamı genelleştirilmiş bir belirlilik ortamıdır. Karşıt olarak; belirlilik ortamı da; risk ortamının özel bir biçimidir.

Belirsizlik ortamı genelde, gerçekleşecek durumların olasılıklarının kesin olarak bilinmediği durumlarda ortaya çıkar. Diğer bir deyişle, ortamların ve seçeneklerin nasıl bir sonuç vereceği karar verecek kişi tarafından bilinmezse, burada meydana gelecek sonuçlara herhangi bir olasılık değeri verilmez [2,14,15].

2.3.1.2. Karar Verme Araçları

Belirlilik ortamı deterministiktir. Böyle bir ortamda genelde karşımıza çıkan seçenekler minimum yada maksimum olarak karar verici tarafından tercih edilir ve

doğrusal programlama, Critical Path Method (C.P.M.), vb. optimizasyon tekniklerinin yanısıra, diferansiyel hesap, türev, integral, fonksiyonlar teorisi gibi temel analiz yöntemleri kullanılarak problemin çözümüne gidilir.

Risk ortamında, olaylar belli olasılık değerlerine göre meydana geldiğinden öncelikle olasılık teorisinin kullanılması gereklidir. Burada *beklenen değer* kavramı esas alınmaktadır. Yani, beklenen karı en yüksek yapan seçenek ve beklenen zararı en az yapan seçenek en uygun sonucu sağlayan seçenek olarak adlandırılır. Burada da, bilinen optimizasyon teknikleri olasılık teorisi ile birlikte kullanılmaktadır (olasılıklı (probabilistik) programlama , PERT, simülasyon, vb. gibi).

Belirsizlik ise, karar vermede yeterli bilgi olmayışı olarak düşünüldüğünde, en iyi kararları almamıza engel olabileceği gibi, en kötü kararı almamıza da yol açabileceği ortaya çıkmaktadır. Örneğin, tıpta belirsizlik yanlış tedaviye yol açarken, işletmelerde ise finansal kayıplara ve zarara yol açabilir.

Belirsizlik ortamında karar verme ile ilgili olarak ortaya atılan çeşitli kuramlar mevcuttur. Bunlardan bazıları; Klasik Olasılık Teoremi, Bayes Kuramı, Klasik Kümeler Kuramına dayalı Hartley Kuramı, Dempster-Shafer Kuramı ve Zadeh'in Lukasiewicz Mantığını temel alan *Bulanık Kümeler Kuramı*'dır [2,14].

Görüldüğü gibi, Bulanık Kümeler Kuramı, belirsiz ortamlarda optimum kararlar almaya yarayan, belli bir mantığa dayalı bir kuram'dır. Yukarıda sayılan tüm kuramlar gibi Bulanık Kümeler Kuramı da çıkarım (uslamlama) yapmaya yöneliktir. Belirsizlik altında çıkarım, ya varsayıma dayalı (hypothetical reasoning) olmakta, ya da tam olmayan çıkarım (inexact reasoning) –yaklaşık çıkarım- olmaktadır. İşte bu yaklaşık çıkarım Bulanık Kümeler Kuramının temelini oluşturmaktadır [2].

2.3.2. Bulanık Kümeler Kuramı

L.A. Zadeh'in "From Circuit Theory to System Theory" başlıklı 1962 yılındaki yazısı, bilim dünyasında yeni bir dönüm noktası ve "Fuzzy Sets" başlıklı 1965 yılındaki yazısı da "Bulanık Kümeler" kuramında bir başlangıç olmuştur. Günümüze kadar da bu konuda oldukça fazla ilerlemeler kaydedilerek; bulanık (fuzzy) mantığı, endüstriyel kontrol, askeriye, ekonomi, mühendislik, tıp, model tanıma ve sınıflandırma gibi pek çok konuda çok geniş problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Mevcut referanslar arasında; Maiers ve Sherif (1985) [bulanık küme teorisi uygulamaları], Klir

ve Folger (1988) [bulanık kümeler, belirsizlikler, bilgi], Zimmermann (1991) [bulanık küme teorisi uygulamaları], Dubois, Prade and Sessa (1992) [bulanık kümeler ve sistemler], Yüksel, Manisalı ve Esnaf (1994) [petrol ve maden arama çalışmaları], Kömür ve Demir (1996) [bulanık mantık ve yapı mühendisliği], Başçetin ve Kesimal (1998) [bulanık mantık ile selektif madencilik], Cao and Chen (1983) [bulanık mantık ile meteorolojik tahminler], Vila and Delgado (1983)^[54] [medikal hastalıklar], Clarke, Denby and Schofield (1990) [açık ocak ekipman seçiminde karar verme araçları], Haidar and Naom (1996)[genetik algoritma ile serimli madencilikte ekipman seçimi], Schofield and Denby (1990) [zeki bilgisayar teknikleri ile açık ocak sistem dizaynı], Nguyen (1985) [jeomekanikte bulanık küme uygulamaları], Nguyen vd. (1985) [bulanık kümeler ile kaya kütlesi sınıflaması], Bandopadhyay (1987) [birincil kazı ekipmanlarının sıralanması], Bandopadhyay (1987) [madencilikte karar vermede bulanık algoritma], Herzog vd. (1996) [analitik hiyerarji prosesi yoluyla optimum faydalanma metodlarının sıralanması], Bandopadhyay vd. (1986), [bulanık algoritma ile arazinin madencilik sonrası kullanımının seçimi], Gershon vd. (1993) [madencilik metodu seçimi] gibi yukarıda saydığımız ve benzeri alanlarla ilgili birçok uygulamayı görebiliriz [2,16,17].

Özde, bulanık kümeler kuramının amacı belirsizlik ifade eden, tanımlaması güç veya anlamı zor kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik getirmektedir. Belirlilik getirme yaklaşımı iki değerli kümeler kuramının, çok değerli kümeler kuramına dönüşümünden doğar. Genelde ve özel olarak geçmişte, belirsizlik ifade eden terimler ve kavramlar gelişigüzel bir ayırma tabi tutulmuşlar ve iki değerli kümeler kuramı ile tanımlanmışlardır. Bunun yanısıra son otuz yılda gelişen, bulanık kümeler kuramı yaklaşımı ise belirsizlik ifade eden terimler ve kavramların, gelişigüzel bir ayırımına tabi tutulmaksızın belirsizliğe belirlilik dereceleri atayarak, çok değerli kümeler kuramı ve kapsamı içinde tanımlanmalarına yol açar. Bu daha geniş ifade tarzı ve tanımlama yaklaşımı “Bulanık Kümeler” ve “Olabilirlik” kuramları kapsamında, yukarıda özetlediğimiz temel ve uygulamalı birçok kuramları, bilimleri ve sistemleri etkilemeye başlamıştır [2,18].

2.3.2.1 Bulanık Kümeler Kuramının Matematik Temelleri

Bulanık küme matematiksel olarak, söylem evrenindeki (universe of discourse) herhangi bir varlığa bulanık küme içindeki üyelik derecesini gösteren bir değer atanması şeklinde tanımlanabilir. Söz konusu üyelik derecesi, bu varlığın bulanık küme tarafından tanımlanan özelliklere uyum derecesini göstermektedir. Bu durumda, bulanık kümenin elemanları ve bu elemanların haricinde kalanlar arasında kesin bir ayırım söz konusu değildir. Böylece, Bulanık Küme, *aralarında belirsiz (kesin olarak tanımlanamamış) sınırlar olan kavramlar/nesnelere grubu* şeklinde de tanımlanabilir. Yani Bulanık Kümeler Kuramı, bu belirsiz sınırlar sebebiyle ortaya çıkan bulanıklık ile ilgilenir. Örneğin, yaşlı insan, yüksek sıcaklık, küçük sayı gibi [2,14,15].

2.3.2.1.1. Olasılık-Olabilirlik Farkı

Bulanık kümeler kuramının temelinde *olabilirlik* yatmaktadır. Olabilirlik, risk ortamında karar vermede kullanılan olasılıktan daha farklıdır. Arada yapısal bir farklılık söz konusudur. Bu yapısal farklılık, her iki kavramın açıklamaya çalıştığı belirsizliğin başka başka olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, yarın yağmur yağacak ifadesinde olasılıklı bir durum söz konusu iken, yaşlı insan ifadesinde ise, yaşlı ifadesinden kaynaklanan bir bulanıklık söz konusudur. Ama her iki durumda da bir belirsizlik vardır. Olasılığın doğruluk değeri zamana bağlıdır.

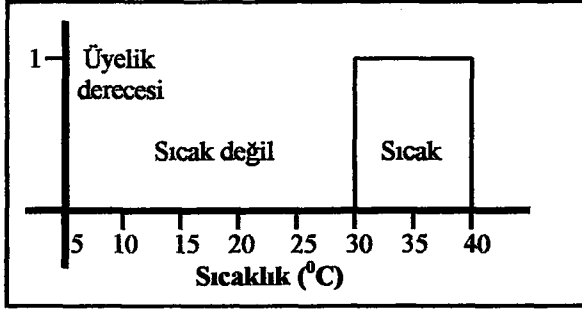
Ayrıca, gerçekleşmesi beklenen durum bu zaman sonunda test edilir ve ifadenin doğruluk değeri kesinleşir. Örneğin, yukarıdaki yarın yağmur yağacak ifadesinin doğru olup olmadığını anlamamız için yarının olması beklenecek, yani belli bir zaman geçecek ve bu geçen zamanın sonunda yağmurun yağıp yağmadığına bakılacak, başka bir deyişle, geçen zaman sonunda varılan durumun ne olacağı araştırılacaktır.

Oysa, yaşlı insan ifadesinde zamana bağlılık ve zaman sonunda varılan durumun test edilmesi bu ifadenin doğruluk değerini etkilemeyecektir. Ayrıca, olasılık dağılımı belli sayıda tekrarlanan gözlem sonuçlarından elde edilirken, olabirlikte böyle bir durum söz konusu değildir. Olabirlikte insanların (genelde uzmanların) değerlendirmesine başvurulmaktadır. Olasılıkta ise böyle bir şey olmamaktadır [2,14,18].

2.3.2.1.2. Geleneksel Küme ve Bulanık Küme

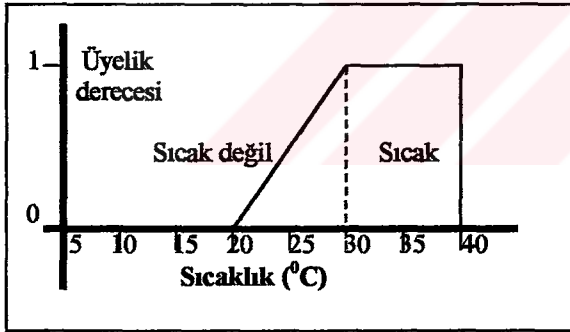
Geleneksel küme, ikilik özelliğine sahip kümedir. Yani, herhangi bir eleman ya bu kümeye aittir, ya da değildir. Başka bir deyişle, herhangi bir eleman ya bu kümenin üyesidir ya da değildir. Bu kümeye üye olmakla olmamak arasındaki bağlantı belirsiz değildir [2].

Klasik küme teorisinde bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Kısmi üyelik olamaz. Şekil 2.5'de bu durum görülmektedir. Eğer sıcaklık 30 derecenin altına düşerse sıcak değildir. Yani klasik mantık teorisine göre 29.5^0 sıcak değildir. Doğal olarak bu mantığın hiçbir esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise sınırlar bu kadar keskin değildir.



Şekil 2.5. Klasik Küme Teorisi [14]

Tam tersine, olayların belli bir esneklikte olması istenir. Bulanık Kümede ise, herhangi bir eleman bu kümenin tam bir elemanı olabileceği gibi, olamayabilir de... Ancak, burada üye olmakla olmamak arasında tam, net bir bağlantı yoktur. Bulanık mantık soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, yüksek-alçak gibi ikili değişkenlerden oluşan keskin dünyayı, az soğuk-az sıcak, az yüksek-az alçak gibi esnek niteliyicilerle yumuşatarak gerçek dünyaya benzetir. Şekil 2.6'da, sıcaklık gibi değişkenleri, gerçekte gözlenen değerine daha yakın veren bulanık küme teorisini göstermektedir. Buna göre 20° ile 40° arasındaki değerlerin, sıcak bulanık küme üyelik derecesi ortaya çıkmış olur. Burada sıcak bulanık küme üyelik derecesinde, 30° 1'e karşı düşen maksimumdan, 20° 0'a karşı düşen minimuma doğru kademelendirilmiş bir azalma vardır.

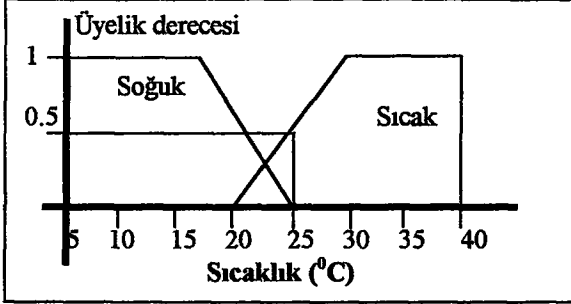


Şekil 2.6. Bulanık Küme Teorisi [14]

Şekil 2'ye göre sıcaklık azaldığında daha az sıcak durum ortaya çıkacaktır, yani 25° lik sıcaklık az sıcak olarak nitelenirken 30° lik sıcaklık çok sıcak olarak nitelenecek ve 20° lik sıcaklık sıcak olarak sayılmayacak; dolayısıyla 20° lik sıcaklık, sıcak bulanık kümenin elemanı olmayacaktır.

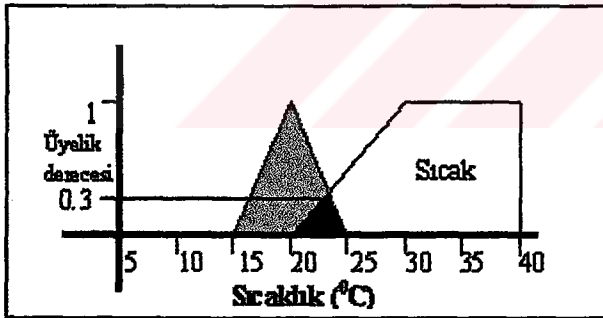
Şekil 2.7'de ise bulanık mantık teorisinin bir adım daha ileri safhası gösterilmektedir. Şekil 2.7'den de anlaşılacağı gibi, sıcak bulanık küme üyelik derecesi, 0.5'de soğuk bulanık küme üyeliği kimliğini kazanır. Soğuk bulanık küme üyeliğinin

derecesi, sıcaklık azaldığında artar. Buna göre 0'dan 15° ye kadar olan sıcaklık oldukça soğuk sayılır ve bu bölge soğuk bulanık küme tam üyeliğine sahiptir. 15° ile 25° arasında ise soğuk bulanık küme dereceli üyeliği vardır. 20° ile 25° arasında ise bulanık kümelerin birbirlerini kestiği durum olan örtüşüm ortaya çıkmıştır. Bu bölge hem sıcak hem soğuk olarak ele alınabilir (örtüşüm bölgesindeki elemanlar hem sıcak hem de soğuk kümenin elemanıdır).



Şekil 2.7. Bulanık Kümede Örtüşüm [14]

Bu örnekler bulanık olmayan girişler için geçerli olmasına rağmen, bulanık mantık teorisinde bazen girişlerde bulanık olabilir. Bu durumda bulanık küme üyelik derecesi, bulanık küme ve bulanık giriş değeri arasındaki kesişim bölgesinden belirlenir. Bu durum Şekil 2.8'de gösterilmiştir ve üyelik derecesi yaklaşık 0.3'tür .



Şekil 2.8. Bulanık Giriş Değişkeninin Üyelik Derecesi [14]

2.3.2.2. Bulanık Kümelerde İşlemler

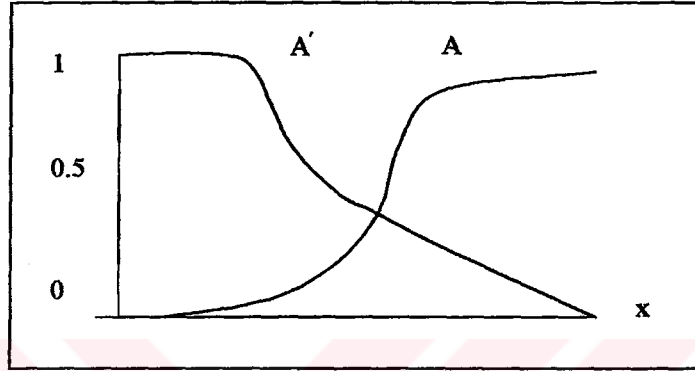
Bulanık kümelerde söz konusu olan işlemler klasik kümelerdekine benzer olup, bu işlemler aşağıda özetlenmiştir [2].

Kümelerin Eşitliği

$\mu_A(x) = \mu_B(x)$ tüm $x \in X$ 'ler için ise $A=B$ 'dir.

Tümleyen Kümeler

$\mu'_A(x) = 1 - \mu_A(x)$ tüm $x \in X$ 'ler için olup, bu durumun grafiksel gösterimi Şekil 2.9'daki gibidir.



Şekil 2.9. Kümelerin Eşitliği Ve Tümleyen Kümelerin Grafiksel Gösterimi [2]

Kümelerin Kapsamları

$\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ tüm $x \in X$ 'ler için olacak biçimde B kümesi A bulanık alt kümesini içine alıyorsa, bu durum $A \subseteq B$ şeklinde gösterilir.

Kümelerin Birleşimi

$\mu_{A \cup B}(x) = V(\mu_A(x), \mu_B(x))$ tüm $x \in X$ 'ler için $A \cup B$ birleşimi gösterebilir. Buradaki V işareti maksimum anlamına gelmekte olup, eğer,

$(\mu_A(x) \geq \mu_B(x))$ ise $\max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x)$ ve eğer,
 $\mu_A(x) < \mu_B(x)$ ise $\max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_B(x)$ dir.

Ayrıca, "max" ın yerine V işlemcisini koyarak basitçe;

$$\mu_{A \cup B} = \mu_A \vee \mu_B$$

yazabiliriz ki, buradaki V işlemcisi veya anlamına da gelmektedir.

Kümelerin Kesişimi

$\mu_{A \cap B}(x) = \wedge(\mu_A(x), \mu_B(x))$ tüm $x \in X$ 'ler için $A \cap B$ kesişimi gösterebilir. Buradaki \wedge işlemcisi de *minimum* anlamına gelmektedir. \wedge yerine minimum yazıldığında,

$\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ olup, eğer,

$\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ ise $\min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x)$ ve eğer,
 $\mu_B(x) < \mu_A(x)$ ise $\min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_B(x)$ olacaktır.

A' kümesi A 'nın ve B' kümesi de B 'nin tamamlayıcısı ise;

$A \cup B = (A' \cap B')$ yazılabilir.

Kümelerin Cebirsel Kesişimi

$\mu_{A \cdot B}(x) = \mu_A \cdot \mu_B$ tüm $x \in X$ 'ler için olup, $A \cdot B$ olarak da yazılabilir.

Kümelerin Kuvveti (Üssü)

$A^N = (\mu_A(x))^N$ şeklinde gösterilir.

Olasılıklı Toplam

$$A + B = \mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$$

$$1 - (1 - \mu_A(x)) \cdot (1 - \mu_B(x))$$

olarak gösterilir. Buradaki “+” ve “-” işaretleri sırası ile klasik aritmetik toplama ve çıkartma işlemlerini göstermektedirler.

Sınırlandırılmış Toplam (Açık Birleşim)

$$A \oplus B = \mu_{A \oplus B}(x) = \wedge(1, (\mu_A(x) + \mu_B(x)))$$

olarak yazılır. Burada da \wedge işareti minimumu, + ise aritmetik toplamayı göstermektedir.

Sınırlandırılmış Çarpım (Açık Kesişim)

$$A \otimes B = \mu_{A \otimes B}(x) = \vee(0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$$

olarak yazılır. \vee işareti maksimumu, $+$ ise aritmetik toplamayı göstermektedir. Sınırlandırılmış toplama ve sınırlandırılmış çarpma işlemleri denkgüçlülük, dağıtıcılık ve soğurma kurallarına uymazken, yerdeğiştiricilik, ortaklaştırıcılık ve De Morgan kuralları ile $A \oplus U = U$, $A \otimes \phi = \phi$ kurallarına uymaktadırlar.

Sınırlandırılmış Farklar

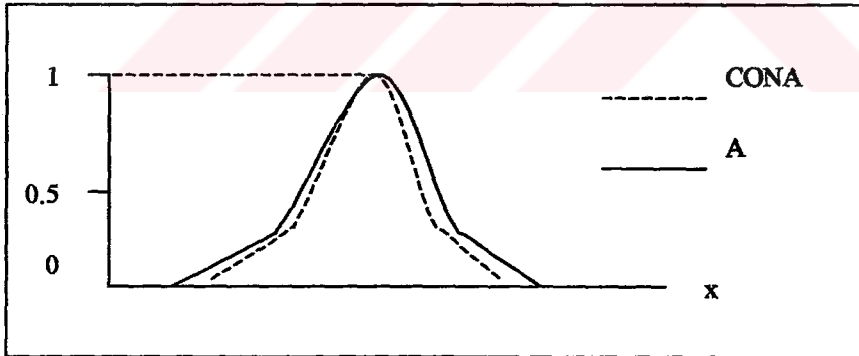
$A \mid - \mid B = \mu_{A \mid - \mid B}(x) = \vee(0, (\mu_A(x) - \mu_B(x)))$ olup, “-“ işareti çıkartma işlemini göstermektedir.

Kapanma

$\mu_{\text{CON}(A)}(x) = (\mu_A(x))^2$ olup, $\text{CON}(A)$ ile gösterilir. Bu işlemle küçük üyelik derecelerine sahip elemanların üyelik dereceleri daha da düşülerek bulanık küme elemanlarının yoğunlaşması sağlanır. Bu işlem, dilsel açıdan çok nitelemesinin karşılığı olup,

çok $F = F^2$

şeklinde de gösterilir. Şekil 2.10’da görüldüğü gibi, kapanma işleminden sonra, 1.00 üyelik derecesinin dışındaki tüm üyelik derecelerinde düşme olmaktadır. Yani CON işlemi, düşük (küçük) üyelik derecelerine daha az miktarda sahip, çok nitelemesinin hakim olduğu bir bulanık küme oluşturmaya yaramaktadır.



Şekil 2.10. Bulanık Kümelerde Kapanmanın Grafikselsel Gösterimi [2]

Açılma

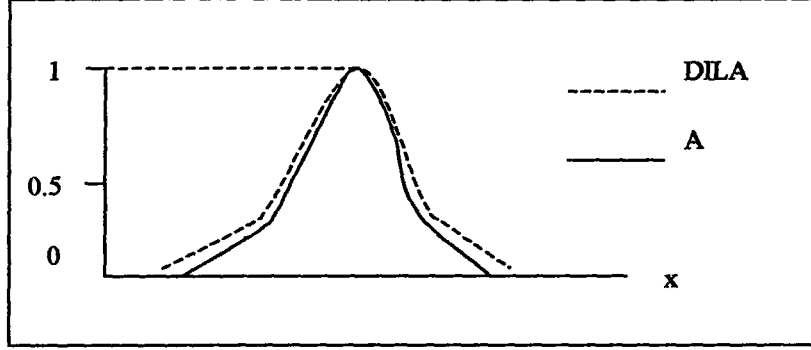
$\mu_{\text{DIL}(A)} = (\mu_A(x))^{0.5}$ olup, $\text{DIL}(A)$ ile gösterilir. Açılma işlemi ile, en küçük üyelik derecesine sahip elemanların büyük kısmının üyelik dereceleri artırılarak bulanık kümenin genişlemesi sağlanır. Bu işlem, kapanma işlemi ile birbirinin tersi işlemlerdir. Yani,

$$A = \text{DIL}(\text{CON}(A)) = \text{CON}(\text{DIL}(A))$$

olup, dilsel olarak ta *oldukça*) nitelemesine karşılık gelir. Bunun gösterimi ise;

$$\text{oldu} \text{ } F = F^{0.5} = \text{DIL}(F)$$

şekindedir. Açılma işlemi Şekil 2.11’de görüldüğü gibi gerçekleşir.

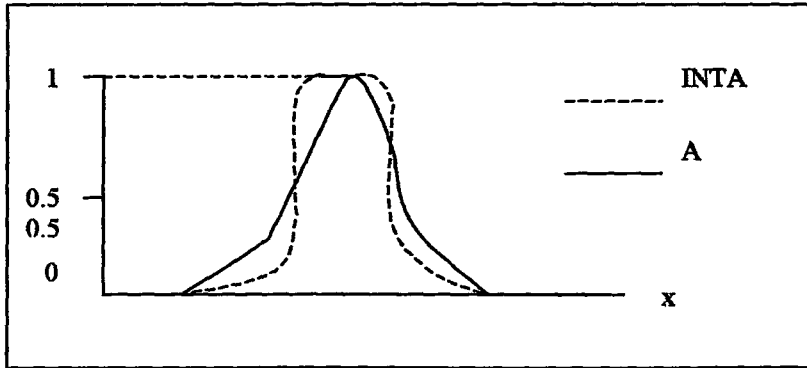


Şekil 2.11. Bulanık Kümelerde Açılmanın Grafikselsel Gösterimi [2]

Kuvvetlendirme

$$\mu_{\text{INT}(A)}(x) = \begin{cases} 2(\mu_A(x))^2 & 0 \leq \mu_A(x) \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu_A(x))^2 & 0.5 \leq \mu_A(x) \leq 1 \end{cases}$$

olup, INT(A) ile gösterilir. Kuvvetlendirmenin grafik gösterimi Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Bulanık Kümelerde Kuvvetlendirmenin Grafikselsel Gösterimi

Normalleştirme)

$$\mu_{\text{NORM}(A)}(x) = \mu_A(x) / \max\{\mu_A(x)\} \text{ olup, NORM}(A) \text{ ile gösterilir.}$$

Eğer, maksimumluk derecesi 1.00'dan küçükse, bu işlem sayesinde tüm üyelik dereceleri artacaktır. Eğer $\max = 1$ ise, üyelik derecelerinde herhangi bir değişiklik olmayacaktır.

Kartezyen Çarpım

Eğer, A ve B sırası ile U ve V kümelerinde birer bulanık küme ise, A ve B'nin kartezyen çarpımı aşağıdaki gibi olur.

$$A \times B = \int (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) / (u, v)$$

Bulanık Bağını

U kümesinden V kümesine olan bu tür bir bağını UxV olup,

$$R = \int \mu_R(u, v) / (u, v)$$

şeklinde ifade edilir.

Bileşim

R ve S, sırası ile UxW ve WxV bulanık bağını gösteriyorsa, R ve S' nin bileşimi;

$$R \circ S = \int \bigvee_w (\mu_R(u, w) \wedge \mu_S(w, v)) / (u, v)$$

veya

$$R \circ S = \int \max[\min\{\mu_R(u, w), \mu_S(w, v)\}] / (u, v)$$

dir. Buna max-min matris çarpımı veya kısaca max-min da denir.

Yansıma

Bu işlemle, verilmiş olan bir ilişki matrisinin satır ve sütunlarının sahip olduğu maksimum üyelik dereceleri belirlenmiş olur. Bu satır ve sütun maksimumlarının maksimumu, satır ve sütunlar için arandığında aynı çıkacaktır. X x Y evrenindeki bir R bağını,

$$R = \{\mu_R(x, y) / (x, y)\} \quad \text{tüm } (x, y) \in X \times Y \text{ için}$$

şeklinde gösteriliyordu. Burada 1. yansıma;

$$\text{PROJ}(R;X) = R_1$$

şeklinde gösterilirken, R_1 'de;

$$R_1 = \{\max_y \mu_R(x,y) / x \mid (x,y) \in X \times Y\}$$

ile ifade edilmektedir. Burada "max" için tüm y 'ler dikkate alınmıştır. Benzer şekilde, ikinci yansıma;

$$\text{PROJ}(R;Y) = R_2$$

şeklinde gösterilirken R_2 de;

$$R_2 = \{\max_x \mu_R(x,y) / y \mid (x,y) \in X \times Y\}$$

ile ifade edilmektedir. Burada da max. için tüm x değerleri dikkate alınmıştır [2].

2.3.2.3. Dil Değişkenleri ve Dil Değişken Değerleri

Bulanık Kümeler Kuramının önemli bir uygulaması da hesaplama dilinde (computational linguistic) görülmektedir. Burada amaç, hesaplamaları doğal dil ifadeleri yapmaktır. Dilsel yaklaşımda, kelimelerin anlamları sayısal hale getirilirken, sayısal karakterizasyonun uygun olmadığı durumlarla karşılaşıldığında, niteliksel ve niceliksel yaklaşımlar biraraya getirilirler. Dilsel yaklaşım, konuşulmakta olan dilin kelime ya da cümlelerini kullanarak sayısal olmayan dilsel değişkenlerin oluşturulması ve kullanılması esasına dayanmaktadır [2].

Dilsel bir değişken, konuşma evreninin bir bulanık alt kümesinin bulanık küme değişkenidir. Yani, bir dil(sel) değişken, kelime, cümle gibi doğal ya da yapay dil ifadelerinden oluşmaktadır. Günlük yaşamda sık kullanılan bazı dil değişkenleri ve genellikle aldıkları değerler Tablo 2.12'de gösterildiği gibidir.

Tablo 2.12. Bazı Dil Değişkenleri ve Aldıkları Değerler [2]

Dil Değişkeni	Değeri
Uzunluk	Çok kısa, kısa, orta, uzun, çok uzun
Adet	Çok az, az, birkaç, çok
Yaşamın aşamaları	Bebek, küçük çocuk, çocuk, genç, yetişkin
Renk	Kırmızı, mavi, yeşil, sarı, portakal
.
.
.

Bölüm.2.3.2.2'de verilen işlemlerin bazılarının dilsel karşılıklarını da Tablo 2.13'deki gibi özetlemek mümkündür.

Tablo 2.13. Bulanık Kümelerdeki Bazı İşlemlerin Dilsel Karşılıkları [2]

İşlem	Dilsel Karşılığı
$CON(F) = F^2$	Çok F
$DIL(F) = F^{0.5}$	Oldukça F
1-F	F değil
1-CON(F)	Çok F değil
INT[NORM (+ F ve (çok F değil))]	Önemsiz F

Buradaki F, göz önüne alınan herhangi bir bulanık kümeyi göstermektedir.

2.3.2.4. Bulanık Kümeler Mantığı

Klasik mantık dediğimiz Aritoteles Mantığı M.Ö. IV. yüzyıldan, M.S. XIX. yüzyılın ortalarına kadar süren bir duraklama dönemi geçirmiştir. Buna karşılık, modern mantık XIX. Yüzyılın ikinci yarısında İngiliz Matematikçisi Boole ile Alman matematik ve mantıkçısı Frege tarafından kurulduğu andan bu yana devamlı bir gelişme ve ilerleme halinde bulunmaktadır. Klasik mantığın ikibin yıldan çok süren duraklamasına karşılık modern mantığın hızla gelişmesi, duraklamanın mantığın kendine özgü olmayıp, sadece klasik Aristotelesçi görüşün muhafazasının bir sonucu olduğunu gösterir. Mantığın gelişmesi, ancak bu klasik görüşün bir yana bırakılması sayesinde olmuştur. Klasik mantığa dayalı iki değerli mantık diyebileceğimiz yöntemde doğru ve yanlış gibi iki değere indirgeme yapılmaktadır. Bunun avantajı iki değerli mantık üzerine kurulmuş sistemlerin tündengelimle modellenme kolaylığıdır, çıkarımları kesindir. Ana dezavantajı ise, gerçek dünyada çok az şeyin iki değerli olmasıdır. Çünkü, gerçek dünya dijital değil, analog'tur.

İki değerli mantığın dışında, ikiden fazla doğruluk değeri üzerine kurulmuş değişik mantık teorileri ortaya atılmıştır. Bunların belli başlıları *Lukasiewicz*, *Bochvar*, *Kleene*, *Heyting* ve *Reichenbach*'ın teorileridir.

Genelde doğruluk değerlerine, doğru, yanlış ve bilinmeyeni temsil eden üç değer verilir. Burada, doğru 1, yanlış 0 ve bilinmeyen de 1/2 ile gösterilmektedir. N tane doğruluk değerinin olduğu mantığı ilkkez Lukasiewicz 1930'larda geliştirmiştir. Lukasiewicz'e göre; N tane doğruluk değerinin olduğu bir mantık evreninde T_N doğruluk değerleri kümesinin kapalı aralığında eşit olarak dağıldığı kabul edilir ve

$$T_N = \left\{ \frac{i}{N-1} \right\} \quad 0 \leq i < N$$

yazılır. N doğruluk değerine sahip Lukasiewicz mantıksal işlemleri de $N \geq 2$ durumunda aşağıdaki gibi yazılır :

$$\begin{aligned} x' &= 1-x \\ x \wedge y &= \min(x,y) \\ x \vee y &= \max(x,y) \\ x \rightarrow y &= \min(1, 1+y-x) \end{aligned}$$

Buradaki mantıksal işlemler ile bulanık kümelerin mantıksal işlemleri aynıdır. Ancak, bulanık küme mantığı ile çok değerli mantık arasında belirtilmesi gereken bir fark da vardır. Bulanık kümelerin mantığı, kesin çok değerli yargılardan ziyade, yaklaşık yargıların mantığıdır. Yaklaşık yargı, ne tam olarak kesin ve ne de tam olarak kesin olmayan yargıdır. Bulanık kümeler mantığının ve dolayısı ile yaklaşık yargılar mantığının değişik tipleri vardır. Bu çalışmada, bunlardan yaygın olarak kullanılan Zadeh'in Yaklaşık Mantık Teorisi dikkate alınmıştır. Bu teorinin temelinde Lukasiewicz'in Mantığı yatmaktadır. Zadeh'in teorisine bağlı olarak, yukarıda gösterilen Lukasiewicz mantıksal işlemlerinin bulanık kümelere uygulanışı;

$$\begin{aligned} x(A') &= x(\text{not } A) = 1 - \mu_A(x) \\ x(A) \wedge x(B) &= x(A \text{ AND } B) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \\ x(A) \vee x(B) &= x(A \text{ OR } B) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \\ x(A) \rightarrow x(B) &= x(A \rightarrow B) = x((\sim A) \vee B) = \max[1, \mu_A(x), \mu_B(x)] \end{aligned}$$

şeklinde olup, burada $x(A)$, $[0,1]$ aralığında sayısal bir doğruluk değerini göstermektedir. Bu, aynı zamanda x , A' dir önermesinin de doğruluğudur ki, bu doğruluk $\mu_A(x)$ üyelik derecesi olarak yorumlanmaktadır [2,19].

2.3.2.5. Olabilirliğin Gösterimi

Daha önce sözü edilen olabilirlik, x 'in *alabileceği i değerlerini* göstermekte olup, $\text{Poss}(x=i)$ şeklinde gösterilir. U evrenindeki tüm x değerleri için,

$$\text{Poss}(X=x) = \mu_F(x) \quad x \in U \text{ için yazılabilir.}$$

2.3.3. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme

Karar verme, amaç yada amaçlara ulaşmak için alternatifler kümesinden en iyi alternatifi seçme prosesi olarak karakterize edilebilir. Birçok durumda karar aşaması belirsizliği içerir. Bu yüzden faydalı bir karara ulaşmaya yardımcı olan önemli görüşlerden biri kesin olmayan (imprecise) ve muğlak bilgiyi (“büyük” kazanç, “fazla” hız ve “ucuz” fiyat gibi) elde etme yeteneğini sağlamaktır. Bellman ve Zadeh’e [20] göre gerçek dünyadaki birçok karar (karar verme); amaçların, kısıtlamaların ve olası hareketlerin sonuçlarının tam olarak bilinmediği bir ortamda yer almaktadır. Bu bölümde, bulanık bir ortamda karar verme için kullanılan önemli teori ve metodlar incelenecektir.

Kullanışlı bir karar modeli, eksik, birbirine uyumsuz ve kesin olmayan bilgi ve haberi elde etmelidir. Farklı görüş, davranış ve inançların doğruluğu da kabul edilmelidir. Bir karar modeli, bulanık ortamlar altındaki karar ve değerlendirmeler için kriterlerin, alternatiflerin ve niteliklerin belirlendiği, ölçüldüğü ve birleştirildiği bir prosesi içermelidir. Bir modelin doğruluğunda belirsizliğin bulunması, uygun olarak yürütülen tahmin, yorum ve düzeltmeler için kabullerin varolması demektir. Doğruluk, belirsizlik için bir subjektif model bilgisi olarak düşünülebilir ve bu yüzden hata olasıdır.

2.3.3.1. Karar Vermede Önemli Kavramlar

Turban’a göre, “Karar verme, bir amaç ya da amaçlara ulaşmak için alternatif hareket yönleri arasındaki bir seçim prosesidir. Bulanık bir ortamda karar verme, Bellman ve Zadeh tarafından; amaçların ve/veya kısıtlamaların doğasında bulanıklığın olduğu (fakat kontrol altındaki sistemde bir zorunluluk değil) bir karar prosesi olarak tanımlanır. Bunun anlamı, amaçların ve/veya kısıtlamaların sınırları kesin olarak tanımlanmamış alternatif sınıflarını oluşturduğudur [2,20].

Tipik olarak, bu karar prosesi şunları gerektirir : bir alternatifler kümesi, alternatifler arasında karşılaştırma yapmak için kriterler kümesi, herbir kriter için bir alternatifin nispi değerini birleştiren performans fonksiyonu. Bu prosedürdeki adımlar ise şöyledir : a) seçim için kriter olarak saklamaya yeterli önemlilikteki, belirli niteliklerin (ki burada çoğunlukla kriter olarak tanımlanacak) seçimi; b) nihai amacın oluşturulması için bu niteliklerin gruplandırılması; c) nihai amacın önemine göre kararların sınıflanması (takdirlenmesi) için bu niteliklerin (kriterlerin) ağırlıklandırılması; d) sınıflanan alternatiflerin sıralanması. Genelde, karar problemleri için kullanılan terminoloji şöyledir :

- Alternatifler: Amaçlar, ürünler, hareketler, seçim ayrıntıları veya stratejiler kümesidir. Örneğin, satın alınması düşünülen arabaların bir listesi veya yeni bir bina inşaa etmek için arazilerin bir listesi.
- Nitelikler (kısıtlamalar) : Herbir alternatif bir karakteristikler (özellikler) kümesi ile tanımlanır. Bunlar, ağırlık veya renk gibi fiziksel özellikleri sunabilir.
- Amaçlar: Karar vericinin bir amacı formüle edebilmesi için mevcut niteliklerin toplanması. Örneğin, bir araba satın alınması, fiyat, maksimum hız ve konfor gibi nitelikleri içerir.
- Tercihler/önemler (ağırlıklar): Kriterlere veya bir kriterin örneklerinin nispi önemine karşı herbir kriterin nispi önemi. Bunlar sırasıyla, iç kriter tercihi (önemi) ve dış kriter tercihi (önemi) şeklinde adlandırılır.

Bir bulanık ortamdaki kriterler, ağırlıklar ve amaçlar bulanık küme olabilirler. Ayrıca, bu kriterler bulanık dilsel değişkenler olabilir (örneğin, “ucuz”, “orta” ve “pahalı” gibi üç bulanık alt kümeyle sahip fiyat bulanık kümesi gibi).

Karar vermede üç ana kesinsizlik (eksik olma) oluşumu tanımlanabilir: (1) eksiklik: Bazı alternatiflerin, kısıtlamaların eksik olma durumundan veya bir kısıtlık sınırının garantilenmesindeki veri yetersizliğinden kaynaklanabilir; (2) bulanıklık: Üye olmaktan üye olmamaya geçişin net olmadığı sınıfların (kümelerin) eksik olduğu bir türdür. Nitelikler, kriterler ve kısıtlamalar için kesin kavramların elde edilmesi gibi zorluklardan kaynaklanır; (3) doğruluk (geçerlilik) hatası: Beklenen çözümlerden büyük sapmalar olması gibi, hatalı çıktıların meydana gelmesinden kaynaklanır. Doğruluk hatası terimi Tversky ve Kahneman tarafından ortaya atılmıştır. Orjinal anlamı ise sadece düşünülen karar (yargı) ve belirsizlik altındaki sonuçların seçimidir. Yukarıdaki kavramları açıklayan bazı örnekler aşağıda verilmiştir :

- 1994 yılı için beklenen gelir 10 milyon dolar olsun. Bu belirsiz bir kavramdır, ancak bulanık değildir. Bu eksiklik geliri etkileyen kontrol edilemeyen değişkenler nedeni ile meydana gelir (1. Tip).

- 1992 satışları yüksekti. Burada bir niteliği sınıflandırmak için bulanık bir tanımlayıcı (yüksek) kullanılmıştır. Bu eksik değildir; sadece muğlak bir önermedir. Diğer tipik örnekler; satın alınacak arabaya karar verilmesinde konfor niteliğinin kesin tanımlanmasındaki eksiklik veya bir şirketin kabul edilebilir risk seviyesinin kesin tanımlanmasındaki eksiklik, şeklinde verilebilir. Bu örnekleri çoğaltmak mümkündür (2. Tip).
- Beklenen değer 10 milyon dolar iken gelir 5 milyon dolar olsun. Bu doğruluk hatası; sadece bu tahminin üretilmesinde azalan serilerin (örneğin, ilk yıl, 6 aylık satışlar) kullanılmasından veya uygun tekniğin kullanılmamasından ileri gelmiştir. Buradaki fikir; en iyi karar vericinin bilgisinin doğru olabileceği, fakat buna rağmen sonucun yanlış olabileceğidir. Buradaki kesinsizlik, yanlış çıkışla sonuçlanmanın nedeni yetersiz girişten kaynaklanmaktadır (3. Tip).

Birçok belirsizlik oluşumunu tanımlayan ve karar vermedeki bu problemi çözmek için önerilen çok sayıda metod ve teori vardır. Karar vermedeki belirsizliği adresleyen en önemli teoriler olasılık ve bulanık kümeler teorisidir [2].

2.3.3.2. Karar Verme Tipleri

Bulanık bir ortamda karar vermenin incelenmesinde çok amaçlı, çok nitelikli ve çok kriterli gibi terimler kullanılır (ki bu terimler sıklıkla birbirinin yerine kullanılır). Bu bölümde, kullanılan bu kavramların detay ve kullanım alanlarını tanımlamak için bazı ayrımlar yapılmıştır. Temel kavramsal ayrımlar, MacCrimmon (1973), Bellman ve Zadeh (1970), Zimmermann (1987) ve Kickert (1978) temellerine dayanır [2].

2.3.3.2.1. Çok Amaçlı Karar Verme

Çok amaçlı karar verme kendiliğinden başarılabilen ihtilafli amaçlar kümesinden ibarettir. Genellikle, karar uzayının devamlılığı üzerinde yoğunlaşır, birkaç amaç fonksiyonuna sahiptir ve matematik programlama teknikleri ile çözümlenebilir. Yine çoğunlukla, çok amaçlı karar verme; (a) karar vericinin amaçları hakkındaki tercihler, (b) amaçlar ve nitelikler arasındaki ilişkilerle ilgilidir. Bir alternatif ya niteliklerine dayanarak ya da karar vericinin amaçlarına ulaşmasına dayanarak tanımlanabilir. Çok amaçlı lineer programlama probleminin genel oluşumu (ilk adlandırılması Kuhn ve Tucker tarafından “maksimum vektör” şeklindedir) aşağıdaki gibidir :

Maksimum(minimum) $\{Z(x) : x \in X\}$

$Z(x) = [z_1(x), \dots, z_m(x)]$ vektör değerli fonksiyon

herbir vektör $z_k = \sum_j c_{kj} x_j$ 'e karşılık gelir.

Amaç;

$$\sum_j a_{ij} x_j (\leq, =, \geq) b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad x_j \geq 0, \text{ bütün } j\text{'ler için şeklindedir.}$$

Çok amaçlı karar verme iki adımı izler : (a) yeterli çözümlerin saptanması, (b) tüm yeterli çözümler kümesinden optimal uzlaşma çözümünün belirlenmesi. Matematik programlamadaki bir optimal uzlaşma çözümünün belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar : (1) fayda yaklaşımı), (2) amaç programlama.

Fayda ve amaç programlama yaklaşımları, karar vericinin çeşitli amaçları birleştirmek için bir tercih fonksiyonunu önceden tayin edebildiğini farzeder. Çok yaygın tercih fonksiyonları bütün amaçların ağırlıklı ortalaması formunu alır veya optimal çözümden bir mesafe fonksiyonundan ibarettir. Amaç programlamada ikincisi daha yaygındır. Amaç programlama; belirlenmiş amaç ve nitelik emellerinin bir önceki seviyeleri olan bir lineer programlama probleminin uzantısı olarak düşünülebilir.

Çok amaçlı karar vermenin bulanıklaşmış versiyonu ilk kez Bellmann ve Zadeh tarafından sunulmuştur. Bellmann ve Zadeh; amaç ve kısıtlamaların hem sınırlarında doğal olarak bulanıklık olan alternatifler sınıfını meydana getirdiğini hem de bu alternatifler sınıfının tam bir kesinlikle alternatifler uzayındaki bulanık kümeler olarak tanımlanabileceğini düşünür. Bulanık amaç ve bulanık kısıtlık örnekleri sırasıyla şöyle verilebilir : x esasen 100'den büyük olmalı, $x+y$ 120 civarında olmalı ve y yaklaşık olarak 20-35 aralığında olmalı. Bu yüzden hedef, amaçları ve kısıtlamaları birleştirmektir. Bunu yapmak için ise; amaçlar ve kısıtlamalar birarada başarılabileceğinden, "ve" operatörü kullanılmalıdır. Sonra, verilen amaçların ve kısıtlamaların kesişimi olarak bir bulanık karar sunulur. Optimal karar, bulanık karar üyeliğinin maksimum olduğu alternatifler uzayındaki noktadır. Formüsel olarak; X 'de bir A bulanık kümesi düşünelim. X ($X = \{x_i\}$) x_i noktalar kümesini gösterir. A ($A = \{x_i, \mu_A(x_i)\}$ ve $x_i \in X$); şeklindeki sıralı çiftler kümesidir. Burada $\mu(x_i)$, A 'daki x_i 'nin üyelik değerini gösterir. Burada G 'nin amaçlar kümesi ($G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$) olduğunu, C 'nin ($C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$) kısıtlamalar kümesi olduğunu ve \cap işaretinin minimum operatörüne karşılık geldiğini düşünelim. Bulanık karar D ;

$$D = g_1 \cap g_2 \cap \dots \cap g_n \cap c_1 \cap c_2 \cap \dots \cap c_m$$

ve

$$\mu_D = \mu_{g1} \wedge \mu_{g2} \wedge \dots \wedge \mu_{gn} \wedge \mu_{c1} \wedge \mu_{c2} \wedge \dots \wedge \mu_{cm}$$

olacaktır.

Klasik ve bulanık çok amaçlı karar verme probleminin çözülmesinde kullanılan metod ve algoritmalar üzerine çok geniş literatür vardır. Bilindiği gibi açık ocak madenciliğinde ekipman seçiminde çok fazla sayıda kriter söz konusudur (seçimi etkileyen). Bu nedenle, tez kapsamında çok kriterli karar vermeye ağırlık verilmiş, çok amaçlı karar vermenin detaylarına inilmemiştir [2].

2.3.3.2.2. Çok Kriterli Karar Verme

Çok kriterli karar verme; kriterleri (nitelikleri) baz alınarak karakterize edilen alternatifler kümesinden bir alternatifi seçme problemi ile ilgilenir. Çok kriterli karar verme genellikle tek bir amaçtan ibarettir, fakat bu iki farklı tiptedir. Birincisinde amaç, herbir alternatifin önem ve değerlerine dayanarak skorlanmış bir kümeden bir alternatifi seçmektir. İkinci amaç tipi ise; benzer durumları (olayları) veya çeşitli türdeki oyun modellerini kullanarak alternatifleri sınıflamaktır. Cevapları ve açıklamaları anlamak için geçmiş olayların kullanımı en son araştırma konularından birisidir ve “Olay Tabanlı Muhakeme” şeklinde adlandırılır. Çok kriterli karar verme, subjektif kriterlerin varlığından dolayı nitel bir yaklaşımdır. Her iki tip amaç hem bir kriterin örnekleri arasındaki tercihler hakkında bilgi gerektirir hem de mevcut kriterlere karşı olan tercihler hakkında bilgi gerektirir. Bu tercihlerin kıymetlendirilmesi ya doğrudan karar verici tarafından sağlanır ya da geçmiş seçimlere dayandırılır. Genel formülasyonu;

A_1, A_2, \dots, A_m ; C_1, C_2, \dots, C_n kriterleri ile kıymetlendirilmiş olan bir alternatifler kümesi olsun. R_{ij}, C_j kriteri için A_i alternatifinin nümerik sınıflaması olsun. Sonra genel karar fonksiyonu;

$D(A_i) = (R_{i1} \circ R_{i2} \circ \dots \circ R_{ij})$ $j = 1, 2, \dots, n$ ve \circ kümelenmeyi (toplanmayı) gösterir.

Ayrıca, karar verici bu kriter için önem/ağırlıklar olarak bir sıralama açıklamalı ya da tanımlamalıdır. Bu önem ya da ağırlıkların açıklanmasında birçok form vardır. Fakat çok yaygın olanları şunlardır : (a) yararlı tercih fonksiyonları, (b) analitiksel hiyerarşi prosesi, (c) klasik lineer ağırlıklı ortalamanın bulanık versiyonu. Buna ilaveten, bir bulanık karar için bile kriter, bulanık ve kesin olabilir.

Çok kriterli karar vermenin amacı en iyi alternatifi elde etmektir. Yani ilgili bütün kriter ve amaçlar için en yüksek memnuniyet derecesi ile birini elde etmektir. En

iyi alternatifi elde etmek için bir sıralanmış proses gereklidir. Eğer sınıflanmış A_k alternatifi kesinse, problem yoktur ve en iyi alternatif en yüksek destekli (üyelik derecesine sahip) birisidir. Sınıflanmış alternatifi kendisi bir bulanık küme ise, daha aydınlanmış bir sıralı proses gereklidir. Özet olarak, en iyi alternatifi elde etmedeki bu karar prosesi iki ana faza sahiptir:

- Her karar alternatifinin (sınıflanmış), bütün kriterleri için memnuniyet derecesinin kümelenmesi.
- Kümelenmiş memnuniyet derecesine göre alternatiflerin sıralanması.

Çok kriterli karar vermenin bu iki fazının çözümünde çok çeşitli metodlar vardır. MacCrimmon'a göre en yaygın olanı iki sınıfa ayrılır. Bunlar; ağırlıklama metodları ve ardışık eliminasyon metodlarıdır. Bu metod sınıflarının ana teması şöyledir :

a) Ağırlıklama Metodları: Bu metodlar çok kriterli problemlere oldukça geniş bir şekilde uygulanmaktadır. Bu metodun gerekleri ise şunlardır : Belirlenmiş nitelikleri (kriterleri) ve ayrı ayrı örnekleri ile bir alternatifler kümesi; kriterlere karşı nümerik veya dilsel ağırlıkların elde edilmesi için bir proses (iç kriter tercihleri); nümerik veya dilsel kriterlerin önem değerlerinin elde edilmesi vasıtasıyla kriter değerlerinin karşılaştırılması için bir proses; tercihlerin kümelenmesi için bir amaç fonksiyonu ve her bir alternatif için tek bir veya bulanık sayı olarak kriterlere değer verilmesi; en iyi alternatifi seçmek için bir sıralı proses. Tercihleri (önem) elde etmek için karar verici üç seçeneğe sahiptir. Birincisi, geçmiş seçimlerden tercihleri çıkarmak (istatistiksel modeller ve olay tabanlı modeller kullanarak). İkincisi, tercihleri etkileşimli olarak ve onları kümeleştirerek elde etmek. Üçüncüsü, kümelenmiş metodlar ya basit toplamsal ağırlıklama metodu ya da hiyerarşik toplamsal ağırlıklama metodu olabilir. Yaygın olarak kullanılan algoritma, ağırlıklı ortalama sınıflaması (takdirilmesi) bazındadır;

$$D(A_i) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j * r_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_j}$$

Burada; A_i = i alternatifini gösterir,
 w_j = j kriterinin önemini gösterir,
 r_{ij} = i alternatifi için j kriterinin nispi değerini gösterir.

b) Ardışık Eliminasyon Metodları : Bu metodlar, iç kriter tercihlerini gerektirmediği için bu metodun karar vericiye olan bağlılığı daha azdır. Yaygın özellikleri şöyledir : belirlenmiş kriterler ve kriter değerleri ile mevcut alternatiflerin bir kümesi; kriter değerlerinin düzenlenmesi; kriter değerlerine dayanarak alternatifleri elimine etmek için alternatiflerin karşılaştırılmasında kullanılacak bir proses. Başlıca

kategorileri ise şunlardır : (1) bir standart veya rol modelin kriterleri ile verilen bir alternatif için kriterlerin karşılaştırılması, (2) iki alternatif için kriterlerin karşılıklı karşılaştırılması, çift yönlü kriter karşılaştırması; (3) bütün alternatifler için tek bir kriter değeri için, alternatiflerin karşılıklı karşılaştırılması. Özet olarak, bu olay karar vericinin tercihlerine daha az bağlı olup, karar verici tarafından tanımlanan subjektif karşılaştırma prosesine daha çok bağlıdır. Çok kriterli karar verme problemini çözmek için önerilen diğer yaklaşımlar ve detayları ileriki bölümlerde tartışılmıştır [2].

2.3.3.2.3. Çok Nitelikli Karar Verme

Çok kriterli karar verme, bazen çok amaçlı ve çoklu kriterleri ihtiva eden kararlara uygulanır, fakat genellikle her ikisine birlikte uygulanır. Çok nitelikli karar verme, oldukça rastlantısal bir kullanımda olduğu ve bu tezin konusu bulanık çok problemler olduğu için, çok nitelikli karar verme kavramının detayına inilmemiştir [2].

2.3.3.3. Bulanık Çok Kriterli Yaklaşımlar

Burada genelde, çok kriterli problemlerin, alternatiflerinin sınıflanmış olacağı ve alternatifler kümesinden birinin seçileceği tek bir amaca sahip olduğu farzedilir. Bu sınıflama/seçim, yaygın kesin veya bulanık kriterler/özellikler kümesine değer vererek uygulanır (burada tayin edilen önem dereceleri değişmektedir). Örneğin, amaç, fiyat, maksimum hız vb. gibi belirli kriterler açısından tatmin edici bir otomobili seçmek olabilir. Ayrıca burada karar verici kriterlerin önceliğini/önemini belirleyebilir. Örneğin, “fiyat kriteri maksimum hız kriterinden çok daha fazla önemlidir” gibi. Alternatifler genelde, fiziksel elemanlar, hareketler, objeler ve muhtemel senaryolardır (satın alınacak arabaların kümesi gibi). Buradaki vurgulama, bulanık örneklerin kabul edilmesi için çok kriterli karar verme modellerinin kullanımına olanak sağlayan fiziksel elemanlar üzerinedir. Çok kriterli karar verme ve çok amaçlı karar verme arasındaki esas farklılık; Çok kriterli karar verme ön tanımlı sınıflara ayırır veya mevcut alternatifleri sınıflandırır. Örneğin, alternatifler mevcuttur ve sınıflanmıştır. Çok amaçlı karar verme ise başarılabilen hedefleri kurar ve alternatif değişkenleri, bu hedefleri maksimum veya minimum yapmak için hesaplar. Bulanık çok kriterli problemlerin çözümünde temel olarak iki yöntem vardır [2].

I. yöntem : Alternatiflerin sınıflanması

II. yöntem : Alternatiflerin sıralanması

Tez kapsamında esas olarak bulanık ortamlarda karar almada gerek kriterlerin alternatiflere göre öneminin karşılaştırılması gerekse kriterlerin birbirlerine göre önem ağırlıkları saptandığı ve böylece daha iyi sonuçlar elde edilebildiği için alternatiflerin

sınıflandırması metodlarından olan Yager teorisi kullanılmıştır. Bu nedenle ikinci yöntem çözümler tez kapsamı dışında tutulmuştur. Bu konu ile ilgili detayları çeşitli kaynaklarda bulmak mümkündür. Ayrıca bulanık ortamlarda karar vermede kullanılan bu teorilerin herbirinin madencilğe uygulanması bir araştırma konusu olup, araştırmacılara yeni çalışma alanları olarak önerilebilir. Yager teorisi ilgili birkaç teoriyi temel alarak ortaya çıkan bir teoridir. Bu nedenle önce bu teoriler anlatılmış ve daha sonra Yager teorisi ile karar verme incelenmiştir.

2.3.3.3.1. Alternatiflerin Sınıflandırması Yöntemi

Bu yöntem, kriterlerin nispi değeri temeline dayanan alternatiflerin sınıflandırması problemini adresler. Bulanık çok kriterli karar vermede bu yöntem için çok yaygın çözüm prosedürleri ağırlıklı ortalama metodlarıdır. Burada yazarların üzerinde durduğu nokta, ağırlıklar ya kesin ya da bulanık olabilirken, kriterlerin bulanık olarak düşünülmesidir. Tablo 2.14’de bulanık çok kriterli karar vermede alternatiflerin sınıflandırması metodu ile çözüm için çok önemli yaklaşımlar görülmektedir.

Tablo 2.14. Alternatiflerin Sınıflandırması Metodu İle Çözümdeki Önemli Yaklaşımlar

Grup	Teori	Yöntem	Kriter	Ağırlıklar	Kümeleme Kuralı	Çözüm
G1	Kahne (1975)	I+II	Stokastik	Aralık	Monte Carlo Simülasyon	Kesin
	Saaty (1978)	I	Çift yönlü karşılaştırma	Kesin	Hiyerarşik Kümeleme	Kesin
G2	Laarhoven Pedrycz (1983)	I	Kesin	Kesin	Hiyerarşik Kümeleme	Bulanık (fuzzy)
G3	Bellman&Zadeh (1970)	I+II	Bulanık	Kesin	Maks.-Min.	Kesin
	Yager (1977, 1978)	I+II	Bulanık	Kesin/Bulanık	Maks.-Min.	Kesin
G4	Baas&Kwakernaak (1977)	I+II	Bulanık sınıflama	Bulanık	Ağırlıklı ortalama	Bulanık
	Dong (1985, 1987)	I	Bulanık sınıflama	Bulanık	Uzunum+ α -seviye+aralık	Bulanık
	Dubois (1980)	--	Bulanık	Bulanık	Yaklaşık uzunum prens.	Bulanık
	Schmucker (1984)	--	Bulanık	Bulanık	Uzunum prens.	Bulanık
	Tseng (1992)	I	Dilsel değişkenler	Bulanık	Ağırlıklı Ort.	Kesin
G5	Yager (1988)	I+II	Bulanık	Kesin	OWA operatörü	Kesin
	Baldwin (1992)	I	Bulanık	Kesin	Kanıtısal mantık kuralı	Kesin

2.3.3.3.2. Saaty Teorisi

Saaty'e (1978) göre, bu metod karar vermedeki belirsizlik için bulanık küme teorisine bir alternatiftir [21]. Bu yaklaşım bulanık kümeleri kullanmamasına rağmen, kriter ve amaçlara ağırlık değeri verilmesinde bu metodu kullanan belirli yazarlar (Laarhoven&Pedrycz (1983), Yager (1977, 1978) bulanık kümelerle ilgili olduğunu düşünür. Saaty yaklaşımı "Analitik Hiyerarşi Prosesine*" dayanır.

Thomas Saaty (1988) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), uygulamada yöneticilerin sürekli karşılaştıkları karar verme ve planlama ile ilgili birçok sorunun çözümünde başarıyla kullanılmaktadır. Bu teknik; politik, savunma, şehircilik, çevrecilik, ulaştırma ve psikoloji gibi çok değişik alanlarda karar vericilerin sorunlarını çözmeye kullanılmıştır.

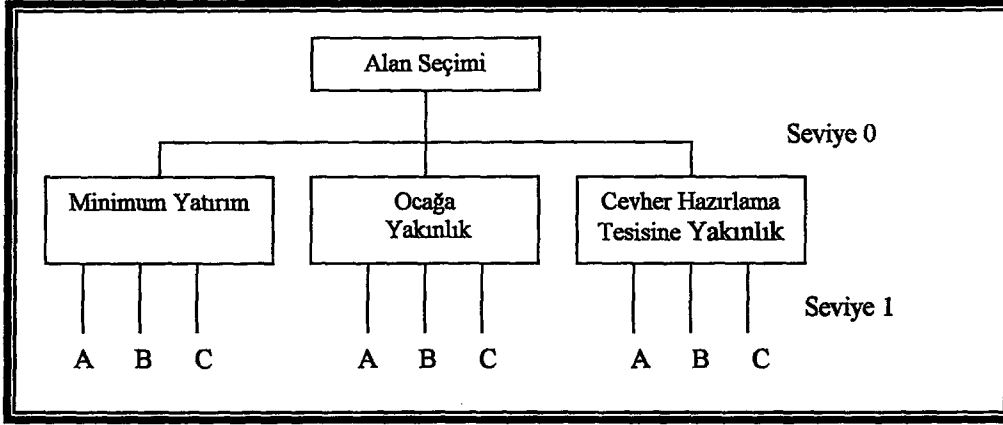
AHP'yi, sorunların kademeli (hiyerarşik) bir biçimde anlamlı daha küçük alt bölümlere ayrıştırılarak, daha etkin çözümlenebileceği esasına dayanır. AHP yöntemi şu aşamalardan oluşur [22].

- Sorun (amaç) çok açık bir biçimde tanımlanır
- Amaca ulaşmayı sağlayan alt amaçlar belirlenir
- Alt amaçları etkileyen etkenler saptanır
- Alternatiflere göre model sonuçları analiz edilir

"Kompleksliği azaltan bir metod, bileşenleri yapılanmamış durumda; bu parçaları ve değişkenlerini hiyerarşik bir sırada düzenler; herbir değişkenin nispi önemi üzerindeki subjektif kararlara nümerik değerler tayin etmek; en yüksek önceliğe sahip değişkeni belirleyen kararları sentezlemek; sonuç hükmünü etkilemek" [2].

Bu metod çok kriterli bir çerçevedeki bir sistemin kriter ve amaçlarını (objelerini) hiyerarşik olarak yapılandırarak nispi bulanıklığı ölçer. Saaty, alternatifleri sınıflamak için kriterler ve/veya objeler arasında hiyerarşik çift yöllü karşılaştırmayı kullanır ve sonra ters matrislerin özvektörleri ile bunları çözer. Bu yaklaşımı matematik formda incelemenin yerine bir örnek üzerinde açıklamak anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Bir taşocağına yeni alınan bir kırıcının; mümkün minimum yatırımla (amaç, G), yerleştirileceği alanın {A, B, C} alternatif alanlar kümesinden seçimi problemini düşünelim. Burada kırıcının ocağı (1. Kriter/C1) ve cevher hazırlama tesisine en yakın (2. Kriter/C2) olacak şekilde yerleştirilmesi planlanmaktadır. Analitik hiyerarşi Şekil 2.13'de verilmektedir.

Kullanılan karar sıkalası Saaty tarafından önerilmiştir (karar verici bu sıkalayı kendisi oluşturabilir) : 1. önemli (equally important); 3. biraz önemli (weakly more important); 5. kuvvetlice önemli (strongly more important); 7. ispat edilebilir şekilde çok önemli (demonstrably more important); 9. tamamen çok önemli (absolutely more important). Aradaki değerler (2, 4, 6, 8) uzlaştırıcı kararları gösterir. Hiyerarşide (Şekil 2.13), yukarıdaki merkez noktasının matrisi sıfır seviyesine (kriterlerin karşılaştırılması) denk gelir, diğerleri 1 seviyesine denk gelir.



Şekil 2.13. Saaty Hiyerarşisine Bir Örnek [2]

Kare ters matrislerin yapılanması; i elemanını j elemanı ile karşılaştırmak için karar vericiye sorularak uygulanır. Ayrıca belirli bir kriter veya amaca göre a_{ij} değerini ortaya koymak için de aynı sorgulama yapılır. Diğer değerlere aşağıdaki gibi değer atanır :

(a) $a_{ji} = 1/a_{ij}$; (b) $a_{ii} = 1$.

Yukarıdaki örnek için Saaty'nın ters matrisi şöyledir :

Kriterlerin Karşılaştırılması	Min. Yatırım Kriteri			Ocağa Yakınlık Kriteri			Cevher Hazırlama T. Yakınlık Kriteri								
	G	C1	C2	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
G	1	1/7	1/7	A	1	1/5	1/5	A	1	3	3	A	1	1	7
C1	7	1	1	B	5	1	1	B	1/3	1	1	B	1	1	5
C2	7	1	1	C	5	1	1	C	1/3	1	1	C	1/7	1/5	1

Ters matristeki değerler karar verici tarafından verilir. Örneğin, C1 ve C2 kriterleri G amacından (diğer bir kriter olarak farzedilir) ispat edilebilir şekilde çok önemlidir (birinci matristeki 7 değeri) ve aynı şekilde B ve C alternatifleri A'dan kuvvetlice önemlidir (ikinci matristeki 5 değeri) [değerlendirme altındaki bu kriterler minimum yatırım gerektirdiği için daha ucuz]. Diğer karşılaştırmalar ters matrislerde açıkça görülmektedir.

Ters matrisi çözmek için Saaty maksimum özdeğer ve özvektörleri kullanır. Maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör karşılaştırılan elemanların esas oran ölçeğidir. Özvektörler daha sonra bütünlüğü sağlamak için normalleştirilir. Herbir matris için normalleştirilmiş (normalized) özvektörler elde edilmesinden sonra üst seviye vektörleri, herbir kriter için alternatif ağırlıklarının tam matris üyeleri haline gelir. Bu son vektör matrisi kriter karşılaştırma ağırlıklarının matrisi tarafından çoğaltılır (kriter karşılaştırma özvektörü). Sonuçlar aşağıdaki gibidir :

$$\begin{array}{l} \text{Kriter} \begin{bmatrix} .1005 \\ .7035 \\ .7035 \end{bmatrix} \text{ normalleştirilmiş} \begin{bmatrix} .08 \\ .46 \\ .46 \end{bmatrix} \text{ Minimum yatırım} \begin{bmatrix} .14 \\ .7 \\ .7 \end{bmatrix} \text{ normalleştirilmiş} \begin{bmatrix} .09 \\ .455 \\ .455 \end{bmatrix} \\ \text{Ocağa Y.} \begin{bmatrix} .9045 \\ .3015 \\ .3015 \end{bmatrix} \text{ normalleştirilmiş} \begin{bmatrix} .6 \\ .2 \\ .2 \end{bmatrix} \text{ Cevher H. T. Y.} \begin{bmatrix} .7403 \\ .6618 \\ .1183 \end{bmatrix} \text{ normalleştirilmiş} \begin{bmatrix} .49 \\ .43 \\ .08 \end{bmatrix} \end{array}$$

Nihai sonuç kriter karşılaştırmaları için tabiileştirilmiş vektörler düşünülerek elde edilir.

$$\begin{array}{l} \text{Inv. O.Y. C.Y.} \\ \begin{bmatrix} .09 & .6 & .49 \\ .455 & 2 & .43 \\ .455 & 2 & .08 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} .08 \\ .46 \\ .46 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} .51 \\ .33 \\ .16 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} A = .51 \\ B = .33 \\ C = .16 \end{array} \end{array}$$

Burada; Inv (minimum yatırım), O.Y. (ocağa yakınlık), C.Y. (cevher hazırlama tesisine yakınlık)

Böylece en iyi alternatif A'dır. Yani A alanının seçimi amaç ve kriterleri en iyi sağlayan alternatiftir.

Sonuçlar şunu göstermektedir: A alternatifi ocağa yakınlık kriteri açısından B ve C'den (3,3) daha önemli, cevher hazırlama tesisine yakınlık kriteri için C'den (7) çok daha önemli ve ocağa yakınlık kriteri ve cevher hazırlama tesisine yakınlık kriteri (7,7)

minimum yatırım kriterinden çok daha önemli olduğu için A alternatifi en iyi seçenektir.

Özet olarak, bu yaklaşım oldukça sabit (uyumlu), yapısal ve sezgiseldir. Buradaki problem bütün karşılaştırmaların önem karşılaştırması ile yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu, bulanık küme olarak kriterin tanımlanmasında olası ince farkları kaybettirmektedir. Örneğin, minimum yatırım A ve B alternatifleri için sırasıyla 30.000 \$ ve 32.000 \$ olsun; minimum yatırım bulanık kümesine ait derece kaçırılmaktadır. Sadece onların birbirlerine göre nispi önemi ölçülür. Bütünlüğü sağlamak için mükemmel bir çift yönlü karşılaştırma yapılması diğer bir sakıncalı sayılabilecek bir konudur. Eğer çok sayıda kriter varsa bu çok zaman alacaktır. Bununla birlikte, analitik hiyerarşi prosesi, belirsizlikle ilgili çok kriterli problemlerde alternatif sınıflamasını elde etmek için bulanık küme yaklaşımlarına bir alternatif sunar.

2.3.3.3.3. Bellman and Zadeh Teorisi

Literatürde tartışılan ilk gerçek bulanık methodur. Çok kriterli karar verme problemlerine yoğunlaşmada düşünülen tek amaç, alternatifler kümesinden en iyisini seçmektir. Diğer amaçlar kriter olarak düşünülür [2].

Saaty yaklaşımında verilen örneği bu yaklaşımı açıklamak için kullanabiliriz. Karar, kurulacak yeni bir kırıcı için, ocağa (1.kriter/C1) ve cevher hazırlama tesisine yakınlık (2. Kriter/C2) ve minimum yatırım (amaç/kriter) gerekleri ile bir alan seçmektir. Formüsel olarak; $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ alternatifler alanlar kümesi; $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ alternatifler uzayında bulanık kümeler olarak açıklanabilen kriterler kümesi ve bir bulanık küme olarak açıklanabilen amaç G olsun. Böylece, üyelik karar fonksiyonu;

$$\mu_D(A) = \min(\mu_G(X), \mu_{c1}(X), \mu_{c2}(X), \dots, \mu_{cm}(X)),$$

şeklinde olur. Burada $\mu_D(A)$; bu kriter ve amacı tatmin eden bir alternatifin derecesi olarak yorumlanabilir. Burada kriter önemlerinin eşit olarak benzemediği (kriter önemlerinin farksız olduğu) ve ağırlık katsayılarının gerektiği durumlar vardır. Bu durumda kriterlerin nispi önemi ile bu karar fonksiyonu aşağıdaki gibi olacaktır (basitleştirme için üyelik işareti μ atılmıştır).

$$D = \min(\omega_0 G, \omega_1 C_1, \omega_2 C_2, \dots, \omega_m C_m) \sum_{j=1}^m \omega = 1$$

Daha anlaşılır olması için, kararın; yeni bir kırıcı için, ocağa ve cevher hazırlama tesisine yakınlık kriterleri ve olası minimum yatırımla bir alan seçimi olduğu daha önce verdiğimiz örneği kullanalım. $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ mevcut alanların kümesi olsun, G yatırımın minimizasyonu ve C_1, C_2 kriterleri sırasıyla ocağa yakın ve cevher hazırlama tesisine yakın yerleşim olsun. A_i alternatifinin üyelik derecesini göstermek için $\{\mu(A_i)/A_i\}$ çiftini kullanarak, nihai karar fonksiyonu :

$$G = \{0.5/A_1, 0.8/A_2, 0.3/A_3\}$$

$$C_1 = \{0.7/A_1, 0.9/A_2, 0.5/A_3\}$$

$$C_2 = \{0.4/A_1, 0.2/A_2, 0.9/A_3\}$$

Sonra;

$$D = \min(G(A_i), C_1(A_i), C_2(A_i)) \longrightarrow D = \{0.4/A_1, 0.2/A_2, 0.3/A_3\}$$

ve maksimum-minimum karar prosedürünü kullanarak nihai karar A_1 'dir. Kriter önemi düşünüldüğünde kriterin hassasiyetini kuvvetlendirmek için, C_1 ve C_2 kriterlerinin çok önemli G 'nin ise o kadar önemli olmadığını farzedelim (örneğin $w_G = 0.1, w_{C_1} = 0.45, w_{C_2} = 0.45$ gibi). Böylece;

$$D = \min(0.1 * G, 0.45 * C_1, 0.45 * C_2)$$

$$G = \{0.05/A_1, 0.08/A_2, 0.03/A_3\}$$

$$C_1 = \{0.315/A_1, 0.405/A_2, 0.225/A_3\}$$

$$C_2 = \{0.18/A_1, 0.09/A_2, 0.405/A_3\}$$

$$D = \{0.05/A_1, 0.08/A_2, 0.03/A_3\}$$

olur. Şimdi nihai optimal karar 0.08 üyelik derecesi (maksimum) ile A_2 'dir.

Bu örnek, bu metodun tamamlanmasının oldukça basit olduğunu gösterir. Buradaki sakınca (çekince) bütün kriter, amaç ve ağırlık üyeliklerinin karar verici tarafından verilme zorunluluğudur. Ayrıca, küçük bir ağırlık önemi, kriteri; nihai minimizasyon bazında, çok önemli kriter haline dönüştürebilecektir. Örnekte bu açıkça görülebilir. Diğer önemli bir sakınca bütün kriterlerin "ve" operatörü ile tamamlanması zorunluluğudur. Bu alternatif 2'de görülebilir. Alternatif 2 kriter 1 ve amaç (G -diğerlerinden daha iyi) için oldukça iyi bir değere sahiptir; fakat sonra kriter 2 için iyi olmadığından elimine edilmiştir.

Daha sonra Zadeh (1973) bu ağırlıklama prosedürünü geliştirmek için dilsel semboller kavramını tanıtmıştır. Özet olarak, bu metod oldukça basittir, fakat, bu ağırlıklama metodu henüz hamdır. Ayrıca, üyelik atamalarını kolaylaştırmak için herhangi bir öneri getirilmemiş ve kriterleri elimine edebilen bütün kriterlerin icrası mecburiyetinde burada devam etmektedir [2].

2.3.3.3.4. Yager Teorisi

Yager (1978) metodu Bellman ve Zadeh'in maksimum-minimum prensibini kullanır. Bu yüzden bulanık küme kararı bütün kriterlerin (ve/veya amaçlar) kesişimidir.

$$\mu_D(A) = \min(\mu_{c1}(A), \mu_{c2}(A), \dots, \mu_{cm}(A)) \text{ bütün } A_i \in A \text{ içindir.}$$

ve optimal karar,

$$\mu_D(A^*) = \max \mu_D(A) \text{ (} A^* \text{ nin optimal olduğu durumda)}$$

şekindedir. Ana farklılık kriter öneminin eksponansiyel ölçekler olarak sunulmasıdır. Bu dilsel semboller temeline dayanır. Ağırlıkların (önemlerin) eksponansiyel olarak kullanılmasının arkasındaki ana prensip, minimum kuralından dolayı, önemi yüksek olan kriter daha büyük eksponent olmalıdır. Tersine daha az önemli olan daha küçük ağırlıklıdır. Bu sezgisel bir durumdur. Formüsel olarak;

$$\mu_D(A) = \min((\mu_{c1}(A))^{\alpha_1}, (\mu_{c2}(A))^{\alpha_2}, \dots, \mu_{cm}(A)^{\alpha_m}), \alpha > 0 \text{ için.}$$

şekindedir. Ağırlıkların tayin edilmesi için bir alternatif, μ^2 ye karşılık gelen "çok" örneğinde olduğu gibi Zadeh'in dilsel değişkenlerinin kullanımınıdır. Bu teoriyi göstermek için Bellman ve Zadeh yaklaşımının, C_1 ve C_2 kriterlerinin çok önemli olduğunu açıklamak için, "çok" dilsel sembolünü kullandığı örneği düşünelim. Bu sonuç;

$$\begin{aligned} G &= \{0.5/A_1, 0.8/A_2, 0.3/A_3\} \\ C_1^2 &= \{0.49/A_1, 0.81/A_2, 0.25/A_3\} \\ C_2^2 &= \{0.16/A_1, 0.04/A_2, 0.81/A_3\} \end{aligned}$$

$$D(A) = \{0.16/A_1, 0.04/A_2, 0.25/A_3\}$$

0.25 maksimum üyeliğe denk geldiğine göre, optimal sonuç şimdi A_3 'tür.

Ağırlıkların tayin edildiği bu metod, çok yaygın muhakeme yapmaya olanak sağlamadığı için fazla sezgiseldir (örneğin, kriter 1 ve kriter 2 kriter 3'ten çok önemlidir, fakat kriter 1'de kriter 2'den çok önemlidir). Bu son problemin üstesinden gelmek için, Yager; kriterlerin çift yöllü karşılaştırılması için Saaty metodunun kullanılmasını önerir. Kriterlerin çift yöllü karşılaştırılması; kriter öneminin tayin edilmesini hem düzenleyebilecek hem de kolaylaştırabilecektir. Saaty, ters matris olarak sunulan ve matrisin maksimum özdeğerine karşılık gelen özvektörün gösterildiği, önem oran sıkalasını elde etmek için bir prosedür geliştirmiştir (karşılıklı elemanlar için bir oran sıkalasıdır). Karar verici önemi elde etmek için, çift yöllü karşılaştırmalarda kriter yargısı için sorgulanır ve tayin edilen değerler $w_{ij} = 1/w_{ji}$ şeklindedir. Yargılar elde edildikten sonra, $m \times m$ B matrisi şöyle oluşturulur;

$$(a) b_{ii} = 1; (b) b_{ij} = w_{ij}, i \neq j; (c) b_{ji} = 1/b_{ij}.$$

Özet olarak, Yager, karar aşamasında herbir kriter için karar vericinin ampirik önem kıymetlendirmesini açıklanmak için özvektör kullanımını önerir. Daha önce verdiğimiz kırıcı alanı seçme örneğini düşünelim. Fakat bu sefer kriter 1 ve kriter 2 çift yöllü karşılaştırılmasında; sırasıyla C_1 ve C_2 , G'nin iki katı önemde olsun. Çift yöllü karşılaştırma ters matrisi aşağıdaki gibidir :

$$\begin{array}{c} G \quad C_1 \quad C_2 \\ G \quad \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/2 \\ 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ C_1 \\ C_2 \end{array}$$

Buradan, ters matrisin özdeğerleri $\lambda = [0,3,0]$ dir ve böylece $\lambda_{\max} = 3$ 'tür. Kriter ağırlıkları nihai olarak, maksimum özdeğere karşılık gelen özvektördür;

$$\text{özvektör} = \begin{bmatrix} 1/3 \\ 2/3 \\ 2/3 \end{bmatrix} (\lambda_{\max} \text{ ile})$$

Ağırlıklara karşılık gelen özvektör, kriterlerin/özelliklerin/amaçların herbirinin üyelikleri ile ilişkilendirilir. Böylece, eksponansiyel ağırlıklama şöyle olacaktır; $\alpha_1 = 1/3$, $\alpha_2 = 2/3$, $\alpha_3 = 2/3$ ve arazi yerleşimi hakkındaki nihai karar aşağıdaki gibi elde edilir:

$$D(A) = \min(G^{1/3}, C_1^{2/3}, C_2^{2/3})$$

$$G = [0.5/A_1, 0.8/A_2, 0.3/A_3]^{1/3} = [0.79/A_1, 0.92/A_2, 0.66/A_3]$$

$$C_1 = [0.7/A_1, 0.9/A_2, 0.5/A_3]^{2/3} = [0.78/A_1, 0.93/A_2, 0.63/A_3]$$

$$C_2 = [0.4/A_1, 0.2/A_2, 0.9/A_3]^{2/3} = [0.54/A_1, 0.34/A_2, 0.93/A_3]$$

$$D(A) = \{0.54/A_1, 0.34/A_2, 0.63/A_3\}$$

ve optimal sonuç,

$$D(A^*) = 0.63/A_3$$

dür. En iyi alternatif dilsel değişken “çok” ile elde edilenle özdeştir. Bununla birlikte destekleme (üyelik derecesi) çok farklıdır. Saaty metodunun üstün olması ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi için elde edilen bu destekleme (üyelik derecesi) büyük öneme sahiptir. En iyi alternatif, bütün kriterleri memnun eden 0.63 üyelik derecesi (destekleme) ile sonuçlanmıştır.

Özet olarak, Yager metodu, kriterler için subjektif ağırlıklar olarak özvektör kullanmış, kriterlerin çift yöllü karşılaştırmasını açıklamak için Saaty’ın ters matris metodunu biraz daha geliştirmiş ve Bellman&Zadeh’in maksimum-minimum metodunu izlemiştir. Buradaki ağırlıklama (önem değeri verme) prosedürü Zadeh’in öne sürdüğü dilsel sembollerin tanımlanması temeline dayanan eksponansiyellerin kullanılmasıdır. Bu kriter önemi (ağırlıklar) modeli daha az sezgiseldir [2].

3. BULGULAR

3.1. Çiftalan Linyit Sahası Hakkında Genel Değerlendirme

3.1.1. Ulaşım

Çiftalan Linyit Sahası; İstanbul ili, Eyüp ilçesine bağlı Ağaçlı Bölgesi'nde olup, şehir merkezine uzaklığı yaklaşık 35 km'dir. Ulaşım için Çağlayan-Kağıthane-Kemberburgaz güzergahı takip edildiğinde, yolun tamamı asfalttır. Çiftalan Linyit Sahası'nın yeri Şekil 3.1'de gösterilmiştir [23]

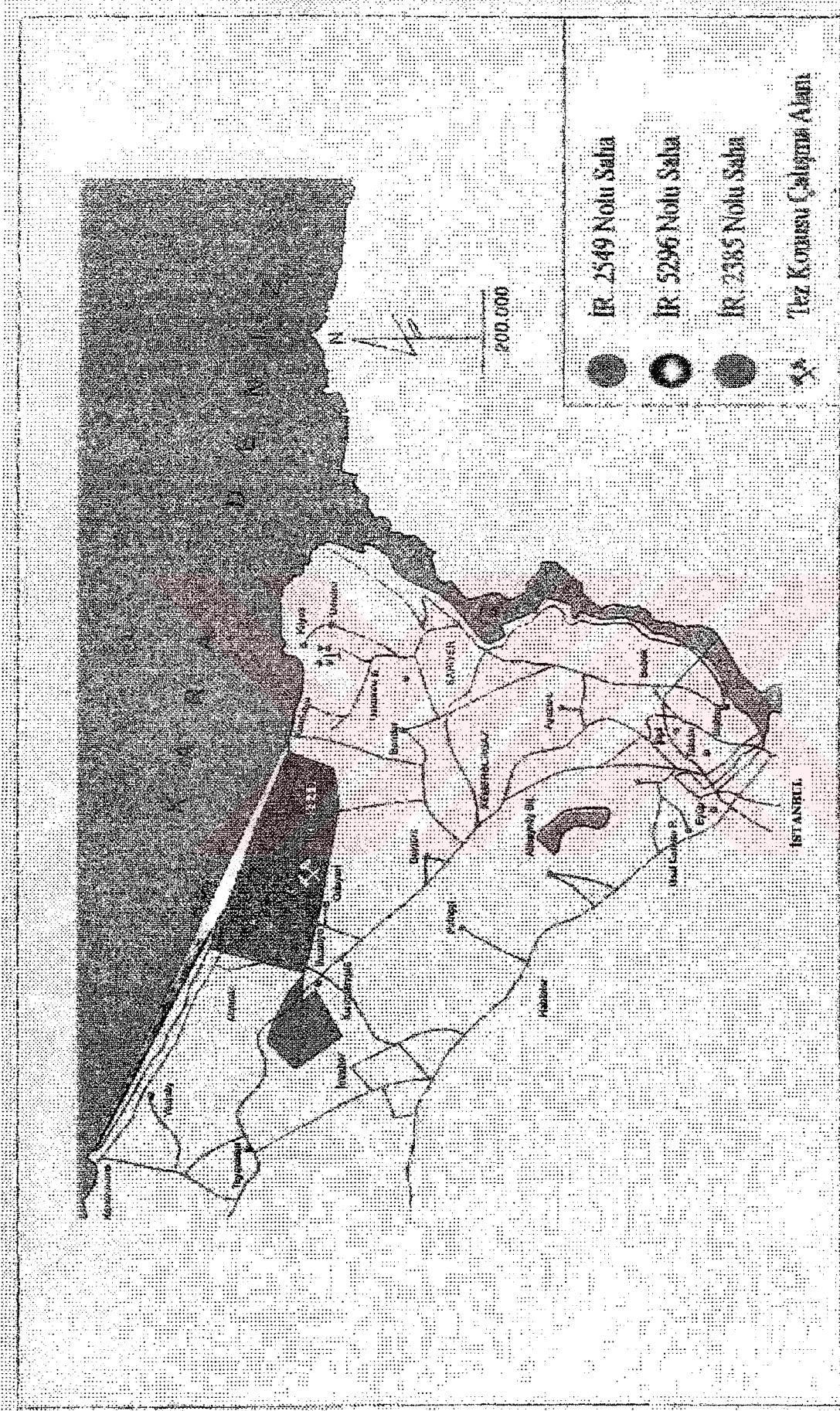
3.1.2. Coğrafya

Çalışma sahası İstanbul ili Eyüp ilçesi sınırları içindedir. Çiftalan Sahası'nın batısında Ağaçlı, doğusunda Kısırkaya köyleri yer almaktadır. Çiftalan köyü yerleşimi, doğu-batı doğrultusunda uzanan kuzey ve güneye doğru yaklaşık 25⁰ eğimli, deniz seviyesinden 110 m yüksekliğe sahip bir sırt üzerindedir. Sahanın genel görünümü Ek-1'deki fotoğrafta gösterilmektedir.

Sahanın kuzeyinde Topaloğlu Açık Kömür İşletmesi'nin ocağı, kuzey batısında Marmara Hafriyat Açık Kömür İşletmesi ocağı, batısında ise Yer Madencilik Açık Kömür İşletmesi ocağı yer almaktadır. Günümüzde bu kömür ocaklarındaki üretim faaliyetleri tamamlanmıştır [23].

3.1.3. İklim

Tipik Marmara Bölgesi iklimi olup, kışları ılık ve genellikle yağışlı, ilkbahar ve sonbaharda fazla yağışlıdır. Şeyrek olarak kar yağışı görülür. Bölgede kuzey rüzgarlarının etkisi görülmektedir [23].



Şekil 3.1 Çiftalan Linyit Sahası'nın Yeri ve Ruhsat Alanları

3.1.4. Araştırma Sahasının Stratigrafisi

Bölgenin genel stratigrafik yapısı üst üste oturmuş üç formasyondan oluşmaktadır. Alttan yukarı doğru kalınlığı tahminen 1500 metreye varan Trakya Formasyonu, 250 metre civarında Sarıyer Formasyonu ve en üstte, yaklaşık 60 m. kalınlığında Belgrad Formasyonu ardanmasıyla sıralanmaktadır [23,24]. Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti Şekil 3. 2’de, kömür oluşumunu içeren Belgrad Formasyonunun jeolojik kesiti ise Şekil 3.3’de verilmiştir

Çiftalan Bölgesinin en yaşlı birimi konglomera, kumtaşı, silttaşı ve şeyl ardanmalarından meydana gelen ve geçirimsiz temeli oluşturan Trakya Formasyonudur. Bu formasyon, Üst Kratese yaşlı andezit, diyabaz, iri kristalli tuf ve kireçtaşlarından meydana gelen Sarıyer Formasyonu ile örtülmüştür. Eski incelemelere dayanılarak Üst Kretase yaşı verilmiştir. Çok dar bir alanda yüzeylenmiş olup, yapılan sondajlarda Tersiyer yaşlı sedimentler istifin altında geçilmiştir. Alterasyon rengi kahverengiden bej rengine kadar değişiklik gösterir. Ayrışmamış kesimler az çatlaklı ve koyu renktedir. Üzerine uyumsuz olarak Tersiyer yaşlı sedimentler gelir.

Bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak, Tersiyer yaşlı çakıl, kum, silt ve killi Belgrad Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyon, kumul çökelleri ile dolgu malzemeler gelmektedir. Tersiyer çökelleri inceleme alanının hemen hemen tamamını oluşturur. Altta marn-kil-kömür, üste doğru kil-kum-çakıl olarak stratifikasyon gösterir. Üst Kretase volkanitleri üzerine uyumsuz olarak gelir. Kendi içlerinde konkordan bir özellik gösteren bu birimler, çok düşük bir açı ($1-4^0$) ile kuzeye doğru eğimlidirler. Eski incelemelere dayanılarak, alttaki marn-kil-kömürlü seviyelere Oligosen yaşı, üstteki kil-kum-çakıl seviyelerine ise Miyosen-Pliyosen yaşı verilmiştir.

Oligosen yaşlı sedimentasyon sırasında çökelen kömür ve Miyosen-Pliyosen yaşlı kil-kum-çakıl birimleri başlangıçta var olan paleotopoğrafyaya bağlı olarak çökelmiştir. Kimi yerde tabakaların ani kalınlaşması veya incilmesi, ayrıca kömür tabakalarının iki veya üç adet olması, öncelikle paleotopoğrafya ile daha sonra da taşınma ortamının özellikleri ile ilgilidir.

Oligosen yaşlı marn-kil-kömür ardanması alttaki Üst kretase yaşı veren altere volkanitler üzerinde uyumsuz (diskordan) olarak gelir. Marn birimi gri-mavi renklerde görülmektedir. Kömür damarları arasında ve alt kömür damarının altında ekonomik öneme sahip olabilecek nitelikte kil tabakaları gözlenmektedir. Yanal ve düşey yönde sık sık kalite farkı gösteren kil seviyeleri, bazen kumlu ve alüminyum oranı %20-25 iken, bazen %50-60’a kadar çıkmaktadır.

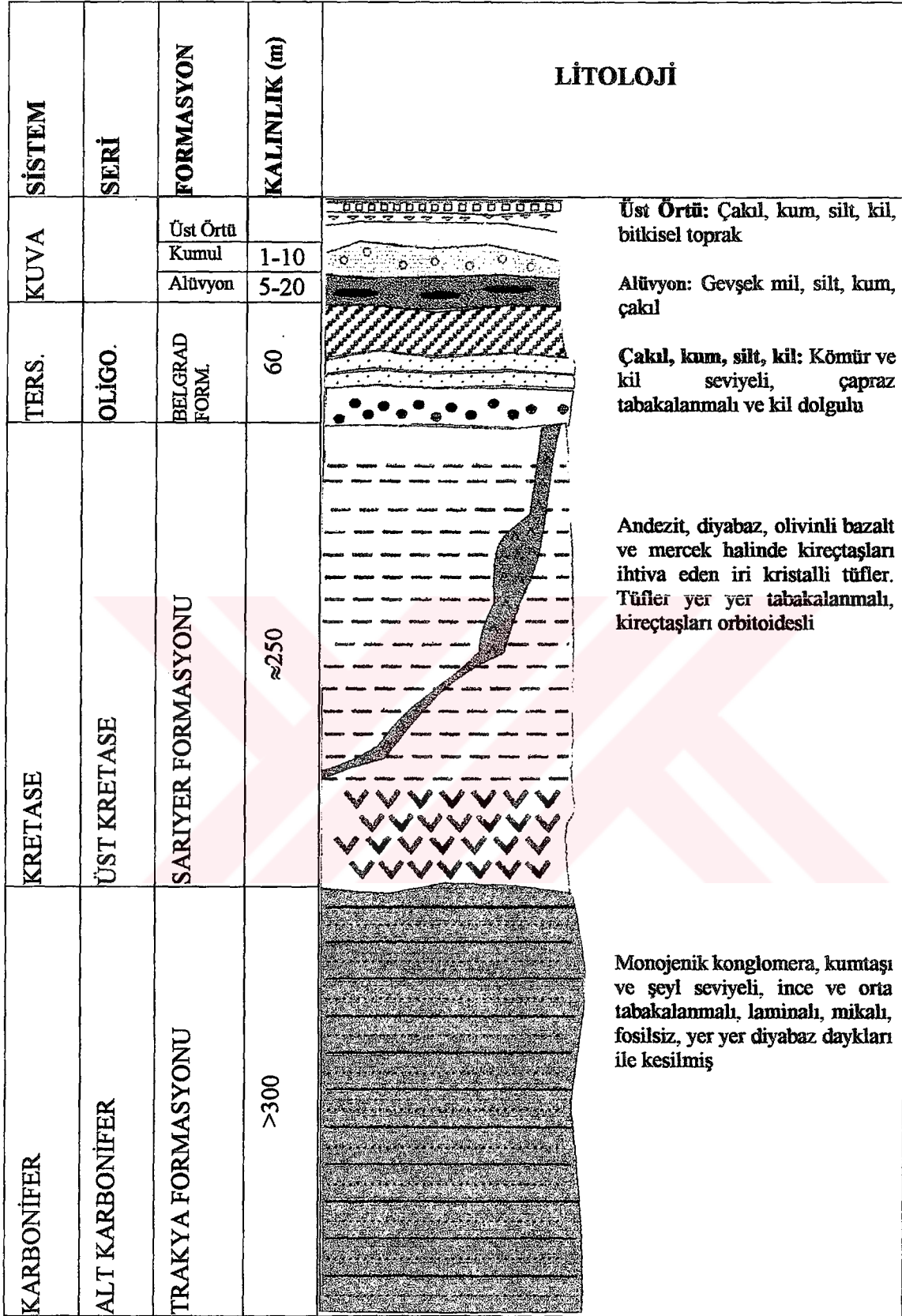
Kil yatakları; killi şist, grovak, feldspatça zengin kayaçların alterasyon örtüsünün aşınması ve taşınması sonucu, tatlı su havzalarında çökmesinden meydana gelir. Tersiyer öncesi paleotopografyanın çeşitli etkenlerle oluşturduğu çanaklarda, Tersiyer süresince devam eden sedimentasyonla meydana gelmiştir. Kil havzalarında genel olan özellik, çalışma alanı yakın çevresinde de görülür. Kömür altı refrakter killer kömüre yakın bağlayıcı ve kaolinitik killer tavanda ise bentonitik killer veya monmorillonitik killer teşekkül etmiştir. Kil grimsi kahve, morumsu gri, yeşilimsi gri renklerde dir. Tabana doğru gidildikçe yeşil renk hakim olmaktadır. Killer içerisinde yoğunluk farkları nedeni ile oluşmuş demir konkreasyonlarına da rastlanır.

Çiftalan bölgesinde üç kömürleşme seviyesi olup, ortalama olarak 3.5 m'lik bir kalınlık göstermektedir. İnceleme alanı ve çevresinde linyitler Oligosen yaşlı kil-marn birimi içinde yer almaktadır. Oluşumları otokton olup, paralellik kömür havzalarında görülen yataklanma özelliğini gösterir. Linyitler yer yer kesintili, bazen de mercek şeklinde oluşumlar gösterir.

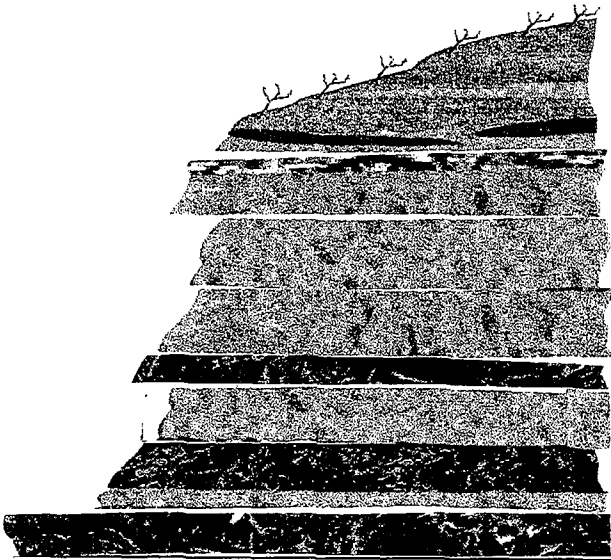
Çiftalan bölgesindeki üç kömürleşme seviyesinden, alt kömür olarak nitelenen kömür damarının kömürleşme derecesinin daha ileri olduğu gözlenmiştir. Rengi genellikle siyah olup, parlak görünüşlüdür. Ortada bulunan damar ise, alt kömüre göre odunsu yapıya sahip olup rengi siyahtan kahverengine değişir. En üstteki kömür damarı ise, Çiftalan Bölgesi yakın civarında, bazen kalınlığının az olması, kil varlığı ve odunsu yapısı nedeni ile değerlendirilememektedir. Çiftalan Bölgesi'nde ise, en üstteki damar ortalama 0.80 m kalınlığa sahiptir.

Miyosen-Pliyosen yaşlı kil-kum-çakıl birimlerinden meydana gelen ardalanma, alttaki marn-kil-kömür seviyesi ile uyumludur ve tabakalanma yataya yakındır. Birimde, kum oranı fazla olup kendi içinde yanal ve düşey yönde geçişler gösterir. Kil seviyeleri yanal olarak zaman zaman kamalanmak suretiyle mercek oluşturmaktadır. Birim içinde kumlu-çakıllı mercekler de gözlenir. Kum ve çakıldan oluşan merceklerde çakıllar kötü boylanmıştır. Çakıllar büyük oranda kuvars, kaya kırıntısı ve az miktarda opak minerallerden meydana gelmiştir.

Kil-kum ve çakıllı merceklerin varlığı ortamın zaman zaman sakinleşip, zaman zaman da hareketlendiğini göstermektedir. Sedimentasyondaki bu değişiklik mevsim farklarına bağlı olabilir. Kil-kum-kaba kum-çakıl seviyelerinin tamamı gevşek, çimentosuz, sıkışmamış (diyajenez ugramamış) tortullardan oluşmaktadır. Bu formasyonlar yapısı itibarıyla heyelan oluşumuna uygundur; nitekim belirli kırıkların meydana geldiği kesimlerde doğal olarak gelişen heyelanlar izlenmektedir [23,24].



Şekil 3.2. Çiftalan Bölgesinin Genelleştirilmiş Stratigrafik Sütun Kesiti [23].

Dikme Kesit	Kalınlık	Litoloji
	1-10 m	Bitkisel toprak-kum-kil
	5-10 m	Kumlu, siltli kum
	8-12 m	Killi, çakıllı, siltli kum (sarımsı)
	5-15 m	Kil-kum-çakıl (yeşilimsi -mavimsi)
	0-1 m	Üst kömür damarı
	5-15 m	Marn-kil-kum (mavi)
	1.5-3 m	orta kömür damarı
	1.2 m	Kil (gri)
	0-1.5 m	Alt kömür damarı

Şekil 3.3. Belgrad Formasyonu Jeolojik Kesiti [25].

Çalışma sahası ve dolaylarında yer alan kumlar, genellikle sarımsı kahve renkli, gri ve kırmızı renklidir. Kumların istif içindeki genel karakterleri büyük değişiklikler göstermemekle beraber, kuvars miktarı yer yer artmaktadır. Kumların tümü sedimanter kökenli olup iyi boylanmışlardır. Bazı bölgelerde kuvars kumu ve kaba inşaat kumu olarak kullanılabilir özellikler sunmaktadır.

Stratigrafik yapı içinde en üstte yer alan Belgrad Formasyonu genellikle yüksek kesimlerde yüzey verir. Mineralojik yapısıyla porozitesi yüksek ve su taşıma niteliği iyidir. Yüzey suları ile beslenme alanı çok dar olduğundan ancak yerel su gereksinimini karşılayabilecek su tutma özelliği gösterir. Belgrad formasyonunun altında yer alan Sanyer ve Trakya Formasyonları ise genellikle geçirimsiz killi yapılar ile yer yer az geçirimli kum ve siltlerden oluşmaktadır. Bölgede önemli bir içme suyu kaynağı görülmediği için bugüne kadar yeraltı su seviyesi ile ilgili detaylı bir çalışma yapılmadığı belirtilmektedir.

Bölgede küçük boyutlu fayların dışında önemli bir tektonik hareket görülmemektedir. Üst kretase ile Tersiyer arasında bir sedimantasyon boşluğu vardır. Çalışma alanında bulunan açık kömür işletmelerinin faaliyetlerinden ve Tersiyer çökellerinin yapısından dolayı yersel oturmalar ve oluşturulan şevlerde heyelanlar oluşmuştur.

Kil-killi kum ve çakıldan oluşan zemin, hidrojeolojik yönden permeabilitesi oldukça yüksek geçirimli bir zemindir. Altındaki Oligosen serisi kil ve marn biriminden oluştuğu için, bu seviyenin geçirimsiz veya çok daha az geçirimli olması doğaldır. Nitekim yeraltı suyu marn-kil ile kum-çakıl kontağından drene olmaktadır. Bu durum kömür işletmeleri içinde bariz bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle köydeki çeşmelerin tamamı kurumuş durumdadır.

Yerleşim yerinin zemin karakteristikleri, topoğrafik durumu ve yağış koşulları dikkate alındığında, bu tür bir sahada, tabii olarak heyelan olayının cereyan etmesi çok normaldir. Heyelanda hareket hızı 2-3 cm/yıl kadardır. Literatür bazında heyelan olayının karakteristik belirtileri; eğrilmiş ağaç gövdeleri, bükülmüş çit sırıkları, telefon direkleri, kırılmış veya yer değiştirmiş istinat duvarları ve demir yolları olarak tarif edilmektedir. Bu tarife uygun hareketler Çiftalan köyü kuzey ve güney yamaçlarında bariz bir şekilde görülmektedir. Heyelan iklim koşulları ile birlikte yamacın eğimine, toprak tipine ve malzemesine bağlıdır. Gevşek, çürük, fazla ayrılmış ve yuvarlak parçalı ayrık malzemeli zeminlerde hareket miktarı çok daha fazla olmaktadır. Çiftalan köyündeki Miyosen-Pliyosen serisi bu şartlara tamamen uymaktadır. Çalışan ocaklarda yeraltı suyunun işletme nedeni ile drene olması da stabiliteyi artırıcı bir faktör olmaktadır [23,24].

3.1.5. Bölgenin Tarihçesi

Bölgede linyit kömürünün varlığı 1909'dan beri bilinmektedir. Bazı girişimciler 1910 yılında bu alanda arama ruhsatnamesi almış, 1918'de kendilerine işletme imtiyazı verilmiş ancak, üretime başlamamaları nedeniyle bu imtiyaz 1927 yılında iptal edilmiştir. Balkan Savaşı sırasında 1912'de Bahriye Nezareti (Denizcilik Bakanlığı) tarafından bu alanda küçük çapta üretim yapılmış fakat sürdürülememiştir.

1. Dünya Savaşı'nın başlamasıyla İngiltere ve Almanya'dan kömür taşımacılığının sona ermesi ve Karadeniz yoluyla Zonguldak'tan kömür getirilmesinin giderek zorlaşması üzerine yeni kömür kaynaklarının aranmasına girişilmiştir. Bu amaçla; Kilyos civarındaki Ağaçalı mevkiinde ve İ.İ. 144 ruhsat nolu sahada (yeni İ.R. 2549) bulunan linyit kömür ocağından çıkarılan kömürler denenmiş ve Ereğli kömürü ile karıştırılması durumunda zararsızca kullanılabilceği anlaşılmıştır.

Ağaçalı'daki bu kömür ocağına Askeri Hükümet tarafından el konulmuş ve Çiftalan'da açılan ikinci bir ocakla birlikte 1915'den itibaren işletilmeye başlanmıştır. Bu ocaklardan çıkarılan kömürün İstanbul'a getirilebilmesi için ilk olarak 1915 yılında Kağıthane ile Ağaçalı mevki arasında 45 km uzunlukta, 1916 yılında ise Çiftalan ile

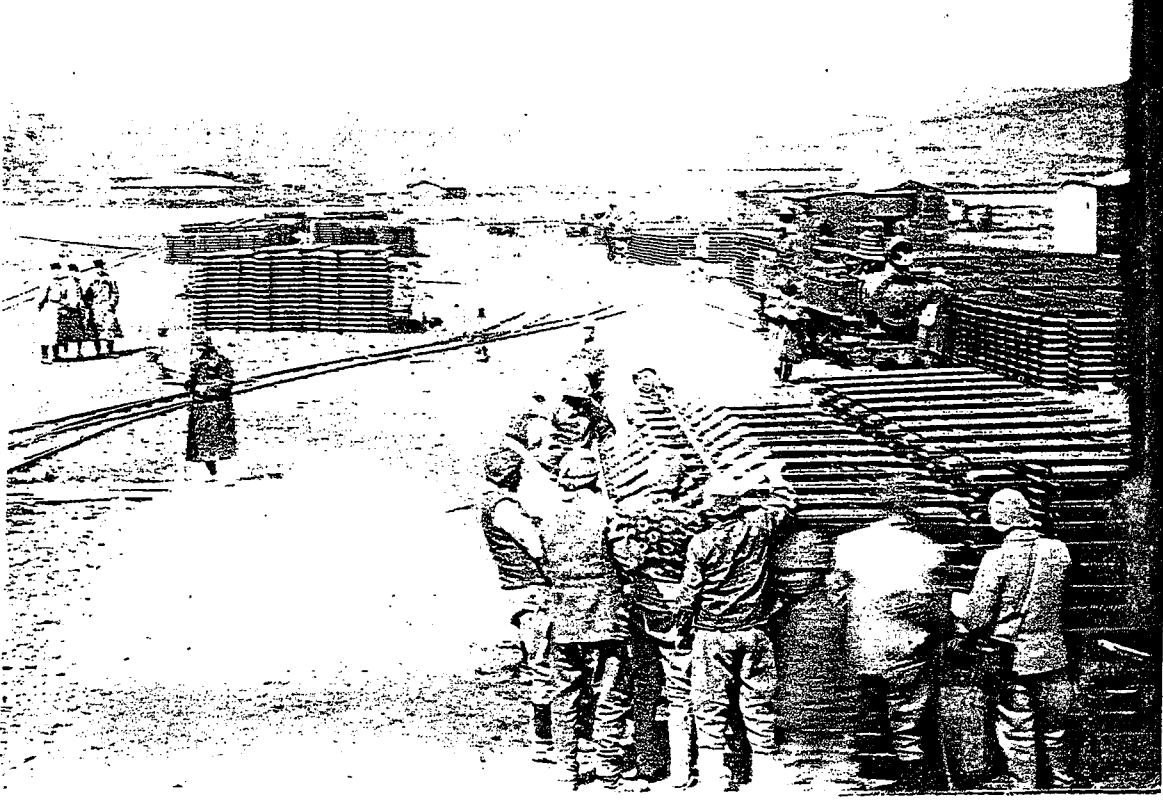
Kemberburgaz arasında 14 km'lik dekovil hattı işletmeye açılmıştır. Her iki hattın ucu Karadeniz kıyısından giden 5 km'lik bir hatla birbirine bağlanmıştır. Dekovil hattının başlangıç noktası Haliç'in sonundaki Silahdarağa mevki (Fotoğraf 3.1) olup hattın toplam uzunluğu 62 km'dir. Bu dekovil hattının adı çeşitli kaynaklarda "Karadeniz Sahra Hattı" veya "Haliç-Karadeniz Sahra Hattı" olarak geçmektedir.

1916 yılından itibaren Ağaçlı ve Çiftalan'daki kömür ocakları askeri makamlar tarafından işletilmiş ve üretim günde 800 tona kadar yükselmiştir. Fotoğraf 3. 2'den anlaşılacağı üzere, kömür üretimi yeraltı işletmeciliği ile yapılmış ve kömürün galerilerden çıkartılması için daha küçük çapta dekovil hatları kullanılmıştır. Dekovil hattı ise 1920'li yıllardan sonra çalışmamış, 1950'li yılların ortalarında bütünüyle sökülüştür.

Karadeniz Sahra Hattı ile kömür ocakları 1922'de ordu tarafından Ticaret Nezareti'ne (Ticaret Bakanlığı) devredilmiştir. Cumhuriyetin ilanından sonra Maden İşleri İktisat Vekaleti (Sanayii ve Ticaret Bakanlığı) tarafından yürütülmeye başlanmıştır. Ağaçlı kömür alanının işletilmesi İktisat Vekaleti tarafından iki kez ihaleye çıkartılmış ancak istekli çıkmadığından, bu alan 1928 yılından sonra terk edilmiştir. II. Dünya Savaşının başlaması üzerine İstanbul bölgesinin elektrik ve yakıt gereksinimini güven altına almak gerekçesiyle Ağaçlı linyitleri yeniden gündeme gelmiş ve Maden Tetkik Arama Enstitüsü tarafından 1942 ve 1948 yıllarında bu bölgede iki kez inceleme yapılmıştır.

II. Dünya Savaşının ardından Zonguldak bölgesi kömürlerinin ülke çıkarlarına daha uygun ve daha ekonomik kullanılması, buna karşılık linyitin ise işletilebilir rezervlerin olduğu bölgelerde arama ve üretim olanaklarının artırılması biçiminde bir kömür politikası oluşturulmuştur. Bu eğilim doğrultusunda Çiftalan linyitlerinin Etibank tarafından işletmeye açılması kararlaştırılmıştır. Etibank, bölgede 1949 yılı sonunda açık işletme yöntemi ile üretime başlamış, ancak kömür damarlarının jeolojik durumlarının üretime uygun bulunmaması ve üretim maliyetinin yüksek olduğu gerekçesiyle 1951'de üretime son verilmiştir.

1954 yılında işletme imtiyazlı olan bu kömür sahası 4/3520 sayılı Bakanlar Kurulu Kararnamesi ile Kutman Tic. ve Ltd. Şti. uhdesine ihale olunmuştur [25].



Fotoğraf 3.1. Haliç'de Dekovil Hattının Başlangıç Noktası ve Silahdarğa Termik Santrali [25].



Fotoğraf 3.2. 1916-1922 Yılları Arası Askeri Makamlar Tarafından İşletilen Karadeniz Kıyısındaki Kömür Ocağı [25].

3.1.6. Sahanın Hukuki Durumu

İstanbul-Ağaçlı Bölgesi içinde yer alan 9572 ha büyüklüğünde 3 işletme ruhsatlı (İ.R 5296, İ.R 2549, İ.R 2385) sahada 1954 yılından beri Kutman Şirketler Topluluğu tarafından açık işletme faaliyetleri ile linyit üretimi ruhsat sahasının kuzeyinde Karadeniz'e dolgu yapılmak suretiyle sürdürülmektedir. Çiftalan Linyit Sahası, İ.R. 2549 nolu ruhsat sahasının içindedir (Şekil 3.1). Söz konusu ruhsat sahası İstanbul F21-b3, b4, c1, c2 numaralı 1/25 000'lik paftalarda yer almaktadır. Ruhsat sahaları içinde orman, hazine, köy tüzel kişiliklerine ait araziler ile özel mülkiyet arazileri bulunmaktadır. 9572 ha büyüklüğündeki alanın 6000 ha'lık kısmı orman arazisi, 1000 ha kadarlık bir bölümü hazine arazisi olup, ayrıca 1-2 km arasında denizde dolgu yapılmış bir alan bulunmaktadır.

İ.R. 2549 ruhsat nolu sahadanın güney ve doğu taraflarında Çiftalan Linyit Sahası'nın çevresinde bulunan tüm açık işletmeler üretim faaliyetlerini tamamlamıştır. Dolayısıyla söz konusu şirket, sadece Çiftalan Linyit Sahası'nda açık işletme ile üretim yapmamıştır. Şirket yetkilileri ile yapılan görüşmeler neticesinde, sahada ekonomik değeri olan linyit damarlarının Çiftalan Köyü'nün yaklaşık 55 m (yüzeeye yakın) altında olmasına rağmen, şirketin geçmiş dönemlerde açık işletme faaliyeti yapmayı düşündüğü anlaşılmıştır. Ancak linyit sahası üzerindeki arazinin yaklaşık 2 217 000 m²'lik kısmının şirkete ait ve sorun teşkil etmeyen araziler olmasına rağmen; köy tüzel kişiliklerine ve üçüncü şahıslara ait toplam 172 000 m² arazinin olması ve bu şahısların arazilerini şirkete satmayı kabul etmemelerinden dolayı açık işletme faaliyeti yapmak mümkün olmamıştır. Bu durum halen devam etmektedir. Kutman Limited Şirketi de Çiftalan Linyit Sahası'nda ki linyitin yeraltı üretim yöntemi ile çıkarılması yönünde geçmişte çalışma yapmamıştır [26].

Yukarıda değinilen nedenlerden dolayı, Kutman Limited Şirketi'nin de kabul etmesi üzerine, bu tez çalışmasında Çiftalan Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi amaçlanmıştır.

3.2. Arazi ve Laboratuvar Çalışma Sonuçları

3.2.1. Çiftalan Linyit Sahasının Geometrisi

Çiftalan Linyit Sahasında 1988-1991 yıllarında jeolojik ve sondajlı etüt çalışmaları ile işletme sahasında 26 adet sondaj kuyusu ile 1 570 m sondaj yapılmıştır [27]. Sahada yapılan rezerv arama sondajlarının mevcut stampları ayrı ayrı incelenerek

değerlendirilmiş ve elde edilen neticeler Tablo 3.1'de detaylı olarak verilmiştir. Yapılan sondajların stampları incelendiğinde, sondajların tümünde kömür analizleri ve yoğunluk tespitleri yapılmamıştır.

Tablo 3.1. Çiftalan Linyit Sahasında Yapılan Sondajların Verileri [27]

Sondaj No	Koordinatlar		Kot Z	Kömüre Giriş Mesafesi (m)			Kömürden Çıkış Mesafesi (m)		
	X	Y		Üst Damar	Orta Damar	Alt Damar	Üst Damar	Orta Damar	Alt Damar
1	68 975	59 600	98.50	56.50	65.10	70.00	57.30	67.20	70.90
2	69 015	59 780	98.20	58.00	67.50	71.50	59.00	69.50	72.60
3	68 875	59 700	65.00	18.00	29.00	34.20	19.00	31.10	34.30
4	68 810	59 550	65.00	-	17.00	23.90	-	19.30	24.00
5	68 765	59 575	50.00	-	10.20	-	-	10.40	-
6	68.725	59 560	48.00	-	6.00	-	-	6.20	-
7	68 755	59 610	55.00	-	9.50	-	-	11.00	-
9	68.570	59.650	66.00	-	-	-	-	-	-
10	68 590	59 740	72.00	-	24.00	-	-	25.50	-
11	68 515	59 800	72.00	16.00	24.75	29.25	16.40	26.50	29.75
12	68 414	59 720	50.00	-	-	-	-	-	-
13	68 820	69 655	55.50	5.30	16.00	19.70	6.00	18.20	20.00
14	68 775	59 650	56.00	-	13.00	17.70	-	15.40	18.40
15	68 875	59 825	92.25	52.50	62.50	67.50	53.00	64.75	68.75
16	69 075	59 950	104.40	-	62.25	74.75	-	65.00	75.75
17	68 900	60 525	118.00	72.20	80.00	83.50	73.00	82.60	84.70
18	68 790	60 725	89.00	51.00	62.00	-	51.80	65.50	-
19	68 650	60 650	106.00	50.50	63.50	67.00	51.20	66.15	68.00
20	68 750	60 675	85.60	49.70	59.50	63.20	50.40	62.20	64.55
21	68 510	60 870	94.50	54.00	65.00	67.00	54.75	66.00	67.50
22	68 875	60 860	89.50	55.50	69.00	71.80	56.30	71.50	72.70
23	68 620	60 940	83.40	50.00	59.50	-	50.80	62.10	-
24	68 440	61 050	107.40	67.90	77.50	84.40	68.70	79.50	85.00
25	69 005	60 750	100.00	70.00	82.50	-	70.75	85.40	-
26	69 084	60 510	108.50	78.00	94.00	-	79.00	95.00	-

Sahada yapılan arazi çalışmaları, sahanın mevcut durumunu gösteren jeolojik ve imalat haritalarının incelemeleri ve şirket yetkilileri ile yapılan görüşmeler neticesinde; sahanın çevresinde önceki yıllarda faaliyet gösteren açık işletme çalışmalarından dolayı, sahada üretimi düşünülen linyit damarının sınırları; faaliyetleri biten söz konusu açık işletmelerin, Çiftalan Linyit Sahası ile olan sınırları olarak tespit edilmiştir.

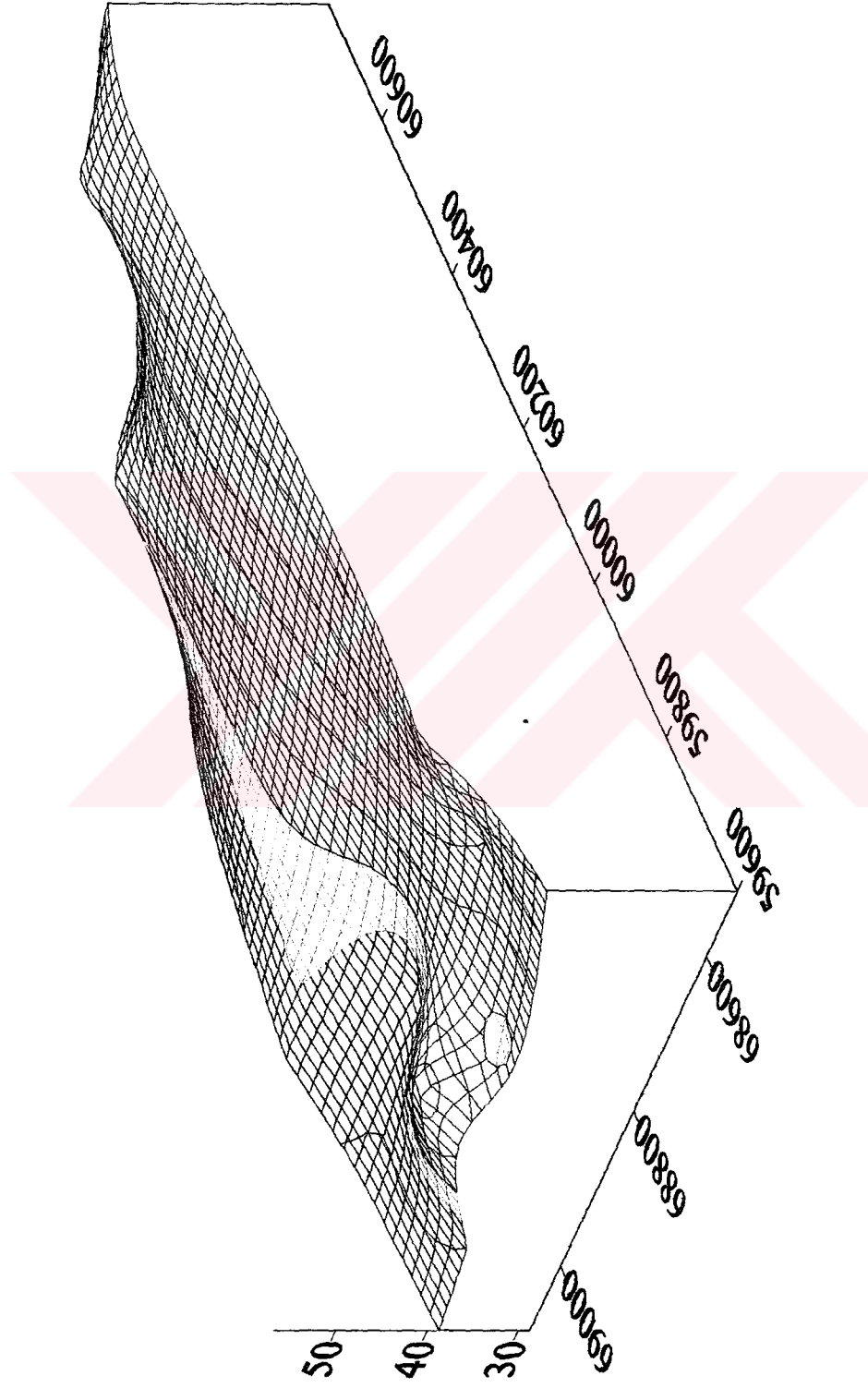
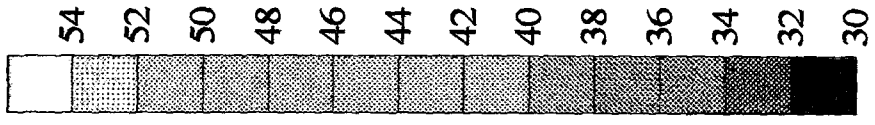
Çiftalan Linyit Sahası'nın geometrisini, linyit damarlarının durumunu ortaya koymak amacıyla Ek-II'de sahayı gösteren harita [27] incelenmiş ve harita üzerinde yatay yönde bir baz hattı oluşturularak, düşey yönde 100 m aralıklarla kesitler alınmıştır. Kesitlerin gösterilmesinde SURFER 6.02 Programı [28] uygulanmıştır. Programın uygulanabilmesi için sahada yapılan sondaj verilerinden yararlanılmıştır. Sahada daha önce yapılmış olan ve Ek-II'deki haritada yer alan sondajların yüzey topoğrafyasının X, Y, Z koordinat değerleri ile her sondajın yüzeyden kömür damarına giriş ve çıkış mesafeleri programın data dosyalarına işlenmiştir. Programın uygulanması sonucunda elde edilen kesitler Ek-III'de [28] verilmiştir.

Ayrıca Ek-II'de gösterilen kesitler üzerinde linyit damarlarının konumu dikkate alınarak +30 ve +40 kotlarında yatay kesitler alınmış ve bu yatay kesitlerin her kesitte linyit damarlarını kestiği koordinatlar, Ek-II'deki haritada kesit doğruları üzerine işaretlenerek birleştirilmiş ve linyit damarlarının +30 ve +40 kotlarındaki durumu Ek-II'deki harita üzerine aktarılmıştır.

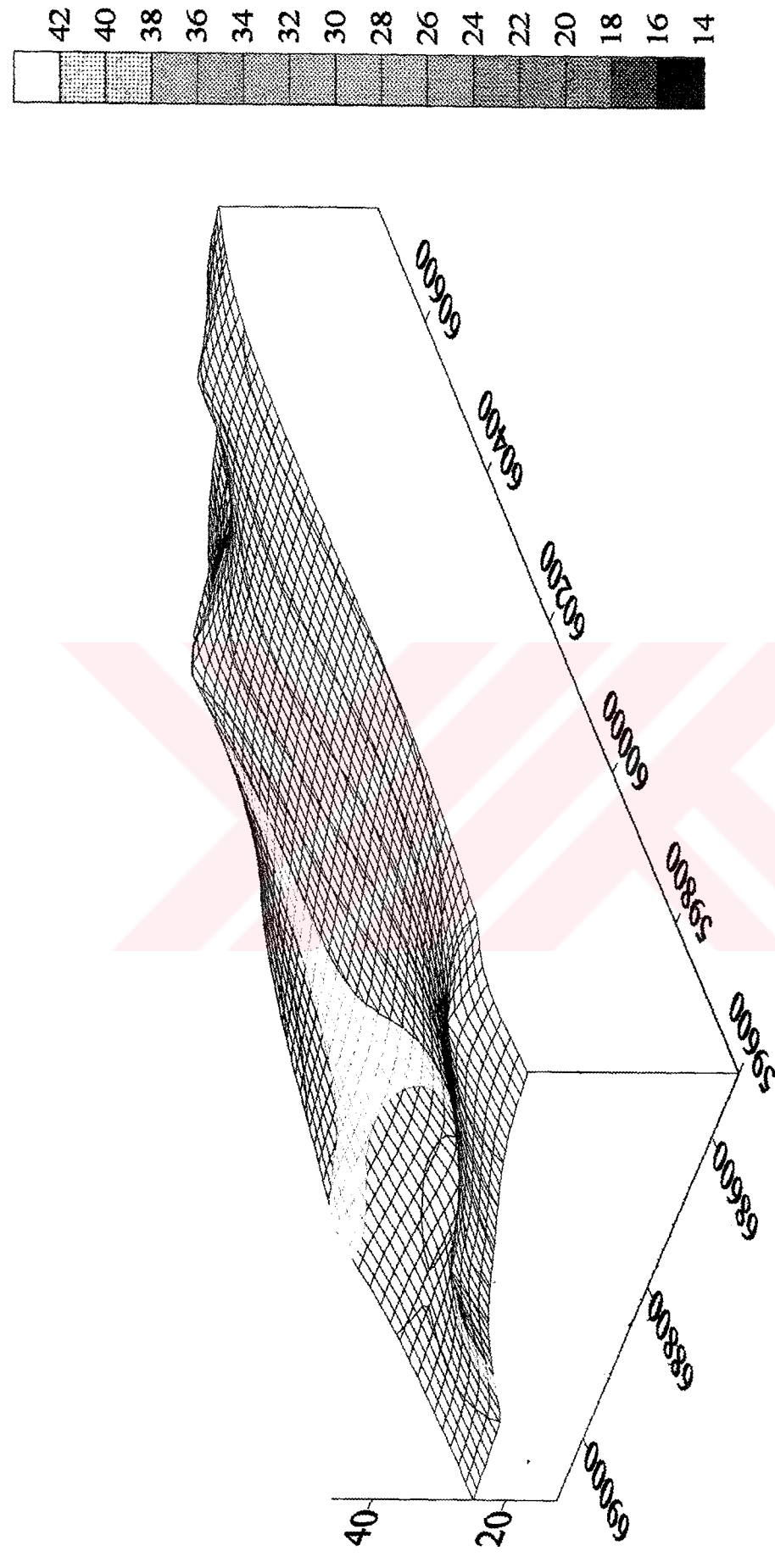
Linyit yatağının geometrisi ve blok diyagramı çıkarmak için de SURFER 6.02 Programı kullanılmıştır. Programın çalıştırılması sonucunda Çiftalan Linyit Sahası'na ait tavan (Şekil 3.4) ve taban (Şekil 3.5) blok diyagramları elde edilmiştir.

Sondaj ve saha verileri kullanılarak yapılan çalışma sonucunda, Çiftalan Linyit Sahası'nın geometrisi ile ilgili elde edilen bilgiler aşağıda verilmiştir.

- i. Eğim: $1-10^0$, ortalama 5^0 (N)
- ii. Kalınlık: ortalama 2.3 m
- iii. Uzunım : ortalama 1000 m (SW-NE)
- iv. Geometrik şekli : damar
- v. Cavher-yantaş kontak durumu : az miktarda belirgin
- vi. Derinlik : Ortalama 55 m
- vii. Yeryüzü koşulları : tasman ve heyelan tehlikesi yönünden kısıtlı



Şekil 3.4. Çiftalan Linyit Sahasının Tavan Blok Diyagramı [28]



Şekil 3.5. Çiftalan Linyit Sahasının Taban Blok Diyagramı [28]

3.2.2. Çiftalan Linyit Sahasının Rezerv Hesabı

Çiftalan Linyit Sahası'nın rezerv hesabında poligon yöntemi uygulanmıştır. Kömür kesen sondajlar, loglarında mevcut koordinat değerlerine göre 1/2000 ölçekli plan [27] üzerine taşınarak, her sondajın etki alanı oluşturulmuş ve Ek-IV'deki poligon haritası meydana getirilmiştir. Rezerv hesabında aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

- Kömür kesen sondajlar tek tek incelenerek üretilebilir damar kalınlıkları saptanmıştır. Bu sondajlara ait bilgiler Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Buna göre sahada üç adet linyit damarı tespit edilmiştir. Ortalama kalınlığı 2.3 m olan ana (orta) linyit damarı üretilebilir damar kalınlığı olarak saptanmıştır. Ortalama kalınlığı 0.8 m olan üst damar ve 0.6 m olan alt damar üretilebilir kalınlığa dahil edilmemiştir.
- Sahada yapılan sondajlarda kömürün yoğunluk tespiti yapılmamıştır. Bu nedenle sahadan alınan kömür numuneleri ile laboratuvarında yoğunluk tespiti yapılmış kömür damarının yoğunluğu sabit bir değer olarak alınmıştır.
- Jeolojik emsal olarak, sondajların sıklığı, kesilen damar kalınlıklarının yanal değişimleri, fay sınırına yakınlıkları gibi parametreler dikkate alınarak 0.8-1.0 değerleri kullanılmıştır.
- Üretim kaybı %10 alınmıştır. Ancak bu değer seçilecek üretim yöntemine göre değişebilir.
- Poligon alanı (Tablo 3.2), kesilen üretilebilir kömür kalınlığı, jeolojik emsal, ortalama yoğunluk değeri ve üretim kaybı çarpılarak, her sondajın temsil ettiği rezerv hesaplanmıştır.

Yukarıda bahsedilen hususlar dikkate alınarak yapılan rezerv hesaplaması sonucunda Çiftalan Linyit Sahası'nın üretilebilir rezerv miktarı 2 578 000 ton olarak belirlenmiştir. Söz konusu sahanın rezerv hesabı Tablo 3.2'de detaylı olarak verilmiştir

Tablo 3.2. Çiftalan Linyit Sahasının Poligon Yöntemiyle Rezerv Hesabı

Sondaj No	Poligon Alanı (m ²)	Kömür Kalınlıkları (m)		Jeolojik Faktör	Üretim Kaybı	Yoğunluk (ton/m ³)	Rezerv Miktarı (ton)
		Toplam	Üretilebilir				Üretilebilir
1	37 300	3.80	2.10	0.85	0.9	1.3	77 900
2	72 700	4.10	2.00	0.90	0.9	1.3	153 100
3	13 400	3.10	2.10	0.85	0.9	1.3	28 000
10	26 900	1.50	1.50	0.90	0.9	1.3	42 500
11	61 200	2.65	1.75	0.90	0.9	1.3	112 800
13	4 400	3.20	2.20	0.85	0.9	1.3	9 600

Tablo 3.2. (Devamı)

14	17 500	3.10	2.40	0.85	0.9	1.3	41 800
15	88 800	4.00	2.25	1.00	0.9	1.3	233 800
16	203 000	3.75	2.75	1.00	0.9	1.3	653 100
17	115 300	4.60	2.60	0.95	0.9	1.3	333 200
18	29 000	4.30	3.50	0.90	0.9	1.3	106 900
19	129 600	4.35	2.65	0.85	0.9	1.3	341 500
20	23 200	4.75	2.70	0.90	0.9	1.3	66 000
25	58 500	3.65	2.90	0.95	0.9	1.3	188 600
26	170 000	2.00	1.00	0.95	0.9	1.3	189 000
Toplam	1 050 800	(3.52)	(2.30)	0.9	0.9	(1.3)	2 578 000

3.2.3. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deney Sonuçları

Çiftalan Linyit Sahası için en uygun yeraltı üretim yönteminin araştırılmasında, kaya mekaniği deneyleri ve sonuçları büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, kaya birimlerinin özelliklerini belirlemek, sınıflamasını yapmak ve kayanın doğal durumunu daha iyi anlayabilmek için çeşitli kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır.

Arazide linyit seviyelerinin hemen üzerindeki kaya birimlerinde yapılan Schmidt Çekici deneylerinde, ölçüm alınabilen kaya birimlerinin ölçülen değerlerine göre kaya sertlik tasviri yapılmış ve tek eksenli basma dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca sahadan alınan linyit numuneleri üzerinde İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü kaya mekaniği laboratuvarında Nokta Yükleme Deney Düzenegi kullanılarak numunelerin indirekt çekme ve basma dayanımları belirlenmiştir.

3.2.3.1. Schmidt Çekici Deneyleri

Bu bölge jeolojisini oluşturan kömür, marn ve kil-kum-çakıl birimlerinin sertlik değerlerinin bulunabilmesi için, arazide yerinde yapılan Schmidt Çekici deneyleri sonucunda, formasyonların Schmidt Çekici sertlik skalasındaki yerleri belirlenerek kaya sertliği tasviri, Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nce öngörülen standartlar (ISRM) esasına göre yapılmıştır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Schmidt Çekici Değerlerine Göre Kaya Sertliği Tanımı [29]

SCHMİDT ÇEKİCİ DEĞERLERİ	SCHMİDT SERTLİĞİ
0 – 10	Yumuşak
10 – 20	Az Yumuşak
20 – 40	Az Sert
40 – 50	Sert
50 – 60	Oldukça Sert
> 60	Çok Sert

Tablo 3.4. Sarımsı Kil-Kum-Çakıl Biriminde Yapılan Schmidt Çekici Deney Sonuçları

Lokasyon : Çiftalan (Batı) Formasyon : Kil-kum-çakıl Çekiç Konumu : Yatay			
Nokta No	Schmidt Çekiç Değeri	Nokta No	Schmidt Çekiç Değeri
1	12	6	13
2	13	7	14
3	12	8	14
4	14	9	13
5	13	10	14
Aritmetik Ortalama		13.2	
Standart Sapma		0.79	
Yüzde Standart Sapma (%)		5.98	
Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)		15	
Kaya yapısının Schmidt sertlik skalasındaki yeri az yumuşak olarak belirlenmiştir.			

Tablo 3.5. Yeşilimsi Kil-Kum-Çakıl Biriminde Yapılan Schmidt Çekici Deney Sonuçları

Lokasyon : Çiftalan (Batı) Formasyon: Kil-kum-çakıl Çekiç Konumu: Yatay			
Nokta No	Schmidt Çekiç Değeri	Nokta No	Schmidt Çekiç Değeri
1	28	6	29
2	29	7	27
3	30	8	27
4	27	9	28
5	30	10	30
Aritmetik Ortalama		28.5	
Standart Sapma		1.27	
Yüzde Standart Sapma (%)		4.45	
Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)		28	
Kaya yapısının Schmidt sertlik skalasındaki yeri az sert olarak belirlenmiştir.			

Tablo 3.6. Kömür Formasyonunda Yapılan Schmidt Çekici Deney Sonuçları

Lokasyon: Çiftalan (Batı)		Formasyon: Kömür	
Nokta No	Schmidt Çekiç Değeri	Nokta No	Schmidt Çekiç Değeri
1	26	6	38
2	28	7	48
3	30	8	50
4	38	9	44
5	40	10	46
Aritmetik Ortalama		38.8	
Standart Sapma		8.49	
Yüzde Standart Sapma (%)		21.88	
Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)		39	
Kaya yapısının Schmidt sertlik skalasındaki yeri az sert olarak belirlenmiştir.			

3.2.3.2. Nokta Yükleme Deneyleri

Sahadaki kömür, formasyonundan alınan numunelerle laboratuvarında yapılan nokta yükleme deneyinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Deneylerin sonuçlarından yararlanarak, indirekt olarak bu formasyonların tek eksenli basma ve çekme dayanımları ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. Çiftalan Linyit Sahası Kömürlerinin Nokta Yükleme Deney Sonuçları

Numune No	Çap (mm)	Kırılma Yüktü		Is kPa	F	Is(50)		T.E.B.D. MPa	T.E.Ç.D MPa
		Bar	kN			kPa	MPa		
1	58	13,00	2,55	759,23	1,07	811,67	0,81	17,86	1,01
2	55	17,50	3,44	1136,57	1,04	1186,38	1,19	26,10	1,48
3	42	17,30	3,40	1926,78	0,92	1781,39	1,78	39,19	2,23
4	59	11,00	2,16	620,83	1,08	668,84	0,67	14,71	0,84
5	49	31,00	6,09	2536,61	0,99	2513,66	2,51	55,30	3,14
6	46	20,00	3,93	1856,95	0,96	1788,56	1,79	39,35	2,24
7	45	9,50	1,87	921,69	0,95	879,01	0,88	19,34	1,10
8	47	60,00	11,79	5336,30	0,97	5189,77	5,19	114,17	6,49
9	36	24,00	4,72	3638,24	0,86	3138,27	3,14	69,04	3,92
10	63	12,00	2,36	594,00	1,11	659,10	0,66	14,50	0,82
Ortalama						1861,66	1,86	40,96	2,33
Standart Sapma						1435,12	1,44	31,57	1,79
Kaya Biriminin T.E.B.D'na göre dayanım sınıfı [29]						Zayıf			
Is: Düzeltilmemiş Nokta Yük Dayanımı, Is(50): Düzeltilmiş Nokta Yük Dayanımı, F: Düzeltme Katsayısı									
T.E.B.D: Tek Eksenli Basma Dayanımı, T. E.Ç.D: Tek Eksenli Çekme Dayanımı									

3.2.3.3. Yoğunluk Deneyi

Sahada yapılan sondajlarda linyitin yoğunluk tespiti yapılmamıştır. Bu nedenle sahadan alınan linyit numuneleri ile laboratuvarında kuru yoğunluk testi yapılmış linyitin yoğunluğu 1.3 ton/m^3 olarak tespit edilmiştir.

3.2.3.4. Kimyasal Analiz Sonuçları

Sahadan alınan linyit numunelerinin laboratuvarında kimyasal analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Linyit Kimyasal Analiz Sonuçları

	Orjinalde Kömürde (%)
Su	33.30
Kül	7.50
Uçucu Madde	32.20
Sabit Karbon	26,20
Toplam Kükürt	0,80
A.I.D.(Kcal/kg)	3100,00

3.3. Çiftalan Linyit Sahası İçin Optimum Yeraltı Üretim Yöntemi Seçimi

Bu çalışma, İstanbul'un 35 km. kuzeyinde yer alan Oligosen yaşlı Belgrad Formasyonunda oluşmuş olan Çiftalan Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yöntemi seçiminin araştırılmasına dayanmaktadır.

Çiftalan Linyit Sahası'nın çevresinde bulunan tüm açık işletmeler üretim faaliyetlerini tamamlamıştır. Dolayısıyla söz konusu şirket, sadece Çiftalan Linyit Sahası'nda açık işletme ile üretim yapmamıştır. Şirket yetkilileri ile yapılan görüşmeler neticesinde, sahada ekonomik değeri olan linyit damarlarının Çiftalan Köyü'nün yaklaşık 55 m (yüzeye yakın) altında olmasına rağmen, şirketin geçmiş dönemlerde açık işletme faaliyeti yapmayı düşündüğü anlaşılmıştır. Ancak linyit sahası üzerindeki arazinin yaklaşık $2\,217\,000 \text{ m}^2$ 'lik kısmının şirkete ait ve sorun teşkil etmeyen araziler olmasına rağmen; köy tüzel kişiliklerine ve üçüncü şahıslara ait toplam $172\,000 \text{ m}^2$ arazinin olması ve bu şahısların arazilerini şirkete satmayı kabul etmemelerinden dolayı açık işletme faaliyeti yapmak mümkün olmamıştır. Bu durum halen devam etmektedir. Kutman Limited Şirketi ise Çiftalan Linyit Sahası'ndaki linyitin yeraltı üretim yöntemi ile çıkarılması yönünde geçmişte çalışma yapmamıştır. Bu nedenle sahada mevcut kalan rezervin yeraltı üretim yöntemiyle çıkarılması zorunlu hale gelmiştir.

Yukarıda değinilen nedenlerden dolayı, Kutman Limited Şirketi'nin de kabul etmesi üzerine, bu tez çalışmasında Çiftalan Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi amaçlanmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda, öncelikle söz konusu sahada üretim yöntemi seçimini etkileyen linyit yatağının fiziksel ve jeolojik karakteristikleri, cevher, tavan ve taban formasyonlarının jeoteknik parametreleri ve çevresel parametreler Tablo 3.9'da verildiği gibi özetlenmiştir :

Tablo 3.9. Alternatif Yöntemler İçin Hesaplanan Teknik Kriterler

Kriterler	Açıklamalar
Kömür yatağının geometrik şekli	Levha şeklinde (damar)
Kömür damarı kalınlığı	Ortalama 2.3 m
Damar eğimi	Eğim 1-10 ⁰ ortalama 5 ⁰ (kömür damarı yatay)
Kazının yapıldığı derinlik	Ortalama 55 m
Kömürün sağlamlık derecesi	Düşük dayanımlı (Tek eks. basma dayan. 41 MPa)
Damar –yantaş kontak durumu	Belirgin değil
Tavan taşının sağlamlık derecesi	Tavan taşı marn-kil-kum, düşük dayanımlı kaya (Tek eksenli basma dayanımı 28 MPa, kayma dayanımı 2.2 kg/cm ²)
Taban taşının sağlamlık derecesi	Taban taşı kil, düşük dayanımlı (kayma dayanımı 2.2 kg/cm ²)
Tasman etkisi	Damar yüzeye yakın, tavan taşı düşük dayanımlı, tasman tehlikesi var
Tahkimat gerekliliği	Tavan ve taban taşı çok düşük dayanımlı olduğundan tahkimat zorunlu
Yerleşim alanlarının yakınlığı	Kömür damarı üzerinde Çiftalan köyü var
Kömürün yanma özelliği	Kendiliğinden yanma özelliğine sahip
Hidrolik koşullar	Sahanın kuzeyinde Karadeniz var, su problemi var

Söz konusu saha için yeraltı üretim yöntemi seçiminde en uygun yöntemin Tablo 3.10'da verilen yöntemler (alternatifler kümesi) arasından seçilmesi düşünülmektedir. Tablo 3.10'da verilen yöntemler, Çiftalan Linyit Sahasındaki linyit yatağının fiziksel ve jeolojik karakteristikleri dikkate alınarak, mevcut yeraltı üretim yöntemleri arasında yapılan ön değerlendirme sonucunda söz konusu sahada uygulanabilirliği muhtemel olan yöntemler olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.10. Alternatif Üretim Yöntemleri

	Alternatif Yöntemler
A ₁	Meyil Yükselme Yönünde Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A ₂	Meyil Alçalma Yönünde Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A ₃	İlerletimli Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A ₄	Geri Dönümlü Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A ₅	Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi

Prosedür gereği, seçimi etkileyen bu kriterlerin çeşitli çözüm metotları ile (lineer programlama, uzman sistemler, uzman görüşleri vb.) analizi yapılarak çeşitli dilsel sonuçlar elde edilmiştir (bu çalışmada uzman görüşlerinden yararlanılmıştır). Böylece her bir sistemin (alternatifin) sahip olduğu avantajlar görülmüştür. Bu analizlerin bir kısmı aşağıda görülmektedir [30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41]:

- Kömür yatağının geometrik boyutuna göre yöntemler karşılaştırıldığında A_3 en iyisidir.
- Kömür damar kalınlığına göre A_3 en iyi yöntemdir.
- Damar eğimine göre yöntemler arasında en uygunu A_5 dir.
- Kazının yapıldığı derinlik açısından A_3 en iyisidir.
- Kömürün sağlamlık derecesine göre A_5 en iyi yöntemdir.
- Tavan taşının sağlamlık derecesi açısından A_5 en iyisidir.
- Taban taşının sağlamlık derecesine göre A_5 en uygun yöntemdir.
- Hidrolik koşullara uygunluk bakımından en uygun yöntem A_1 dir.
- Kömürün yanma özelliğine göre A_3 en iyisidir.
- Yerleşim alanlarına yakınlık bakımından A_5 en uygun yöntemdir.

Tablo 3.11’de ise yöntem seçiminde etkili kriterler özetlenmiş ve daha sonra optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi prosedürü aşağıda verilmiştir :

Tablo 3.11. Yeraltı Üretim Yöntemi Seçiminde Göz Önüne Alınan İşlem Kriterleri

Kriterler	Seçim Parametreleri	Kriterler	Seçim Parametreleri
C1	Kömür yatağının geometrik şekli	C10	Tahkimat gerekliliği
C2	Kömür damarı kalınlığı	C11	Yerleşim alanlarının yakınlığı
C3	Damar eğimi	C12	Kömürün yanma özelliği
C4	Kazının yapıldığı derinlik	C13	Metan gazının varlığı
C5	Kömürün sağlamlık derecesi	C14	Hidrolik koşullar
C6	Kömür damarı –yantaş kontak durumu	C15	Üretim maliyeti
C7	Tavan taşının sağlamlık derecesi	C16	Sermaye maliyeti
C8	Taban taşının sağlamlık derecesi	C17	Üretim oranı
C9	Tasman etkisi	C18	İşe yararlık ve emek maliyeti

Burada, alternatif sistemler kümesi $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$ ve kriterler kümesi $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_{18}\}$ şeklinde belirlenmiştir. Karar verici daha sonra yukarıda elde edilen analiz sonuçlarından ve uzman görüşlerinden [30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41]de yararlanarak aşağıda görüldüğü gibi her bir kriter için alternatiflerin alacağı üyelik derecesini belirlemiştir (her bir kriter için hangi sistemin daha avantajlı olduğu belirlenmiştir).

$$\begin{aligned}
C_1 &= \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.95/A_3, 0.90/A_4, 0.85/A_5\} \\
C_2 &= \{0.75/A_1, 0.80/A_2, 0.88/A_3, 0.85/A_4, 0.82/A_5\} \\
C_3 &= \{0.70/A_1, 0.65/A_2, 0.87/A_3, 0.85/A_4, 0.92/A_5\} \\
C_4 &= \{0.70/A_1, 0.75/A_2, 0.90/A_3, 0.80/A_4, 0.65/A_5\} \\
C_5 &= \{0.55/A_1, 0.60/A_2, 0.70/A_3, 0.75/A_4, 0.85/A_5\} \\
C_6 &= \{0.50/A_1, 0.55/A_2, 0.65/A_3, 0.75/A_4, 0.85/A_5\} \\
C_7 &= \{0.70/A_1, 0.65/A_2, 0.85/A_3, 0.75/A_4, 0.90/A_5\} \\
C_8 &= \{0.40/A_1, 0.50/A_2, 0.70/A_3, 0.80/A_4, 1.00/A_5\} \\
C_9 &= \{0.65/A_1, 0.75/A_2, 0.85/A_3, 0.60/A_4, 0.95/A_5\} \\
C_{10} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.85/A_3, 0.65/A_4, 0.80/A_5\} \\
C_{11} &= \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.90/A_3, 0.65/A_4, 0.95/A_5\} \\
C_{12} &= \{0.78/A_1, 0.70/A_2, 0.90/A_3, 0.75/A_4, 0.65/A_5\} \\
C_{13} &= \{0.50/A_1, 0.72/A_2, 0.80/A_3, 0.60/A_4, 0.85/A_5\} \\
C_{14} &= \{0.85/A_1, 0.45/A_2, 0.75/A_3, 0.60/A_4, 0.50/A_5\} \\
C_{15} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.80/A_3, 0.70/A_4, 0.95/A_5\} \\
C_{16} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.80/A_3, 0.65/A_4, 0.90/A_5\} \\
C_{17} &= \{0.75/A_1, 0.70/A_2, 0.82/A_3, 0.80/A_4, 0.90/A_5\} \\
C_{18} &= \{0.65/A_1, 0.70/A_2, 0.80/A_3, 0.75/A_4, 0.60/A_5\}
\end{aligned}$$

Diğer bir adım olarak; karar verici bir $m \times m$ boyutlu matris üzerinde (Şekil 3.6) kriterlerin birbirlerine göre ampirik önem tahminlerini uzman görüşlerinden [30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41] yararlanarak belirlemiştir. Bunun için kullanılan karar skalası karar verici tarafından belirlenmiştir:

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈
C ₁	1	1/3	1/3	3	1	7	3	3	3	5	9	5	9	7	5	5	7	9
C ₂	3	1	1	7	3	5	3	3	5	7	9	7	9	9	5	5	7	9
C ₃	3	1	1	7	5	7	3	3	7	9	9	7	9	9	5	5	7	9
C ₄	1/3	1/7	1/7	1	1/7	1	1/7	1/7	5	7	7	5	5	5	3	3	3	7
C ₅	1	1/3	1/5	7	1	5	1	1	7	7	7	7	7	7	3	3	5	9
C ₆	1/7	1/5	1/7	1	1/5	1	1/7	1/7	3	7	1	1/5	5	5	3	3	5	7
C ₇	1/3	1/3	1/3	7	1	7	1	1	5	7	7	3	7	9	3	3	9	9
C ₈	1/3	1/3	1/3	7	1	7	1	1	3	5	5	1	7	7	1/3	1/3	7	9
C ₉	1/3	1/5	1/7	1/5	1/7	1/3	1/5	1/3	1	5	3	3	3	3	1/3	1/3	3	5
C ₁₀	1/5	1/7	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1	3	1/3	3	1	1/5	1/5	3	5
C ₁₁	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	1	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1/5	3	3	1/3	1/5	1	5
C ₁₂	1/5	1/7	1/7	1/5	1/7	1/5	1/3	1	1/3	3	5	1	3	5	1/3	1/3	3	7
C ₁₃	1/9	1/9	1/9	1/5	1/7	1/5	1/7	1/7	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1/7	1/7	3	3
C ₁₄	1/7	1/9	1/9	1/5	1/7	1/5	1/9	1/7	1/3	1	1/3	1/5	1	1	1/5	1/5	1/3	3
C ₁₅	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	3	3	5	3	3	7	5	1	3	5	7
C ₁₆	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	3	3	5	5	3	7	5	3	1	5	7
C ₁₇	1/7	1/7	1/7	1/3	1/5	1/5	1/9	1/7	1/3	1/3	1	1/3	1/3	3	1/5	1/5	1	3
C ₁₈	1/9	1/9	1/9	1/7	1/9	1/7	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	1/7	1/3	1/3	1/7	1/7	1/3	1

Şekil 3.6. Kriterlerin Karşılaştırılması

Daha sonra bu ters matrisin özdeğerleri ve maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör belirlenmiştir. Bu çalışmada, Matlab 5.0 [42] matematik programı kullanılarak bu ters matrisin maksimum özdeğeri $\lambda_{\max} = 21.7896$ olarak bulunmuştur. Yine aynı program vasıtası ile aşağıda görüldüğü gibi maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör belirlenmiştir. Bu özvektör her bir kriterin/ özelliğın/amacın üyelikleri ile ilişkilendirilmiş olan ağırlıklara karşılık gelir. Böylece eksponansiyel ağırlıklar belirlenir: $\alpha_1 = 0.3543$, $\alpha_2 = 0.4855$, $\alpha_3 = 0.5369$, $\alpha_4 = 0.1637$, $\alpha_5 = 0.3069$, $\alpha_6 = 0.1298$, $\alpha_7 = 0.2990$, $\alpha_8 = 0.2320$, $\alpha_9 = 0.0782$, $\alpha_{10} = 0.0450$, $\alpha_{11} = 0.0430$, $\alpha_{12} = 0.0777$, $\alpha_{13} = 0.0313$, $\alpha_{14} = 0.0288$, $\alpha_{15} = 0.1564$, $\alpha_{16} = 0.1600$, $\alpha_{17} = 0.0353$, $\alpha_{18} = 0.0197$ olarak bulunur ve nihai karar;

$$\mu_D(A) = \min((\mu_{C1}(A))^{\alpha_1}, \mu_{C2}(A)^{\alpha_2}, \dots, \mu_{Cm}(A)^{\alpha_m});$$

$\alpha > 0$ için

$$\mu_D(A^*) = \max_A \mu_D(A) \quad A^*$$

optimal karar olarak elde edilir. Buradan, ters matrisin özdeğerleri ve maksimum özdeğer $\lambda_{\max} = 21.7896$ bulunmuş ve bu maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör, kriter ağırlıklarını oluşturmuştur.

özvektör = {0.3543, 0.4855, 0.5369, 0.1637, 0.3069, 0.1298, 0.2990, 0.2320, 0.0782, 0.0450, 0.0430, 0.0777, 0.0313, 0.0288, 0.1564, 0.1600, 0.0353, 0.0197} λ_{\max}

Elde edilen ağırlıklar karar fonksiyonunda eksponansiyel olarak değerlendirilerek;

$$\begin{aligned} C_1 &= \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.95/A_3, 0.90/A_4, 0.85/A_5\}^{0.3543} \\ &= \{0.92/A_1, 0.90/A_2, 0.98/A_3, 0.96/A_4, 0.94/A_5\} \\ C_2 &= \{0.75/A_1, 0.80/A_2, 0.88/A_3, 0.82/A_4, 0.85/A_5\}^{0.4855} \\ &= \{0.87/A_1, 0.90/A_2, 0.94/A_3, 0.91/A_4, 0.92/A_5\} \\ C_3 &= \{0.70/A_1, 0.65/A_2, 0.87/A_3, 0.85/A_4, 0.92/A_5\}^{0.5369} \\ &= \{0.83/A_1, 0.79/A_2, 0.93/A_3, 0.92/A_4, 0.96/A_5\} \\ C_4 &= \{0.70/A_1, 0.75/A_2, 0.90/A_3, 0.80/A_4, 0.65/A_5\}^{0.1637} \\ &= \{0.94/A_1, 0.95/A_2, 0.98/A_3, 0.96/A_4, 0.93/A_5\} \\ C_5 &= \{0.55/A_1, 0.60/A_2, 0.70/A_3, 0.65/A_4, 0.85/A_5\}^{0.3069} \\ &= \{0.83/A_1, 0.85/A_2, 0.89/A_3, 0.87/A_4, 0.95/A_5\} \\ C_6 &= \{0.50/A_1, 0.55/A_2, 0.65/A_3, 0.75/A_4, 0.85/A_5\}^{0.1298} \\ &= \{0.91/A_1, 0.92/A_2, 0.94/A_3, 0.97/A_4, 0.98/A_5\} \\ C_7 &= \{0.70/A_1, 0.65/A_2, 0.85/A_3, 0.75/A_4, 0.90/A_5\}^{0.2990} \\ &= \{0.90/A_1, 0.88/A_2, 0.95/A_3, 0.92/A_4, 0.97/A_5\} \\ C_8 &= \{0.40/A_1, 0.50/A_2, 0.70/A_3, 0.80/A_4, 1.00/A_5\}^{0.2320} \\ &= \{0.81/A_1, 0.85/A_2, 0.92/A_3, 0.97/A_4, 1.00/A_5\} \\ C_9 &= \{0.65/A_1, 0.75/A_2, 0.85/A_3, 0.60/A_4, 0.95/A_5\}^{0.0782} \\ &= \{0.97/A_1, 0.98/A_2, 0.99/A_3, 0.96/A_4, 1.00/A_5\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{10} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.85/A_3, 0.65/A_4, 0.80/A_5\}^{0.0450} \\
&= \{0.97/A_1, 0.97/A_2, 0.99/A_3, 0.98/A_4, 0.99/A_5\} \\
C_{11} &= \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.90/A_3, 0.65/A_4, 0.95/A_5\}^{0.0430} \\
&= \{0.99/A_1, 0.99/A_2, 0.99/A_3, 0.98/A_4, 1.00/A_5\} \\
C_{12} &= \{0.78/A_1, 0.70/A_2, 0.90/A_3, 0.75/A_4, 0.65/A_5\}^{0.0777} \\
&= \{0.98/A_1, 0.97/A_2, 0.99/A_3, 0.98/A_4, 0.97/A_5\} \\
C_{13} &= \{0.50/A_1, 0.72/A_2, 0.80/A_3, 0.60/A_4, 0.85/A_5\}^{0.0313} \\
&= \{0.98/A_1, 0.99/A_2, 0.99/A_3, 0.98/A_4, 1.00/A_5\} \\
C_{14} &= \{0.85/A_1, 0.45/A_2, 0.75/A_3, 0.60/A_4, 0.50/A_5\}^{0.0288} \\
&= \{1.00/A_1, 0.98/A_2, 0.99/A_3, 0.99/A_4, 0.98/A_5\} \\
C_{15} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.80/A_3, 0.70/A_4, 0.95/A_5\}^{0.1564} \\
&= \{0.92/A_1, 0.91/A_2, 0.97/A_3, 0.95/A_4, 0.99/A_5\} \\
C_{16} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.80/A_3, 0.65/A_4, 0.90/A_5\}^{0.1600} \\
&= \{0.92/A_1, 0.91/A_2, 0.96/A_3, 0.93/A_4, 0.98/A_5\} \\
C_{17} &= \{0.75/A_1, 0.70/A_2, 0.82/A_3, 0.80/A_4, 0.90/A_5\}^{0.0333} \\
&= \{0.99/A_1, 0.99/A_2, 0.99/A_3, 0.99/A_4, 1.00/A_5\} \\
C_{18} &= \{0.65/A_1, 0.70/A_2, 0.80/A_3, 0.75/A_4, 0.60/A_5\}^{0.0197} \\
&= \{0.99/A_1, 0.99/A_2, 1.00/A_3, 0.99/A_4, 0.99/A_5\}
\end{aligned}$$

$$\mu_D(A) = \{0.81/A_1, 0.79/A_2, 0.89/A_3, 0.87/A_4, 0.92/A_5\}$$

optimal karar;

$$\mu_D(A^*) = 0.92/A_5$$

olarak elde edilmiştir. İşletme şartları için uygun olacağı düşünülen bu yöntemler arasında, görüldüğü gibi, Çiftalan Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yöntemi olarak Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi (A_5), 0.92 üyelik derecesi ile seçilme şansı en yüksek olanıdır. Diğer yöntemlerin üyelik dereceleri A_5 'e göre daha düşük olduğu için bunların seçilme şansı daha azdır.

Bu çalışmada elde edilen sonuca ulaşmada, önceki bölümlerde açıklandığı üzere, alternatif yöntemlerin avantajlarını ve kriterler ağırlıklarını belirlemek için bir anket düzenlenerek uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Söz konusu ankete katılan uzmanlara [30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41], yukarıdaki koşulları içeren sahaya uygulanabilecek en uygun yöntem sorulduğunda, uzmanların çoğunun Dolgulu Oda-Topuk Yöntemini uygun görmeleri, bu çalışmanın doğruluğunu teyit eder nitelikte olmuştur.

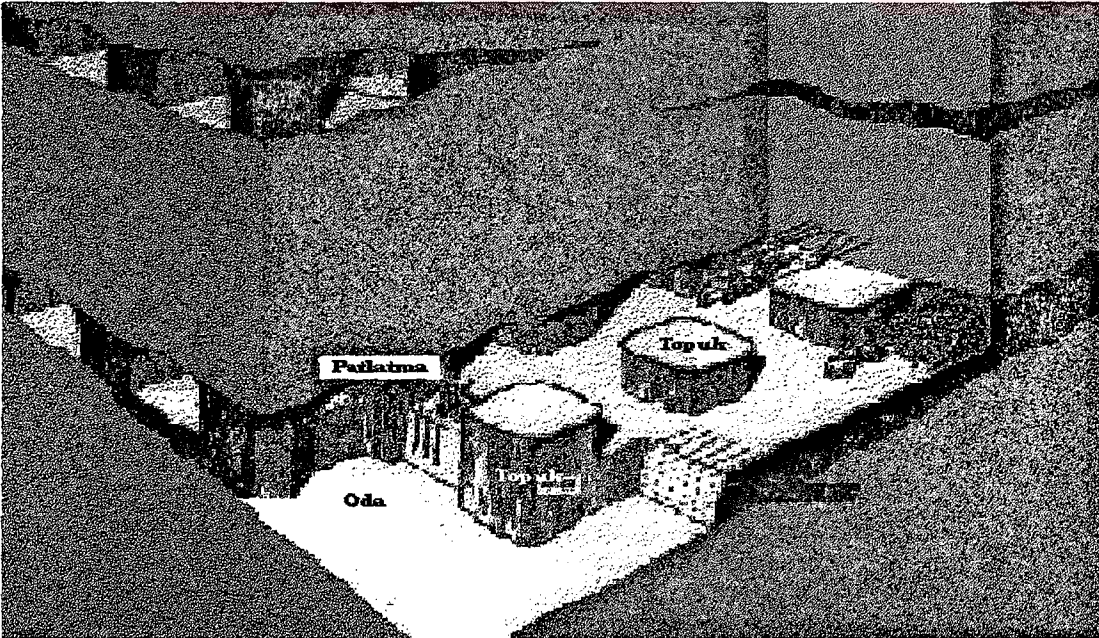
Bulanık ve çok kriterli karar ortamlarında, optimum karar vermede kullanılan Bulanık Küme Teorisi ile ilgili olarak, bundan sonra yapılacak çalışmalarda, elde edilen sonuçların risk analizi ile güvenilirliğinin araştırılması ve uygulanan prosesin bir paket program haline dönüştürülüp, tam kullanışlı duruma getirilmesi amaç edinilmiştir.

3.4. Seçilen Üretim Yönteminin Tanıtılması ve Tasarımı

3.4.1. Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi

Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi genel olarak; yatay veya eğimi 30° 'yi geçmeyen katmanlı düzenli yataklarda uygulanabilir. Yöntem ekseriya potas, tuz, kalker ve kömür gibi metalik olmayan cevherlere uygulanır. Esas olarak yöntem; mümkün olduğu kadar, tavanı desteklemek için bırakılan topuk ve topukların arasında açılan odalardan cevherin tamamını kazımaya dayanır. Cevheri alınan odalar dolgu malzemesi ile doldurulur. Oda olarak adlandırılan çalışma alanları ve topukların oransal boyutları; cevher ve yan kayaçların dayanımları ve üst örtü tabakalarının ağırlığı (yükü) ile belirlenir. Düzgün geometri bir sistem normal olarak maden planlamasını, yüksek verimi ve mekanizasyonu kolaylaştırır. Şekil 3.7'deki plan tipik bir oda topuk yönteminin planını göstermektedir [7,10].

Topuklarda bırakılan cevher miktarları, sağlam yan kayaçlara haiz ve sığ yataklarda % 10 , derin ve daha az sağlam yan kayaçlarda % 50'nin üstüne çıkabilir. 7 m'den daha az kalınlıktaki cevher yataklarında odalar; bir tek periyotta ilerler. Buda cevheri; delme- patlatma ve yükleme+taşıma ve çalışma yerini güvenilir hale getirme sistemine dayanır. Üretim yapılan odalara dolgu yağılır ve daha sonra topuklarda bırakılan cevherin geri kazanımı yapılır. Bu aşamadan sonra operasyon periyodu tekrar başlar.



Şekil 3.7. Oda-Topuk Yönteminin Genel Görünümü [10]

Daha kalın yataklarda; bu tam arın ilderleme metodu hem uygun değil hem de pahalıdır. Bu metot uygulanırsa cevherin yalnızca doğal olarak üst kesimi kazanılabilir. Daha alt kesimi ise ikincil işlemler zinciri ile kazanılabilir.

Tavan ve taban taşları zayıf ise, metot; taban veya tavan taşına bitişik kısımdaki cevher tabakasının bir kısmı üretilmeden bırakılmak suretiyle değişik bir biçimde uygulanabilir. Maksimum oda yüksekliği (yani topuk yüksekliği) güvenliği ihmal etmeyecek şekilde sağlam kayalarda 30 m civarında ve daha zayıf tabakalarda ise daha düşük olabilir. Bu yüksekliği aşan çok kalın yataklarda, aralarında yatay cevher topuğu bırakılmak suretiyle iki veya daha fazla seviyede yada kotta maden işletme çalışması yapılabilir. Burada her seviye arasında topuk bırakılması esastır.

Oda ve topuk sisteminin büyük avantajı; talebe uygun bir biçimde hazır olarak değişebilen üretim imkanı dolayısıyla oluşturduğu esnekliktir. Böyle madenler hem kolaylıkla mekanize olabilirler hem de çalışılan alanlar, giriş ve nakliye yolu gibi kullanılabilirden, ikincil hazırlık ihtiyacı azalabilecektir. Ek olarak uygun nitelikteki havalandırma genellikle hem kolay hem de ucuzdur.

Bu sistemin en önemli dezavantajı; zayıf kayaların bulunduğu zeminlerde topuk ve tavanlarda azar azar bozulma ve dökülmelerin olabilmesi ve bunların tamir ve tahkimat bakımının pahalı olabilmesidir. Bununla birlikte cevherin bu bölümü; daha sonraki aşamada açıklandığı şekilde (aynı şekilde) topuklardan kazı yapılarak büyük oranda kazılarak kazanılabilir. Bu da; yatak yayılım sınırlarına kadar çalıştırıldıktan sonra gerçekleştirilebilir. Daha sonra topuklar sınırlardan başlayarak ve başlangıçtaki girişe doğru ve geri dönümlü çalışarak, bir çekilme zinciri şeklinde kazılarak kazanılabilir [7,10].

3.4.2. Seçilen Üretim Yönteminin Tasarımı

Bölüm 2.3’de , İstanbul’un 35 km. kuzeyinde yer alan Oligosen yaşlı Belgrad Formasyonunda oluşmuş olan Çiftalan Linyit Sahası için, bulanık küme teorisi kullanılarak optimum yeraltı üretim yöntemi olarak “Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi” seçilmiştir. Seçilen bu yöntemde kullanılacak dolgu malzemesinin bulunması gerekecektir. Şirket yetkilileri ile yapılan görüşmelerde; Çiftalan Linyit Sahası çevresinde Kutman Limited Şirketi’ne ait olan eski kömür ocaklarının bulunduğu yerlerden yeterli miktarda dolgu malzemesinin temin edilebileceği anlaşılmıştır. Söz konusu saha için en uygun yöntem seçimi yapıldıktan sonra, yapılması gereken en önemli husus üretim yönteminin tasarımıdır. Bu amaçla Çiftalan Linyit Sahası için seçilen “Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi”nin tasarımı aşağıda yapılmıştır.

Çiftalan Linyit Sahası'nda; ortalama kömür tabakası kalınlığı 55 m., damar kalınlığı ise 2.3 m'dir. Kömür, kendiliğinden yanma özelliğine sahiptir. Taban ve tavan formasyonları ise kildir ve yer yer kumlu bölgeler yer almaktadır. Söz konusu yöntemin tasarımı için kömürün ve kil formasyonlarının jeoteknik büyüklükleri ve indeks büyüklükleri yerinde ve laboratuvarında yapılan deneylerle belirlenmiştir. Bu tasarım için aşağıda belirtilen şartların yerine getirilmesine dikkat edilmiştir.

- Topuklarda taban formasyonuna iletilen düşey gerilmeler taban kilinin taşıma kapasitesini aşmamalıdır.
- Verilen üretim derinliği ve işletmenin geometrik büyüklüklerinin belirlediği üretim oranı için topuğun çalıştığı düşey gerilme, topuğun “yerinde dayanımı” nı aşmamalıdır.

Her iki şartta doğrudan doğruya “oda-topuk işletme yönteminin” üretim oranını hassas bir şekilde kontrol etmektedir. Yöntemin ekonomikliğini sağlamak açısından bu iki faktör de tasarımda ele alınmıştır.

İncelenen işletme şartları altında kömürün tabanı, taşıma kapasitesi zayıf olan kil formasyonudur. Bu ise özellikle oda-topuk yönteminin taban stabilitesi açısından kritik bir durum yaratmaktadır. Bu nedenle oda-topuk tasarımında “Üretim Oranı” ve “Oda ve Topuk Boyutları” gibi tasarım büyüklükleri, aktarılan düşey gerilme altında stabilitenin koruması ilkesinden hareketle hesaplanmıştır.

Bu şekilde belirlenen tasarım büyüklüklerinin (oda ve topuk genişliği) ve ayrıca topuk malzemesinin yerinde dayanım büyüklüğü açısından da analizi yapılmıştır. Bu çalışma çerçevesinde belirlenen geometrik ve jeomekanik büyüklükler dikkate alınarak yukarıda kısaca açıklanan oda-topuk tasarım esasları ile ortaya çıkan sonuçlar başta üretim derinliği ve jeomekanik büyüklükler olmak üzere belirli bir ayrıntı içinde irdelenmiştir.

3.4.2. 1. Geliştirilen Oda-Topuk Tasarımının Esasları

Tasarımda yapılan belli başlı kabuller aşağıda özetlenmiştir.

- Kömür damarı yataydır.
- Topuğa etki eden “ortalama arazi basıncı” (topuk yükü)

$$P = \sigma_z / (1 - e) = 0.1 \gamma H / (1 - \{ I_r^2 + 2I_p I_r / (I_r + I_p) \}^2) = 0.1 \gamma H [I_r + I_p / I_p]^2$$

bağıntısından hesaplanmıştır [43]. Burada açıklanmamış notasyonlar şunlardır.

P =Ortalama topuk basıncı, kg/cm^2

e =Üretim oranı. Analizde, kare topuk düzeni esas alınmıştır.

I_r =Oda genişliği, m

I_p =Topuk genişliği, m

- Topuk vasıtasıyla tabana transfer edilen normal gerilmenin büyüklüğü genel stabilite şartı gereğince taban kilinin taşıma kapasitesinden, küçük olmalıdır. "Topuk genişliği", bu ana boyutlandırma esasına dayandırılmıştır. Ayrıca, bu esas dan hareketle tasarlanan topuk genişliğinin emniyeti, verilen doğal ve işletme şartları altında, "topuk dayanımı" açısından da tahkik edilecektir.
- Oda açıklığının uygun bir iksa sistemi ile destekleneceği kabul edilmiştir. Başka bir anlatımla, "oda açıklığı"nın boyutu stabilite şartları açısından kritik bir faktör değildir.
- Taban kilinin içsel sürtünme açısı $\Phi = 0$ alınmıştır. Kısaca, tasarım en olumsuz jeomekanik şartlar için yapılmıştır. "Taşıma kapasitesi" için şu bağıntılar kullanılmıştır;

$$q_u = C \times N_c$$

q_u =Taşıma kapasitesi

N_c =Topuğun plan formuna ve içsel sürtünme açısına bağlı olan taşıma faktörü.

Kare topuk ve $\Phi = 0$ için, $N_c = 7$ değeri kullanılabilir [43].

- Zayıf taban kilinin taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla, taban kiline kıyasla çok sağlam olan kömürün, belirli bir kalınlıkta taban seviyesinde "topuk" olarak bırakılması durumunda, tabanın taşıma kapasitesi,

$$q_u \approx C [8 + 4(d_1/d_2 - 0.4)]$$

ampirik bağıntısından kestirilebilir. Bu ifade $0.4 < d_1/d_2 < 1.0$ aralığı için geçerlidir. Burada d_1 ve d_2 sırasıyla "stiff" ve "yumuşak" tabakaların kalınlıklarını ifade etmektedir. Açıktır ki, taban seviyesinde bırakılan stiff tabakanın et kalınlığı arttıkça, verilen kayma dayanımı için basınç kapasitesi de önemli ölçüde yükselmektedir.

- Topuk dayanımının tahkikinde birbirinden farklı iki ampirik bağıntıdan yararlanılmıştır.

Bunlar sırasıyla; “Salamon ve Munro” formülü ve “Sheorey” formülü [43]:

$$S = \sigma_{lab} / n \times l^{0.46} / m^{0.66} ; \text{kg /cm}^2$$

$$S = 0.27 \sigma_{lab} m^{-0.36} + H/150 [0.6 + 150/H] [l_p/m - 1] ; \text{Mpa}$$

dır. Burada ,

$$S = \text{Topuk dayanımı. kg /cm}^2$$

σ_{lab} = Laboatuvarında belirlenen kömür numunelerinin ortalama basınç dayanımı, kg /cm² , S ve σ_{lab} , Mpa olarak elde edilecektir.

n= Çatlaklık özelliğini içeren ampirik bir faktör (dayanım azalım faktörü)

“n” faktörü için aşağıdaki değerler önerilmiştir:

çatlaklı, fakat sağlam kömür için n=3

çok çatlaklı, zayıf kömür için n=4

sık çatlaklı, parçalanmış kömür için n=5

l_p = Topuk genişliği, m

m = Çalıştırılan kömür kalınlığı, m

3.4.2.2. İşletme Şartları İçin Tipik Bir Tasarım Örneği ve Sonuçlarının Tartışılması

Varolan işletme koşullarında, taban kilinin kayma dayanımının çok küçük olmasının “topuk tasarımı” üzerindeki olumsuz etkisi, Tablo 3.12’de sayısal şekilde gösterilmiştir. Bilindiği üzere, “oda-topuk” üretim sisteminin ekonomisini denetleyen en önemli faktör “üretim oranı”dır. Bu oranın verilen işletme koşullarında mümkün olacağı ölçüde büyük alınması, sistemin genel ekonomisini arttıracaktır. Uygulamada e= %30-80 gibi geniş aralıkta değişen üretim oranı, analizde e= %60 alınmıştır. Kabul edilen diğer geometrik ve jeoteknik büyüklükler aşağıda tekrar topluca özetlenmiştir.

Üretim derinliği	H= 55 m
Örtü tabakasının ortalama yoğunluğu	$\gamma = 2 \text{ t/m}^3$
Çalıştırılan damar kalınlığı	m=2.3 m
Oda açıklığı	$l_r = 4 \text{ m}$
Üretim oranı	e=0.60
Taban kilinin kayma dayanımı	C= 2.2 kg/cm ²
Kömür dayanımı	$\sigma_{lab} = 410 \text{ kg/cm}^2$
Çatlaklık faktörü	n=5

Tablo 3.12. Taban Kilinin Oda-Topuk Tasarımına Etkisi

- Topuk Genişliği

$$e = \frac{l_r^2}{l_r + l_p} + 2l_r l_p / (l_r + l_p)^2 \quad e = 0.60 \quad \text{ve } l_r = 4.0 \text{ m için } l_p \cong 6.9 \text{ m olarak bulunur.}$$

- Topuk ile tabana transfer edilen normal gerilme

$$P = 0.1 \gamma H / (l_r + l_p) / l_p^2 = 0.1 \times 2 \times 55 / [(4 + 6.9) / 6.9]^2 \cong 27.4 \text{ kg/cm}^2$$

- Topuk dayanımı

$$S = 410/5 \times 6.9^{0.40} / 2.3^{0.66} = 103 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 0.27 \times 41 \times 2.3^{-0.36} + 55/150 [0.6 + 150/55] [6.9/2.3 - 1] \cong 10.8 \text{ Mpa} = 108 \text{ kg/cm}^2$$

Dikkat edileceği üzere iki farklı yaklaşımın sonuçları üst üste düşmektedir ve topuk dayanımı $S > P$ olduğundan, “topuk taşıma kapasitesi” uygundur. Emniyet katsayısı ise

$$F = S/P = 103/27.4 = 3.75 > 1.5$$

bağıntısından hesaplanmaktadır.

- Taban kilinin taşıma kapasitesi

$$q_u = 7 \times C = 7 \times 2.2 = 15.4 \text{ kg/cm}^2$$

Hemen görüleceği gibi $q_u < P$ 'dir. Topuğun tabana “gömülmesi” söz konusudur. Genel stabilite açısından, bu durum çok sakıncalıdır. Tabanın taşıma kapasitesi en az

$$q_u = F \times P = 1.25 \times 27.4 = 34.25 \text{ kg/cm}^2$$

olmalıdır. Burada “F” taban gömülmesine karşı “kısa süreli” çalışma rejimi için gerekli emniyet katsayısını ifade eder.

Bu nedenle daha sağlam kömür tabakasından belirli bir kalınlığın ($d_1 = 0.50 \text{ m}$) tabanda bırakılması düşünülebilir. Bu durumda $d_1 = 0.50 \text{ m}$ ve $d_2 = 0.50 \text{ m}$ kabul edilirse, tabanın taşıma kapasitesi,

$$q = C[8 + 4(d_1/d_2 - 0.4)] = 10.4 C = 10.4 \times 2.2 = 23 \text{ kg/cm}^2$$

olarak hesaplanabilir.

Açıktır ki, bu durumda bile istenen düzeyde emniyet sağlanamamıştır. Sadece kömürün tabanda bırakılması ile taşıma kapasitesi, verilen şartlar için kabaca %49 oranında artırılmıştır. Tabanın gömülmemesi için üretim oranın düşürülmesi gerekmektedir. Diğer bir anlatımla “topuk genişliği” ni arttırmak suretiyle tabana transfer normal gerilmenin (“P”) düzeyini önemli ölçüde azaltmak yolu ile “ $p < q_u$ ” şartı gerçekleştirilir. Taban emniyeti $F=1.25$ ve tabanda $d_1 = 0.50$ m lik kömür bırakılması ve yumuşak tabakanın kalınlığı $d_2 = 0.50$ m ve $e=0.50$ üretim oranı kabulleri için ve ortalama üretim derinliği $H=55$ m ve oda açıklığı $l_r= 4$ m büyüklüklerine karşılık yukarıda izlenen hesaplama sırasına göre hesaplanan tasarım büyüklükleri şunlardır:

$$\begin{aligned} L_p &= 20 \text{ m} \\ H_{\text{kritik}} &= 405 \text{ m} \\ P &= 15.84 \text{ kg/cm}^2 \\ S &= 11.9 \text{ MPa} \\ q_u &= 23 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Kısaca , değiştirilen üretim oranı $e=0.50$ ve topuk genişliği $l_p= 20$ m olması durumunda $q_u > P$ olduğundan, “taban stabilitesi” şartı yerine getirilmiştir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışmada çeşitli sektörlerde kullanımını gördüğümüz, temeli 1970'li yıllara dayanan ancak Türkiye'de özellikle madencilik çalışmaları için çok yeni bir konu olan Bulanık Küme Teorisi ile yeraltı üretim yöntemi seçimi başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bu çalışmada öncelikle yeraltı üretim yöntemi seçiminde etkili olan faktörler ve seçim teknikleri geniş bir literatür araştırması ile tespit edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, öncelikle çalışmanın temelini oluşturan Bulanık Küme Teorisi tanıtılmıştır. Daha sonra karar verme araçları ve bu araçlardan özellikle yeraltı üretim yöntemi seçimi gibi çok fazla sayıda kriterin söz konusu olduğu ve bulanık ortamlarda kullanılabilen Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Prosesi incelenmiştir. Bu prosese dayanan çeşitli teoriler irdelenmiş ve diğerlerine göre sahip olduğu avantajlardan dolayı Yager Teorisi kullanılmıştır.

Bilindiği gibi karar aşamasında dilsel değişkenlerle (zayıf kaya, masif boyutlu cevher vb.) oldukça sık karşılaşılır. Karar verici çoğunlukla bu değişkenleri hesaba nasıl katacağını bilemez ve kendi tecrübe ve insiyatifini kullanır. İlgili bölümlerde açıklandığı gibi Çiftalan Linyit Sahası için seçimi düşünülen alternatiflerin (üretim yöntemleri), seçim kriterleri karşısında alacağı üyelik derecelerinin belirlenmesinde, öncelikle bu kriterlerin çeşitli çözüm metotları (lineer programlama, uzman sistemler, uzman görüşleri, vb.) ile analizi yapılarak dilsel değişkenlere dönüştürülmüştür. Böylelikle hesaba katılmayan hiçbir kriter kalmamış ve söz konusu saha için Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi 0.92 üyelik derecesi ile optimum yeraltı üretim yöntemi olarak seçilmiştir.

Bu işlemlerin gerçekleştirilmesinde bilgisayar teknolojisinden de yararlanılması karar vericinin işini büyük ölçüde kolaylaştırılmıştır. Böylelikle, klasik yöntemlerle yapılan değerlendirmelere göre Bulanık Küme Teorisi ile karar verme amaca daha çabuk ve kolay ulaşılmasını sağlamıştır.

Bu teorinin kullanılmasında planlama mühendisleri şu konuya oldukça dikkat etmelidir. Üyelik derecesi atamalarında yapılacak en ufak bir değişikliğin sonucu tamamen değiştirebileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle üyelik dereceleri belirlenmeden önce probleme etki eden kriterlerin analizi mümkün olduğu kadar fazla sayıda uzman görüşüne dayanarak yapılmalıdır.

Ayrıca, Çiftalan Linyit Sahası için seçimi yapılan Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi'nin, mevcut saha koşulları dikkate alınarak tasarımı da yapılmıştır. Yapılan tasarımda; taban kilinin kayma dayanımının çok küçük olmasının "topuk tasarımı" üzerinde olumsuz etki yaptığı anlaşılmıştır. Tasarım sonucunda; elde edilen % 50 üretim oranında, 20 m topuk genişliği ve 4 m oda açıklığında; topuk ile tabana transfer edilen normal gerilme (P) 15.84 kg/cm^2 , topuk dayanımı (S) 119 kg/cm^2 ve taban kilinin taşıma kapasitesi (q_u) 23 kg/cm^2 olarak hesaplanmıştır. Bu şartlarda da $q_u > P$ için "taban stabilitesi şartı yerine getirilmiştir.

Bulanık Kümeler Teorisi kullanılarak yeraltı üretim yöntemi seçimi yapılmış olan bu çalışma sonuçları, başka maden sahalarında da en uygun üretim yöntemi seçimlerine ışık tutabilecektir.



5. KAYNAKLAR

- [1] KAHRİMAN, A., CEYLANOĞLU, A., DEMİRCİ, A., vd., 1996, "Kayseri Pınarbaşı-Pulpınar Krom Cevheri İçin Optimum Yeraltı Üretim Yöntemi Seçimi", TMMOB, Madencilik Dergisi, Cilt 35, Sayı 4, s. 27-41.
- [2] BAŞÇETİN, A., 1999, "Açık İşletmelerde Optimum Ekipman Seçimi", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak, İstanbul.
- [3] DEMİRCİ, A., CEYLANOĞLU, A., KAHRİMAN, A., vd. 1994, "Kayseri Pınarbaşı-Pulpınar Krom Yeraltı Maden İşletmesinde (4 No'lu Kuyu) Optimum Üretim Yönteminin Belirlenmesi ve Projelendirilmesi Çalışmaları", Nihai Rapor, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 122 sayfa.
- [4] DEMİRCİ, A., CEYLANOĞLU, A., KAHRİMAN, A., vd., 1995, "Ege Metal Eskişehir Krom İşletmesinde Optimum Üretim Yönteminin Belirlenmesi ve Projelendirilmesi Çalışmaları", Nihai Rapor, Cumhuriyet Üniversitesi.
- [5] NICHOLAS, D.E., 1993, "Selection Prosedure", Mining Engineering Handbook, V:2, p.2090-2106.
- [6] NICHOLAS, D.E., 1993, "Selection Variables", Mining Engineering Handbook, V:2, p.2051-2057.
- [7] KÖSE, H., 1988, "Madenlerde Yeraltı Üretim Yöntemleri (Genişletilmiş 2. Baskı)", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını, İzmir.
- [8] BIIB., C.T., HARGROVE, K.M., 1993, "Coal Mining: Method Selection", Mining Engineering Handbook, V:2, p.1854-1866.
- [9] DEMİRCİ, U., 1993, "Optimum Yeraltı İşletme Yöntemlerinin Belirlenmesindeki Kriterler", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [10] HAMRİN, H., 1998, "Choosing an Underground Mining Method", Thechniques in Underground Mining, Society of Mining Metallurgy and Exploration Inc., Littleton, CO, USA, p.45-85.

- [11] BRADY, B. H. G., BROWN, E. T., 1993, "Mining Methods and Methods Selection", Rock Mecanics For Underground Mining, Second Edition, U.K.
- [12] ARIOĞLU, E., 1988, "Çözümlü Madencilik Problemleri", TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, s.139-145.
- [13] SZWILSKI, A.B., RICHARDS, M.J., 1987, "Underground Mining Methods and Technology", Elsevier, Amsterdam.
- [14] BARAY, A., 1993, "Bulanık Kümeler Kuramı ve İşleme Uygulamaları", İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, C:22, S:2, s.91.
- [15] ÖZÇAKAR, N., 1995, "Proje Maliyeti Bütçelemede Bulanık Küme Yaklaşımı", İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, C:24, S:2, s.187-193.
- [16] BAŞÇETİN, A., KESİMAL, A., 1998, "The Application of Boolean Linear Programming Technique for Solving The Coal Blending in Selective Mining", Open Pit Mining Conference-State and Development of Open Pit Mining in Market Economy, Vol:1, 2-6 June, Varna, Bulgaria.
- [17] BAŞÇETİN, A., KESİMAL., 1999, "Açık işletmelerde Yükleme-Taşıma Seçiminde Yeni bir Yaklaşım", Türkiye 16. Madencilik Kongresi ve Sergisi, 15-18 Haziran 1999, Ankara, s.57-64.
- [18] ESNAF, Ş., 1996, "Bulanık Teknoloji, Teknolojik Verimlilik ve Eğitim İlişkisi", Mercek, Yıl:1, Sayı:4, Ekim, s.87-96.
- [19] ZADEH, L.A., 1975, "The Consept of a Linquistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, Part 2: Logical Approaches", Fuzzy Set and Systems, 40/1, p.203-244.
- [20] BELLMAN, R.E., ZADEH, L.A., 1970, "Decision-making in a Fuzzy Environment", Management Sci., 17(4), p.141-164.
- [21] SAATY, T. L., 1978, "Exploring the Interface Between Hierarchies, Multiple Objectives and Fuzzy Sets," Fuzzy Sets and Systems, 1, p.57-68.

[22] ALBAYRAK, C., ALBAYRAK, E., 1997, "Stratejik İşbirliğinde Doğru Ortağın Seçimi: Bir karar Destek Modeli Önerisi", 1. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 30-31 Ekim 1997, İstanbul, s.19-22.

[23] Kutman Ticaret Limited Şirketi Arşivleri, 1992, "İstanbul-Eyüp-Çiftalan Köyü'nün Jeolojisi", Şubat, İstanbul.

[24] Kutman Ticaret Limited Şirketi Arşivleri, 1993, "Sicil No 433, İ.R, 2549 No'lu Kömür Sahasının Jeolojisi", Mart, İstanbul.

[25] TANSEL, D., 2001, "Kömür Ocaklarının Çevreye Verdiği Zararların Giderilmesinde Kullanılan Yöntemler Ve Teknikler", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat, İstanbul.

[26] BUDAK, M., 2001, "Kişisel Görüşmeler", Kutman Tacaret Limited Şirketi, İstanbul.

[27] Kutman Ticaret Limited Şirketi Arşivleri, 1993, "Çiftalan Raporu", İstanbul.

[28] SURFER, Version 6.02 Surface Mapping System, 1993-96, Golden Software, Inc.

[29] ISRM, 1978, "Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses" International Journal of Rock Mech. and Mining Sci., Vol:15, p.319-368.

[30] AYRAL, K., 2001, "Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme", TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul,

[31] ÇALIK, A., 2001, "Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme", Türkiye Kömür İşletmeleri Oltu Linyit işletmesi, Erzurum.

[32] DEMİRAL, A., 2001, "Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme", TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul.

[33] DÜNDAR, T., 2001, "Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme", TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul.

- [34] ELMAS, Z., 2001, “Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme”, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [35] ERGİN, Z., 2001, “Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme”, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [36] EVERGEN, T., 2001, “Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme”, İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [37] GÜLLÜ, S.S., 2001, “Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme”, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [38] KAHRİMAN, A., 2001, “Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme”, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [39] NASUF, E., 2001, “Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme”, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [40] ÜNVER, B., 2001, “Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme”, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [41] TORUN, M., 2001, “Uzman Görüşü Almak İçin Yapılan Kişisel Görüşme”, Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [42] MATLAB, The Mathworks, Inc. Version 5.0, 0.4069, Copyright 1984-1996.
- [43] ARIOĞLU, E., 1998, “Oda-Topuk Yönteminde Kritik Üretim Derinliğinin Topuk ve Taban Taşıma Kapasitesi Cinsinden Formüle Edilmesi”, Çalışma Raporu No:6, TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Ocak, İstanbul.

6. ÖZGEÇMİŞ

Abdulkadir Karadoğan 1976 yılında Ardahan'da doğdu. Orta öğrenimini Erzurum Oltu Lisesi'nde tamamladıktan sonra, 1993 yılında İstanbul Üniversitesi (İ.Ü.) Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümüne başlayıp, 1997 yılında bölüm birinciliği ile Maden Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Maden Mühendisliği Programında Yüksek Lisans eğitime başladı. 1998 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevini yürütmekte olan Abdulkadir Karadoğan, evli ve bir çocuk babasıdır.



EKLER

YÖKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN YÖNETİM MERKEZİ