

Açık İşletmelerde Kayaç Sökülebilirlik Tayin Yöntemleri

Rock Rippability Assessment Methods in Surface Mining

R. Mete Göktan ^{1*}, Melih İphar ¹

¹ *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Yerleşkesi, Eskişehir*

* *Sorumlu Yazar: mgoktan@ogu.edu.tr*

Özet

Açık işletme örtükazı işlerinde delme-patlatma uygulanarak yapılan gevşetme işlemi yaygın bir yöntem olmakla birlikte, örtü malzemesinin uygun koşullar göstermesi durumunda, gevşetme işleminin sökme yöntemiyle (ripping) gerçekleştirilmesi de mümkün olabilmektedir. Uygulanacak kazı türü ve kazı aracının kararlaştırılması konusunda, birçok araştırmacı tarafından çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada, kayaç sökülebilirliği kestirimi amacıyla geliştirilen çeşitli yöntemlerin ana hatlarıyla tanıtılması ve genel bir çerçevede değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sökülebilirlik, kazılabilirlik, açık işletme, örtükazı

Abstract

Although drilling and blasting is widely used in surface mining stripping operations, under favorable ground conditions, ripping can also be used as an alternative stripping method. A number of methods have been developed by various researchers directed to the determination of excavation method and equipment. The present work aims at briefly introducing as well as evaluating the existing rock rippability prediction methods in the literature.

Keywords: Rippability, rock excavation, surface mining, stripping

1. Giriş

Açık işletme madenciliğinde, kayaçların kazılabilirlik koşullarının arazi ve laboratuarda kolay elde edilebilir jeoteknik veriler yardımıyla önceden belirlenebilmesi, makine parkı seçimi ve birim kazı maliyeti kestirimi bakımından büyük önem taşımaktadır (Göktan ve Ayday, 1989). Örtükazı işlerinde, kaya malzemesi ve kaya kütlesi özelliklerine bağlı olarak; mekanik kazı araçlarıyla doğrudan kazı, delme-patlatma veya ön-gevşetmeli mekanik kazı başlıca kazı yöntemlerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, delme-patlatma yöntemine bir alternatif olarak kullanılabilen sökme yöntemi (Şekil 1) ele alınarak; kayaç sökülebilirliği kestirimi amacıyla geliştirilen başlıca yöntemlerin tanıtılması ve genel bir çerçevede değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1. Örtükazı işlerinde sökme uygulaması

İlk modern sökücülerin ortaya çıktığı 1950’li yıllara kadar; “zemin” kolayca kazılabilen bir malzeme ve “kaya” ise patlatılarak gevşetilmesi gerekli olan bir malzeme olarak kabul edilmiştir. Sökücü-dozerlerin yıllar içerisinde göstermiş olduğu teknolojik aşamalar (Çizelge 1), örtü-kazı işlerinde delme-patlatma yöntemiyle giderek daha fazla rekabet edebilir duruma gelmelerini sağlamıştır. Daha güçlü dozerlerin kullanılmasıyla birlikte, kazılabilirlik açısından zemin-kaya ayırımında da değişiklikler olmuş ve “sökülebilir kaya” kavramı doğmuştur.

Kesin bir tanımı bulunmamakla birlikte; “sökülebilirlik” kavramı, örtükazısı yapılacak bir malzemenin sökücü-dozer tarafından uygun parça boyutlarında gevşetilmesi işleminde karşılaşılan kolaylık/zorluk derecesi ile ilişkilendirilmektedir (Eskikaya ve Göktan, 1988). Sökücü-dozer uygulamalarında ekonomik sökme ve mekanik sökme olarak iki farklı etkinlik seviyesinin bulunduğu kabul edilmektedir (Kirsten, 1983). Ekonomik sökme olarak kabul edilen koşullarda, makinenin alt taşıyıcı takımları ve hidrolik sistemlerinde önemli bir tamir-bakım gideriyle karşılaşılmamakta ve zemin randımanlı bir şekilde gevşetilebilmektedir. Bu tür uygulamalarda, (i) makinenin ilerleme hızında bir azalma olmadan, yeterli bir sökme derinliği korunmakta, (ii) her iki palet, zemin yüzeyi ile bütünüyle temas halinde olup, makinenin çeki kuvvetinde bir azalma görülmemekte veya (iii) makine yaklaşık 1-1.5 km/h hızla sökme işlemini gerçekleştirebilmektedir. Mekanik sökme durumunda ise; sökme işlemi sonucunda, yüksek derecede tamir-bakım giderleri ile karşılaşılmaktadır. Bu durumda: (i) sökücü bıçak yeterli bir sökme derinliğine ulaşmamakta ve zeminden dışarı çıkma eğilimi gösterebilmekte, (ii) paletler patinaj yapmakta veya (iii) yeterli bir gevşetme yapamayarak yavaşlamaktadır. Görüldüğü gibi, yukarıda değinilen tanımlamada “ekonomik sökme” terimi makinenin tamir-bakımıyla ilgili olarak

kullanılmıştır. Ekonomik üretim ise ayrı bir konu olup; genellikle, söz konusu bir projeye ait örtükazı işinin hedeflenen bir zaman diliminde ve kabul edilebilir bir maliyetle gerçekleştirilebilmesiyle ilgilidir.

Sınıfı	Traktör Modeli ¹	Ağırlık ² (kg)	Güç (kW)	Teorik Çeki Kuvveti (kN)	
				Hız≈1.6 km/h	Hız≈0 km/h
Çok hafif	D7R Seri II	28 055	179	267	445
Hafif	D8R	41 665	228	342	547
Orta	D9R	53 294	302	454	734
Ağır	D10R	72 517	425	600	921
Çok ağır	D11R	114 243	634	947	1490

¹Caterpillar veya eşdeğeri, ²Tek sökücü bıçaklı

Çizelge 1. Sökücü-dozer özellikleri (Anon, 2001)

Sökülebilirlik analizlerinde makine ve kayaca ait parametrelerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Makinenin uygulayabildiği sökme kuvveti, ilerleme hızı, sökme açısı, sökme derinliği, kaya malzemesi ve kaya kütlesi özellikleri sökülebilirliği etkileyen başlıca parametrelerdir. Anılan parametreler uygulamadan elde edilen deneyimlerin ışığında çeşitli tekniklerle değerlendirilerek, söz konusu bir proje için en uygun kazı yöntemi ve makine parkı belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, çeşitli araştırmacı ve kurumlar tarafından günümüze kadar geliştirilen sökülebilirlik/kazılabilirlik belirleme yöntemlerinin belirli bir ayrıntı çerçevesinde tanıtılması amaçlanmıştır.

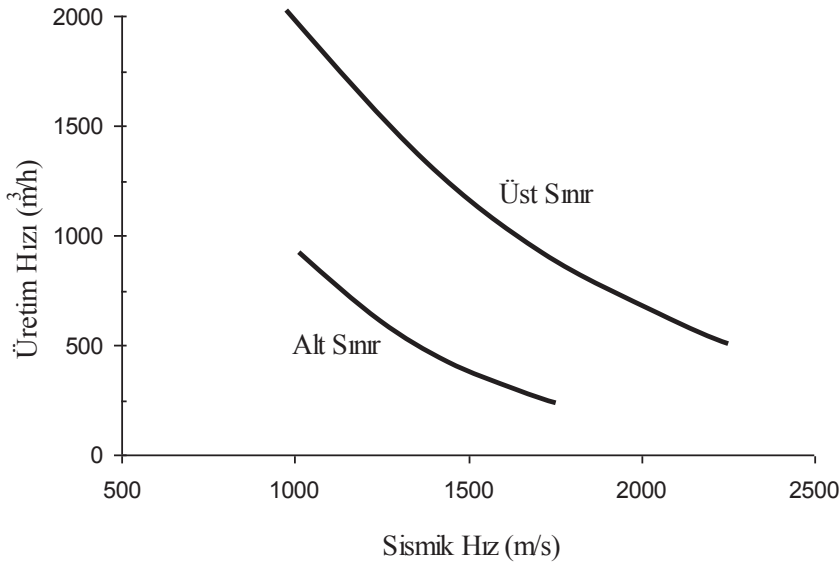
2. Sökülebilirlik Tayini Amacıyla Önerilen Yöntemler

2.1 Sismik Yöntem

Kayaç sökülebilirliği tayini konusunda ilk çalışmalar 1958 yılında Caterpillar firması tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, kayaçların arazide ölçülen sismik hız değerlerine ve sökücü makine güçlerine bağlı olarak, sökülebilirlik sınırları (Çizelge 2) ve üretim hızları (Şekil 2) önerilmiştir. Sismik hız yönteminin esası, yeryüzünde oluşturulan sismik dalgaların kayaçlardaki ilerleme hızının ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Yüksek hız değerleri görece daha sağlam kayaçlara karşılık olmaktadır. Bu nedenle; araziden elde edilen sismik hız değerleri, incelenen kaya kütleleri için bir "sağlamlık" ölçütü olarak kullanılmakta ve örtü kazı işlerinde (i) kazı türünün tayini (ii) makine parkının seçimi (iii) üretim hızının kestirimi ve (iv) birim kazı fiyatının belirlenmesi gibi konularda yol gösterici olmaktadır.

Sismik Hız (m/s)	Sökülebilirlik	Makine Sınıfı	Makine Gücü (kW)
300-600	Çok Kolay	D7	149
600-900	Kolay	D7-D8	
900-1500	Orta	D8	224
1500-2100	Zor	D9	305
2100-2400	Çok Zor	D9-D10	
2400-2700	Son Derece Zor	D10	522

Çizelge 2. Sismik hız-sökülebilirlik ilintileri (Öncel, 1975)



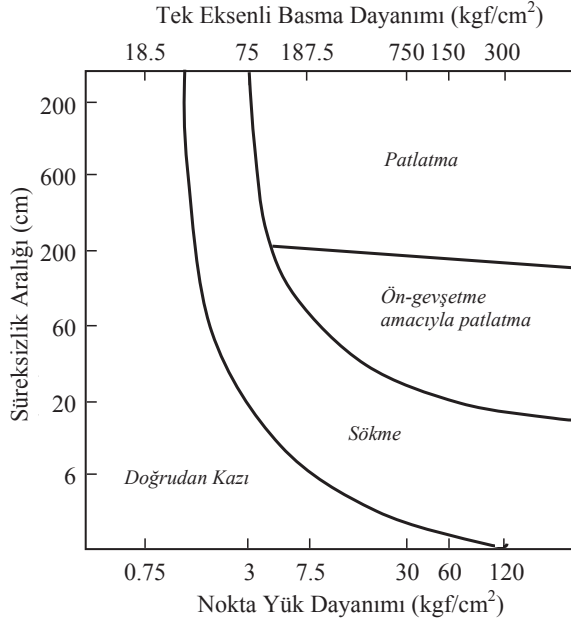
Şekil 2. Cat D9 modeli sökücü için sismik hız-teorik üretim hızı ilintileri (Anon, 1980)

Sismik yöntem, sondaj yöntemine göre geniş alanları daha az maliyetle ve daha kısa sürede inceleyebilen yaygın bir yöntem olmasına karşın, kaydedilen verilerin değerlendirilmesi aşamasında deneyimli bir ekibe gerek duymaktadır. Özellikle, jeolojik açıdan karmaşık yapıya sahip sahalarda verilerin değerlendirmesi zor olmaktadır. Örneğin; farklı sertlikte ve dik dalımlı tabakalarda sismik yorumların sıhhatli olarak yapılabilmesi çok zor olmakta ve bunun sonucu olarak makine parkı seçiminde önemli yanılgılar söz konusu olabilmektedir (Anon., 1969). Diğer yandan; sulu ortamlarda sismik dalgalar çok daha hızlı bir şekilde hareket ettiğinden, katmanlaşma gösteren tipik çökel kayaçlarda yeraltı su tabakasının varlığı da yanıltıcı sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, özellikle çökel kayaçlarda yapılan sismik çalışmalarda, yeraltı suyu varlığının diğer yöntemlerle belirlenmesi gerekli olmaktadır. Yüksek poroziteli kaya malzemeleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalara göre; % 50-70 düzeyinde poroziteye sahip bir malzeme kuru durumda 300 m/s'lik bir sismik hız vermesine rağmen, suya doymun durumda 1350 m/s civarında bir sismik hız değeri verebilmektedir (Griffiths ve King, 1976). Ölçülen sismik hızlar "ortalama" değerleri temsil ettiğinden, yumuşak formasyonlar içerisinde bulunması olası ve sökülmesi çok zor/olanaksız olan sert kaya bloklarının varlığı belirlenmemektedir. Görünürde benzer özellikler gösteren malzemelerde sismik hız değerlerinin 1.000 m/s'ye kadar farklılıklar gösterebildiği rapor edilmektedir (Kirsten, 1982).

Yukarıda kısaca değinilen tüm bu faktörler dikkate alındığında, sismik hız yöntemiyle elde edilen verilerin diğer jeolojik faktörlerle birlikte değerlendirilmesinin daha sıhhatli sonuçlar verebileceği söylenebilir.

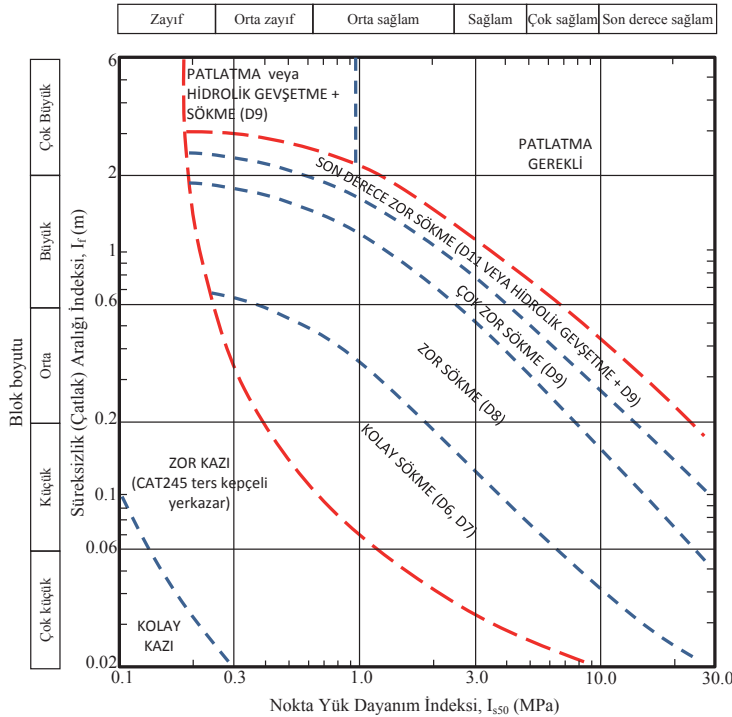
2.2 Grafikselsel Yöntem

Açık işletmelerde kazılabilirlik amaçları için geliştirilen bir diğer yöntem ise, kaya malzemesi ve kaya kütlesi özelliklerinin birlikte değerlendirildiği "grafikselsel yöntem"dir. (Franklin ve ark., 1971). Bu yöntemde; kayacın mekanik dayanımı nokta yük indeksi veya tek eksenli basma dayanımı parametreleri yardımıyla, kaya kütlesi özelliği olan süreksizlik aralığı ise sondaj veya mostralardan elde edilen veriler yardımıyla belirlenmektedir. Her iki jeoteknik parametreye ait sayısal değerlerin grafik üzerine işlenmesiyle, uygulanması önerilen kazı türü (doğrudan kazı, sökme, ön-gevşetme amaçlı patlatma ve patlatma) tayin edilebilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Grafiksel yöntem (Franklin ve ark., 1971)

Grafiksel yöntem, kazılabilirlik uygulamaları açısından en önemli olarak kabul edilen iki parametreyi içermekle birlikte, Şekil 3'te çizilen kazı kolaylığı sınırları oldukça yetersiz sayıda saha gözlemlerine dayandırılmış olup, kullanılacak mekanik kazı araçları hakkında herhangi bir öneri getirmemektedir. Çizilen sınırların çok "genel" olduğu ve bu nedenle, farklı jeolojik koşullara ve farklı kazı makinelerine göre değişiklik gösterebileceği önemle vurgulanmıştır (Fookes ve ark., 1971). Bu noktadan hareketle, sonraki yıllarda, farklı litolojik birimlerden ve kazı makinelerinden elde edilen çok sayıda saha verileri yardımıyla (Pettifer ve Fookes, 1994; Bozdağ, 1988) grafik üzerindeki kazı kolaylığı sınırları daha ayrıntılı bir şekilde güncellenmiştir. Pettifer ve Fookes (1994) tarafından güncellenen kazılabilirlik grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Güncellenmiş kazılabilirlik grafiği (Pettifer ve Fookes, 1994)

2.3 Kazılabilirlik/Sökülebilirlik Sınıflama Sistemleri

Son yıllarda, kaya kütlesi kazılabilirlik özelliklerinin sınıflama sistemleri yardımıyla belirlenmesi konusunda yeni yaklaşımlar izlenmektedir. Bu tür yaklaşımların ortak yanı, kazılabilirliği etkilediği düşünülen en önemli jeoteknik parametrelerin ağırlıklı puanlama sistemiyle değerlendirilerek, kaya kütlesini kazı kolaylığına göre sınıflara ayırmak ve her sınıf için uygun olabilecek kazı aracını belirlemektir. Bu tür sınıflama yöntemlerine ait örneklere aşağıda değinilmiştir.

2.3.1 Weaver Tarafından Önerilen Yöntem

Weaver (1975) tarafından önerilen “Sökülebilirlik Puanlama Çizelgesi”, temelde Bieniawski (1973)’nin yeraltı yapıları ve tüneller için geliştirmiş olduğu RMR sisteminin sökme işlemine olan bir uyarlamasıdır. Önerilen puanlama çizelgesinde (Çizelge 3) kaya kütlesinin sökülebilirlik özellikleri üzerinde rol oynadığı düşünülen parametrelere (Arazide ölçülen sismik hız, kayaç sertliği, ayrışma derecesi, süreksizlik aralığı, süreksizliklerin devamlılığı, süreksizlik yüzeylerinin açıklığı, doğrultu ve eğim) ağırlıklı puanlar verilmiştir. Verilen puanların toplam

Kaya Kütlesi Tanımlama	I Çok sağlam kaya kütlesi	II Sağlam kaya kütlesi	III Orta kaya kütlesi	IV Zayıf kaya kütlesi	V Çok zayıf kaya kütlesi
Sismik Hız (m/s)	>2150	2150 - 1850	1850 - 1500	1500 - 1200	1200 - 450
Puanlama	26	24	20	12	5
Kayaç Sertliği	Son derece sert	Çok sert	Sert	Yumuşak	Çok yumuşak
T.E.B. Dayanımı (MPa)	>70	20 - 70	10 - 20	3 - 10	1.7 - 3
Puanlama	10	5	2	1	0
Ayrışma Derecesi	Ayrışmamış	Orta derecede ayrılmış	Ayrılmış	Oldukça ayrılmış	Tamamen ayrılmış
Puanlama	9	7	5	3	1
Süreksizlik Aralığı (mm)	>3000	3000 - 1000	1000 - 300	300 - 50	<50
Puanlama	30	25	20	10	5
Süreksizlik Devamlılığı	Sürekli değil	Hafif sürekli	Sürekli - Dolgu yok	Sürekli-Biraz dolgulu	Sürekli-Dolgulu
Puanlama	5	5	3	0	0
Süreksizlik Açıklığı	Ayrılma yok	Hafifçe ayrılmış	Ayrılma <1 mm	Dolgu - <5 mm	Dolgu - >5 mm
Puanlama	5	5	4	3	1
Doğrultu ve Eğim Yönelimi	Oldukça kötü yönelim	Kötü yönelim	Az kötü yönelim	Uygun yönelim	Oldukça uygun yönelim
Puanlama	15	13	10	5	3
TOPLAM PUAN	100 - 90	90 - 70	70 - 50	50 - 25	<25
Makina Seçimi	Patlatma	DD9G/D9G	D9/D8	D8/D7	D7

Çizelge 3. Sökülebilirlik puanlama çizelgesi (Weaver,1975)

değerine göre, sökülebilme kolaylığı açısından kaya kütleleri beş sınıfa ayrılmış ve her sınıf için uygun olabilecek sökücü-dozer modeli önerilmiştir. Anılan çalışmanın uygulamadaki geçerliliği, Güney Afrika'da gerçekleştirilen iki adet arazi gözlemiyle desteklenmiştir.

Çizelge 3'te değinilen kayaç sertliğine ilişkin puanlar kayacın "tek eksenli basma dayanımı"na karşılıktır. Kayaç sertlik derecesi ise anılan çalışmada ek olarak verilen bir sınıflamadan elde edilmektedir. Bu sınıflamaya göre: Çok yumuşak kayaç 1,7-3,0 MPa; Yumuşak kayaç 3,0-10 MPa; Sert kayaç 10-20 MPa; Çok sert kayaç 20-70 MPa ve Son derece sert kayaç > 70 MPa olarak tanımlanmaktadır. Burada dikkati çeken husus, 10-20 MPa tek eksenli basma dayanıma sahip kayaçların "Sert kayaç" kapsamında değerlendirilmiş olmasıdır. Literatürde yaygın olarak kullanılan diğer sınıflamalarda ise (ISRM, 1978; Bieniawski, 1980) bu tür kayaçlar "Çok düşük dayanımlı" veya "Düşük dayanımlı" malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, yazar tarafından önerilen sınıflamanın kabul edilmesi durumunda, açık işletme örtü kazı işlerinde karşılaşılan kayaçların büyük bir çoğunluğunun "Sert kayaç" kapsamında değerlendirilmesi gerekecektir. Diğer yandan; Çizelge 3'te tabakaların doğrultu ve eğim yönelimi için verilen ağırlıklı puanlar, sökülebilirlik açısından oldukça "subjektif" terimlerle tanımlanmıştır. Bu nedenle, uygulamada, aynı arazi koşulları için farklı araştırmacılar tarafından farklı puanlamalar yapılması söz konusu olabilecektir.

Weaver tarafından önerilen sınıflama yöntemi Caterpillar D7, D8 ve D9 sökücü dozerlerin beklenen performansları üzerine kurulmuştur. Günümüzde, D10 ve D11 gibi çok daha güçlü dozerlerin sökme faaliyetlerinde kullanılmakta olduğu göz önünde tutulursa (Çizelge 1), anılan sınıflama sisteminin açık işletme örtü kazı işlerinde oldukça sınırlı bir uygulama alanı bulması beklenebilir. Bu sınıflama sistemi, puanlama çizelgesinde yer alan sismik hız ihmal edilerek Smith (1986) tarafından yeniden düzenlenmiştir. Ancak, getirilen bu yeni yaklaşımın geçerliliği herhangi bir arazi uygulamasıyla kanıtlanmamıştır.

2.3.2 Kirsten Tarafından Önerilen Yöntem

Kirsten (1982), daha önce Barton (1974) tarafından yeraltı yapıları ve tüneller için geliştirilen "Kaya kütlesi sınıflandırma sistemi" ni sökülebilirlik amaçları için uyarlamıştır. Anılan yöntemde; kayaç dayanımı, blok boyutu, sökme yönüne bağlı olarak tayin edilen göreceli zemin yapısı ve süreksizlik yüzeylerinin dayanımı gibi parametreler kullanılarak bir "Kazılabilirlik Sınıflama İndeksi, N" oluşturulmuştur. Buna göre, toplam kazılabilirlik puanı N:

$$N = MS \cdot (RQD/J_n) \cdot JS \cdot (J_r/J_a) \quad (1)$$

bağıntısıyla tanımlanmaktadır. Burada: MS kaya malzemesi dayanımı (tek eksenli basma dayanımı); RQD kaya kalitesi göstergesi; J_n süreksizlik takımı adedi; JS göreceli zemin yapısı; J_r süreksizliklerin pürüzlülüğü ve J_a süreksizliklerin alterasyonu ile ilgili parametrelerdir. Elde edilen N değerlerine bağlı olarak, kaya kütleleri sökülebilirlik özellikleri bakımından dört sınıfa ayrılmakta ve her sınıf için kullanılması önerilen sökücü-dozer tipleri belirtilmektedir:

- 1 < N < 10 Kolaylıkla sökülebilir (Cat D7)
- 10 < N < 100 Zor sökülür (Cat D8)
- 100 < N < 1 000 Çok zor sökülür (Cat D9)
- 1 000 < 10 000 Son derece zor sökülür (Cat D10)
- 10 000 > Patlatma

Önerilen yöntemde, ortalama blok boyutunu belirlemesi bakımından, RQD/ J_n oldukça hassas

bir şekilde belirlenmesi gerekli bir parametre konumundadır. Bu sistemde, toplam kazılabilirlik puanı göz önünde bulundurulmuş tüm parametrelerin "çarpımı" olarak elde edildiğinden (Bağıntı 1), özellikle RQD < 25 olan "zayıf" yapıya sahip kaya kütlelerinde RQD tayininde yapılacak % 5 lik bir hata, kaya kütlelerini "Kolay sökülebilir" sınıfından "Zor sökülür" sınıfına taşıyabilmektedir (Weaver, 1983). Diğer yandan, RQD'nin sondaj karotlarından elde edilemediği durumlarda, Palmstrom (1974) tarafından teklif edilen

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad (2)$$

görgül bağıntısının kullanılabilmesi belirtilmektedir. Burada: J_v bir metreküp hacmindeki bir kaya kütlelerinde bulunan süreksizlik adedidir. Ancak, Bağıntı 2'nin "kil içermeyen" kayalar için geçerli olduğu göz önünde tutulduğunda (Barton ve ark., 1974); marn, silttaşı ve çamurtaşı gibi sökme yönteminin yaygın olarak uygulandığı birçok çökel kayada geçerli olamayacağı anlaşılmaktadır.

Bağıntı 1'de yer alan göreceli zemin yapısı JS kinematik olarak belirlenen bir parametre olup; sökme yönü ile eklem takımlarının sıklığı, doğrultusu ve yöneliminin kazı kolaylığına olan etkisi ile ilgilidir. Ancak, bu parametreye ait sayısal değerlerin arazide doğru olarak saptanabilmesi için, kaya kütlelerindeki eklem takımlarının düzenli bir biçimde dağılmış olması ve sökme yönünün çalışma boyunca aynı kalması gerekmektedir. Bu iki koşulun her uygulamada gerçekleşmesi mümkün gözükmemektedir. Sökme işleminin uygulandığı çoğu örtü kazı çalışmalarında, malzeme parça boyutunun yükleyici kepçe kapasitesine uyum sağlayacak şekilde elde edilmesi zorunluluğu vardır. Bu nedenle, istenilen parça boyutuna ulaşabilmek için, sökme istikametinin değiştirildiği "çapraz sökme" işleminin uygulanması kaçınılmaz olmaktadır.

2.3.4 Abdüllatif ve Cruden Yöntemi

Abdüllatif ve Cruden (1983), yer altı yapıları tahkimat amaçları için geliştirilen RMR (Bieniawski, 1973) ve Q (Barton ve ark., 1974) kaya kütleleri sınıflama sistemlerinin kazılabilirlik amaçları için kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla, çimento malzemesi ve yol yapım agregası elde etmek amacıyla işletilen bazı taş ocaklarında uygulanan doğrudan kazı, sökme ve delme-patlatma uygulamalarından elde edilen jeoteknik veriler değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; RMR sisteminde toplam puanı < 60 olan kaya kütlelerinin "sökülebilir" nitelikte olduğu ve bu değer üzerinde ağırlıklı puana sahip kaya kütleleri için delme-patlatma yapılmasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Q-sistemi kullanılarak yapılan analizlerde ise, birçok durumda, sökme ve delme-patlatma yöntemi arasındaki sınır değerler kesin olarak ayırt edilememiştir. Q-sisteminde yer alan ve özellikle yeraltı yapılarında önemli olan "Aktif gerilme" parametresinin yüzeye yakın konumdaki kaya kütlelerinde çok az değiştiği ve bu nedenle kazılabilirlik amaçları için uygun olmadığı vurgulanmıştır.

2.3.5 Müftüoğlu ve Scoble Yöntemi

Müftüoğlu ve Scoble (1985) tarafından önerilen "Kazılabilirlik Parametre Puanlama Sistemi" dönerkepçe yerazarlar dışında kalan kazı araçları için geliştirilmiş bir sınıflama sistemidir. Sınıflama sisteminin oluşturulmasında kullanılan veriler, İngiltere Ulusal Kömür Kurumu Açık İşletme Müdürlüğü'nce işletilen çeşitli sahalardan elde edilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda; kazılabilirliği etkileyen en önemli parametrelerin; (i) Ayrışma derecesi, (ii) Tek eksenli basma dayanımı, (iii) Çatlaklar arası mesafe ve (iv) Katmanlaşma kalınlığı olduğu belirlenmiştir. Bu parametrelerin çeşitli kazı araçlarının performanslarına olan etkileri ağırlıklı puanlama sistemi ile saptanarak, bir kazılabilirlik puanlama sistemi oluşturulmuştur (Çizelge 4). Buna göre, kaya kütleleri başlıca yedi sınıfa ayrılmış ve her sınıf için kullanılması önerilen

kazı aracı belirtilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 4 incelendiğinde, kazı araçlarının performansında rol oynayan en önemli parametrelerin kaya kütleindeki süreksizlikler (çatlaklar arası mesafe ve katmanlaşma kalınlığı) olduğu görülmektedir. Çalışmada, katmanlaşma kalınlığının sondaj karotlarından belirlenmesi önerilirken; katmanlaşma yüzeyine dik veya dike yakın düzlemlerdeki çatlaklar arası uzaklığın ise sismik yöntemlerle saptanabileceği belirtilmektedir.

Parametreler	Kayaç Sınıfı				
	I	II	III	IV	V
Ayrışma derecesi	Tümüyle	Oldukça	Orta	Hafifçe	Ayrışmamış
Puanlama	0	5	15	20	25
Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	<20	20-40	40-60	60-100	>100
Nokta yük indeksi Is(50)	<0.5	0.5-1.5	1.5-2	2-3.5	>3.5
Puanlama	0	10	15	20	25
Çatlaklar arası mesafe (m)	<0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	1.5-2	>2
Puanlama	5	15	30	45	50
Katmanlaşma kalınlığı (m)	<0.1	0.1-0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	>1.5
Puanlama	0	5	10	20	30

Çizelge 4. Kazılabilirlik parametre puanlama sistemi (Müftüoğlu ve Scoble, 1985)

Sınıf	Kazı Tanımı	Toplam Kazılabilirlik Puanı (AD+BDn+Ç+K)*	Kazı Türü	Kazı Aracı (Patlayıcı Madde Kullanmaksızın)
1	Çok kolay	<40	Sökme Çekmekepçe ile kazı Kepçeli yerkazar ile kazı	Sökücü-Skreper, Cat. D8 Çekmekepçe>5m ³ , Lima 2400 Halatlı kollu yerkazar>3m ³ , Ruston Bucyrus 71RB
2	Kolay	40 - 50	Sökme Çekmekepçe ile kazı Kepçeli yerkazar ile kazı	Sökücü- Skreper, Cat. D9 Çekmekepçe>8m ³ , Marion 195 Halatlı kollu yerkazar>5m ³ , Ruston Bucyrus 150RB
3	Biraz zor	50 – 60	Sökme Kepçeli yerkazar ile kazı	Sökücü-Kepçeli yerkazar, Cat. D9 Hidrolik kep. yerkazar>3m ³ , Cat.245
4	Zor	60 - 70	Sökme Kepçeli yerkazar ile kazı	Sökücü-Kepçeli yerkazar, Cat. D10 Hidrolik kep. yerkazar>3m ³ , Cat.245 veya O&K RH40

Sınıf	Kazı Tanımı	Toplam Kazılabilirlik Puanı (AD+BDn+Ç+K)*	Kazı Türü	Kazı Aracı (Patlayıcı Madde Kullanmaksızın)
5	Oldukça zor	70 - 95	Kepçeli yerkazar ile kazı	Hidrolik kep. yerkazar>3m ³
6	Çok zor	95 - 100	Kepçeli yerkazar ile kazı	Hidrolik kep. yerkazar>7m ³ Demag H111, Poclain 1000 CK, PH1200, P&H 1200, O&K RH75
7	Gevşetilme olmaksızın pek zor	>100	Kepçeli yerkazar ile kazı	Hidrolik kep. yerkazar>10m ³ Demag H241, O&K RH300

*AD: Ayrışma derecesi, BDn: Tek eksenli basma dayanımı, Ç: Çatlaklar arası mesafe, K: Katmanlaşma kalınlığı

Çizelge 5. Kazılabilirlik sınıflandırması (Müftüoğlu ve Scoble, 1985)

Kazılabilirlik sınıflaması (Çizelge 5) sökülebilirlik uygulamaları açısından incelendiğinde; sökücü-dozerlerin kazı sınıfı 1- 4 arasında olan kaya kütleleri için uygun olacağı görülmektedir. Anılan sınıflama sistemi, GLİ açık işletmelerinde D9 tipi sökücü-dozerle yapılan çeşitli örtü kazı faaliyetlerine uygulanmış ve kazı hızı kestirimi amacıyla başarılı bir şekilde kullanılabilceği görülmüştür (Göktan ve Ayday, 1989).

2.3.6 Singh ve Arkadaşları Tarafından Önerilen Yöntem

Singh ve ark., (1986) kömür havzası kayaçlarındaki uygulamalardan elde ettikleri verileri değerlendirerek, başlıca beş parametreden oluşan bir sökülebilirlik sınıflama sistemi geliştirmiştir (Çizelge 6). Önerilen sınıflama sisteminde; kayacın çekme dayanımı, ayrışma derecesi, arazide ölçülen sismik hız, kayaç aşındırıcılığı ve süreksizlik aralığı parametrelerine ağırlıklı puanlar verilerek, kaya kütlesi sökülebilirlik kolaylığı açısından beş sınıfa ayrılmış ve her sınıf için uygun görülen sökücü-dozer tipi belirtilmiştir.

Parametreler	Kayaç Sınıfı				
	1	2	3	4	5
Çekme dayanımı (MPa)	<2	2 - 6	6 - 10	10 -15	>15
Puanlama	0 - 3	3 - 7	7 -11	11 - 14	14 - 17
Ayrışma derecesi	Tamamen	Oldukça	Orta	Hafifçe	Yok
Puanlama	0 - 2	2 - 6	6 - 10	10 - 14	14 - 18
Sismik hız (m/s)	400-1100	1100-1600	1600-1900	1900-2500	>2500
Puanlama	0 - 6	6 - 10	10 - 14	14 - 18	18 - 25
Aşındırıcılık	Çok düşük	Düşük	Orta	Oldukça	Son derece
Puanlama	0-5	5-9	9-13	13-18	18-22

Parametreler	Kayaç Sınıfı				
	1	2	3	4	5
Süreksizlik aralığı (m)	<0.06	0.06-0.3	0.3-1.0	1.0-2.0	>2.0
Puanlama	0 - 7	7 - 15	15 - 22	22 - 28	28 - 33
TOPLAM PUAN	<30	30 - 50	50 - 70	70 - 90	>90
Sökülebilirlik	Kolay	Orta	Zor	Sınır	Patlatma
Önerilen sökücü makina türü	D7	D7-D8	D8-D9	D10 veya patlatma	Patlatma

Çizelge 6. Sökülebilirlik sınıflama sistemi (Singh ve ark., 1986)

Önerilen sınıflama sisteminde, şimdiye kadar incelenen sınıflama sistemlerinde yer almayan kayacın çekme dayanımı ve aşındırıcılığının da değerlendirilmeye alındığı dikkat çekmektedir. Geleneksel sökücü-dozerler tarafından uygulanan sökme tekniği, dozer çeki kuvvetinin sökücü dişe iletilerek kayacın kırılması esasına dayanmaktadır. Yazarlar tarafından yapılan kabule göre, sökücün dışın kayaç içerisinde belirli bir derinlikte ilerlemesi esnasında oluşan yenilme mekanizması kayaçta oluşan "çekme gerilmeleri" ile ilgilidir. Yapılan bu kabulde Evans (1966) kesme teorisinin göz önünde bulundurulduğu belirtilmiştir. Aşındırıcılık, çoğu kazılabilirlik sınıflama sisteminde bir girdi parametresi olarak yer almamakla birlikte, yüksek aşındırıcılığa sahip kayaçların sürekli kazı yapan döner kepçeli kazıcılarda keski ömrünü önemli derecede azalttığı bilinmektedir (Hadjigeorgiou ve Poulin, 1998). Kayaç aşındırıcılığının sökme uygulamalarında ne derece etkin bir rol oynadığını gösteren herhangi bir çalışma bulunmadığından, Çizelge 6'da bu parametre için önerilen ağırlıklı puanların ileride yapılacak çalışmalar doğrultusunda değişmesi söz konusu olabilecektir.

2.3.7 Karpuz Tarafından Önerilen Yöntem

Karpuz (1990) tarafından geliştirilen kazılabilirlik sınıflaması, Türkiye Kömür işletmelerine ait yedi ayrı açık işletmede 284 inceleme alanında ve laboratuarda yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulmuştur. Önerilen sınıflama sisteminde; (i) kayacın tek eksenli basma dayanımı, (ii) ortalama süreksizlik aralığı, (iii) sismik hız, (iv) ayrışma ve (v) Schmidt çekici sertliği girdi parametreleri olarak seçilerek, bu parametrelerin çeşitli kazı araçlarının performanslarına olan etkileri ağırlıklı puanlama sistemi ile saptanmıştır (Çizelge 7).

Parametreler	Kayaç Sınıfı				
	1	2	3	4	5
Basma dayanımı (MPa)	<5	5 - 20	20 - 40	40 - 110	>110
Nokta yük indeksi $I_s(50)$	<0.2	0.2 - 0.8	0.8 - 1.6	1.6 - 4.4	>4.4
Puanlama	2	5	10	20	25
Ortalama süreksizlik aralığı (cm)	<30	30 - 60	60 - 120	120 - 200	>200
Puanlama	5	10	15	20	25
Sismik hız (m/s)	<1600	1600-2000	2000-2500	2500-3000	>3000
Puanlama	5	10	15	20	25

Parametreler	Kayaç Sınıfı				
	1	2	3	4	5
Ayrışma durumu	Tamamen ayrılmış	İleri derecede	Orta derecede	Taze-az ayrılmış	Taze-az ayrılmış
Puanlama	0	3	6	10	10
Schmidt çekici sertliği	20	20-30	30-45	45-55	>55
Puanlama	3	5	8	12	15
Kazılabilirlik Puanı	0 - 25	25 - 45	45 - 65	65 - 85	85 - 100
Kazı Tanımı	Kolay	Orta	Orta Zor	Zor	Çok Zor
Önerilen Sökücü Türü	D7	D8 veya D9	D9 veya D11	D11	Patlatma
Elektrikli Yerkazar	Kazabilir	Patlatma	Patlatma	Patlatma	Patlatma
Hidrolik Yerkazar	Kazabilir	Kazabilir	Patlatma	Patlatma	Patlatma

Çizelge 7. Kazılabilirlik sınıflaması (Karpuz, 1990)

Çizelge 7 incelendiğinde, kazı araçlarının performansında rol oynayan en önemli parametrelerin ortalama süreksizlik aralığı ve sismik hız olarak seçildiği görülmektedir. Önerilen sınıflama sistemi; kaya kütlelerinde tabakalanma + tabakalanmaya dik yönde iki adet eklem sisteminin bulunduğu kabulüne göre oluşturulmuştur. Ortamda (i) tek eklem takımı bulunması, (ii) sadece tabakalanma bulunması veya (iii) hiçbir süreksizlik bulunmaması durumlarında sırasıyla 5, 10 ve 15 puan eklenmesi gerekmektedir. Anılan sınıflama sisteminin oluşturulmasında, çok sayıda arazi verisinden yararlanılması ve D11 gücündeki sökücü-dozerlerin kazı yeteneklerine de yer verilmiş olması uygulama açısından önemli bir avantaj olarak kabul edilebilir.

2.3.8 Basarir ve Karpuz Tarafından Nerilen Yöntem

Basarir ve Karpuz (2004) tarafından geliştirilen “Sökülebilirlik Puanlama Sistemi”, Kütahya-Tunçbilek ve Sivas-Kangal bölgelerindeki linyit ocaklarından elde edilen arazi verileri ve laboratuvar çalışmaları sonucu oluşturulmuştur (Çizelge 8). Anılan sınıflama sisteminde sismik hız, nokta yük indeksi/tek eksenli basma dayanımı, ortalama süreksizlik aralığı ve Schmidt çekici sertliği olmak üzere dört parametreye ağırlıklı puanlar verilerek; elde edilen toplam puana göre kaya kütlelerinin sökülebilirlik kolaylığı, sökücü-dozer tipi ve üretim miktarı (m^3/h) belirlenebilmektedir (Çizelge 9).

Parametre	Sınıf				
	1	2	3	4	5
Sismik P-dalga hızı, m/s	0 - 800	800 - 1000	1000 - 2000	2000 - 2500	> 2500
Puan	0 - 5	5 - 15	15 - 20	20 - 30	30
Nokta yük indeksi, MPa	<0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1	1 - 2	>2
Tek eksenli basma dayanımı, MPa	<5	5 - 15	15 - 25	25 - 45	>45
Puan	0 - 5	5 - 15	15 - 25	25 - 35	35
Ortalama süreksizlik aralığı, m	<0.5	0.5 - 1	1 - 1.5	1.5 - 2.5	>2.5
Puan	0 - 3	3 - 10	10 - 14	14 - 20	20
Schmidt çekici sertliği	<15	15 - 35	35 - 45	45 - 50	>50
Puan	0 - 2	2 - 7	7 - 10	10 - 15	15

Çizelge 8. Sökülebilirlik sınıflama sistemi (Basarir ve Karpuz, 2004)

Sınıf	Puan	Spesifik Enerji	CATD8 dozeri için	
			Belirlenen sınıf	Üretim, m ³ /h
1	0 – 20	<3.75	Çok kolay	> 1300
2	20 – 55	3.75 – 5.25	Kolay	900 – 1300
3	55 – 70	5.25 – 7.00	Orta	400 – 900
4	70 – 85	7.00 – 9.00	Zor	250 – 400
5	85 – 95	>9.00	Çok zor	<250
6	95 – 100	–	Patlatma	0

Çizelge 9. D8 dozeri için sökülebilirlik sınıfları (Başarır ve Karpuz, 2004)

Anılan sınıflama sisteminin getirmiş olduğu en önemli yenilik; herhangi bir uygulama için belirlenen sökücü-dozer tipi (D7/D8/D9/D10/D11 sınıfı veya eşdeğeri) ve beklenen üretim miktarının ilişkilendirilmiş olmasıdır. Diğer sınıflama sistemlerinde yer almayan bu tür bir ilişkilendirmenin, gerek kazı aracı seçimi ve gerekse üretim planlaması konularında uygulamaya önemli katkılarda bulunması söz konusudur. Çalışmada getirilen bir diğer önemli yenilik ise, kazı kolaylığı ve üretim miktarının laboratuvarında elde edilen "Özgül kesme enerjisi" yardımıyla belirlenmesine olanak sağlamasıdır (Çizelge 9).

2.4 Diğer Yöntemler

2.4.1 Göktan ve Eskikaya Tarafından Önerilen Yöntem

Göktan ve Eskikaya (1991) tarafından geliştirilen "Kaya Kütlesi Sökülebilirlik İndeksi", GLİ Tunçbilek açık işletmelerine ait çeşitli panolarda Cat D9 tipi sökücü-dozerlerle yapılan örtü kazı faaliyetlerinin incelenmesi sonucunda oluşturulmuştur. Yapılan arazi gözlemleri sonucunda, sökülebilirliği etkileyen en önemli parametreler süreksizlikler (tabakalanma ve eklem takımları) ve kayacın mekanik dayanımı (tek eksenli basma dayanımı) olarak belirlenmiştir. Bu noktadan hareketle, kaya kütlesi sökülebilirlik indeksi RMRI:

$$RMRI = [0.5 / (da \cdot db)] \cdot qu \quad (3)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada; da ve db sırasıyla, birincil süreksizlikler (katmanlar) ve ikincil süreksizlikler (eklemler) için ortalama süreksizlik adedi/m olup qu ise kayacın tek eksenli basma dayanımıdır (MPa). Parantez içinde yer alan 0.5 / (da \cdot db) terimi, sökülebilirlik amaçları için kaya kütlesinin süreksizlikler tarafından ne derece zayıflatıldığını yansıtmaktadır. Bu terimin 1.00 civarında değerler alması durumunda, sökme kolaylığı büyük ölçüde kaya malzemesinin mekanik dayanımına bağlı olmaktadır.

Bağıntı 3'ün kazı hızı kestiriminde kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla, dokuz farklı inceleme alanında zaman etütleri yapılmıştır. Sökücü-dozerin manevra, küreme ve duraklamaları değerlendirme dışı bırakıldığında, net kazı hızı Qn:

$$Qn = 1434 - 31.7 \cdot RMRI \quad m^3/h \quad (r = 0.96) \quad (4)$$

bağıntısı (r = 0.96) elde edilmiştir. Aynı koşullarda; süreksizliklerin ve tek eksenli basma dayanımının net kazı hızı ile olan ilişkileri ayrı olarak incelendiğinde ise:

$$Qn = 564.6 + 47.8 \cdot (da \cdot db) \quad m^3/h \quad (r = 0.59) \quad (5)$$

$$Q_n = 1072.5 - 8.4 q_u \quad m^3/h \quad (r = 0.51) \quad (6)$$

oldukça zayıf korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir. Elde edilen bu bulgular, sökücü-dozerlerin performans tayininde süreksizliklerin ve kaya malzemesi mekanik dayanımının birlikte değerlendirilmesinin önemine işaret etmektedir.

2.4.2 Bulanık Mantık Uygulamaları

Geleneksel sınıflama yöntemlerinde kazı kolaylığı tanımı ve kazı makinesi seçimi, belirli puan aralıklarına göre yapılmaktadır. Ancak, bu çalışmada tanıtılan tüm sınıflama sistemlerinde görüldüğü gibi, kazı kolaylığı tanımları ve kazı makinesi türü arasındaki geçişler oldukça "keskin" sınırlarla ayrılmaktadır. Örneğin; Çizelge 5'te, Çok Kolay Kazı ile Kolay Kazı tanımları arasındaki geçiş 40 sınır puanı ile birbirinden ayrılmıştır. Buna göre, herhangi bir uygulama için elde edilen toplam puanın 39 olması durumunda D8 türü sökücü-dozer önerilirken, toplam puanın 41 olması durumunda ise D9 türü sökücü-dozer önerilmektedir. Bu durum, karar verme aşamasında, uygulamacılar için bazı belirsizlikleri beraberinde getirmektedir. Değinilen keskin geçişler, sınıflama sistemini oluşturan her bir jeoteknik parametrenin kendi sınıfı içerisinde de bulunmaktadır. Örneğin; Çizelge 4 incelendiğinde, tek eksenli basma dayanımı değeri 20 MPa olduğunda verilecek puan 10 iken, bu değer 19 MPa olması durumunda 0 (sıfır) puan verilmesi gerekmektedir. Bunun sonucu olarak, sadece tek eksenli basma dayanımındaki 1 MPa lık bir değişim bile seçilecek kazı makinesi türünü önemli derecede etkileyebilmektedir (İphar, 2004; İphar ve Göktan, 2006).

Yukarıda kısaca değinilen sorunların giderilebilmesi amacıyla, son yıllarda birçok farklı alanda uygulamaları izlenen "bulanık mantık" kavramı sökülebilirlik/kazılabilirlik sınıflama sistemlerine de uygulanmaya başlanmıştır. Bu amaçla yapılan bir çalışmada (İphar, 2004; İphar ve Göktan, 2006), bulanık mantık kavramı Müftüoğlu ve Scoble (1985) ve Karpuz (1990) tarafından geliştirilen iki ayrı sınıflama sistemine uygulanmıştır. Çalışmada, sınıflama sistemlerinde kullanılan parametrelere ve elde edilen toplam puana göre belirlenen kazı kolaylığı bulanık kümelerle ifade edilerek, bulanık anlam çıkartma sistemleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bulanık sistemlere, sınıflama sistemlerinde yer alan parametreler için girdi değerleri verilerek bulanık çıktılar elde edilmiştir. Elde edilen bulanık çıktılara durulaştırılma yöntemi uygulanarak sayısal sonuçlar alınmıştır. Bu tür bir yaklaşımla, bulanık sistemdeki üyelik derecelerinden yararlanarak; kazı tanımı ve bu tanıma uygun olarak seçilebilecek kazı aracının seçiminde ortaya çıkabilecek kararsızlıklar ortadan kaldırılabilir. Bulanık mantık kavramının kullanıldığı bir diğer çalışmada ise (Basarir ve ark., 2007) marn türü kaya kütleleri için bir sökülebilirlik sınıflama sistemi geliştirilmiştir. Anılan sınıflama sistemi yardımıyla; kaya kütlelerinin sökülebilirlik sınıfı, kullanılacak sökücü-dozer tipi ve beklenen üretim miktarı subjektif yanılgılara izin vermeksizin belirlenebilmektedir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- 1950'li yıllarda sismik hız yöntemi ile başlayan sökülebilirlik belirleme yöntemleri, çeşitli sınıflama yöntemlerinin geliştirilmesi ile devam etmiştir. Önceleri tek başına kullanılan sismik hız yönteminin; sonraki yıllarda, birçok sökülebilirlik/kazılabilirlik sınıflama sisteminde tamamlayıcı parametre olarak yer aldığı görülmektedir.

- Bu çalışmada tanıtılan bazı sökülebilirlik sınıflama sistemlerinde, son yıllarda üretilen (CAT D10/CAT D11 veya eşdeğerleri) gibi sökme yetenekleri yüksek olan sökücü-dozerlere yer ve-

rilmediği görülmüştür. Anılan sınıflama sistemlerinin uygulamada daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, ileride yapılacak çalışmalardan elde edilecek veriler yardımıyla güncelleştirilmeleri gerekmektedir.

- Sınıflama sistemleri, genellikle geliştirildikleri madencilik ortamı ve pratiğini yansıtmaktadır. Bu nedenle, herhangi bir proje için kazı tanımı ve kazı aracı seçimi yapılmadan önce, birkaç sınıflama sisteminin birlikte kullanılarak değerlendirme yapılması daha uygun olacaktır.

- Bazı sınıflama sistemlerinde, uygulamacılar tarafından subjektif olarak değerlendirilmesi söz konusu olabilen sınıflama parametrelerinin varlığı dikkat çekmektedir. Bu nedenle, uygulamada, kişisel yorumlara en az yer veren ve kolay uygulanabilir yöntemlerin tercih edilmesi önerilmektedir. Bu bağlamda, son yıllarda geliştirilen ve bulanık mantık kavramına yer veren sınıflama sistemlerinin sökülebilirlik/kazılabilirlik çalışmalarında giderek daha fazla uygulama alanı bulması beklenebilir.

4. Kaynaklar

- Abdüllatif, O.M., Cruden, D.M., 1983. The relationship between rock mass quality and ease of excavation. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. 28, 183-187.
- Anon., 1969. Rock rippability study (Final Report). State Department of Highways Division of Highways-State of Colorado. Rep. Pb. 189.842. October, 22 p.
- Anon., 1980. Performance Handbook. Caterpillar Tractor Company. Peoria, Illinois.
- Anon., 2001. Performance Handbook, Edition 32. Caterpillar Tractor Company. Peoria, Illinois.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics. 45, 189-236.
- Basarir, H., Karpuz, C., 2004. A rippability classification system for marls in lignite mines. Engineering Geology. 74, 303-318.
- Basarir, H., Karpuz, C., Tutluoglu, L. 2007. A fuzzy logic based rippability classification system. The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 107, 61-77.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. The Civil Engineer in South Africa. 15, 335-343.
- Bieniawski, Z.T., 1980. Rock classifications: State of the art and prospects for standardization. Transportation Research Board National Academy of Sciences. No 783, Washington DC, 1-9.
- Bozdağ, T., 1988. Indirect rippability assessment of coal measure rocks. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Eskikaya, Ş., Göktan, R.M. 1988. Kayaçların sökülebilirliği ve açık işletme madenciliğindeki önemi. Türkiye 6. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 469-480.
- Evans, I., Pomeroy, C.D., 1966. The strength, fracture and workability of coal. Pergamon Press.
- Franklin, J.A., Broch, E., Walton, G., 1971. Logging the mechanical character of rock. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. 80, A1-A9.
- Fookes, G.P., Dearman, R.W., Franklin, J.A., 1971. Some engineering aspects of rock weathering with field examples from Dartmoor and elsewhere. Quarterly Journal of Engineering Geology. 4, 139-185.
- Göktan, R.M., Eskikaya, Ş., 1991. Prediction of ripping machine performance in terms of rock mass properties. The Civil Engineer in South Africa. 31, 13-24.
- Göktan, R.M., Aday, C., 1989. Kazılabilirlik sınıflama sistemlerinin kazı hızı kestirimi amacıyla GLİ Tunçbilek açık ocaklarına uygulanması. 11. Türkiye Madencilik Bilimsel ve

- Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 175-185.
- Griffiths, D.H., King, R.F., 1976. Applied Geophysics for Engineers and Geologists. Pergamon.
- Hadjigeorgiou, J., Poulin, R., 1998. Assessment of ease of excavation of surface mines. Journal of Terramechanics. 35, 137-153.
- ISRM., 1978. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock material. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts. 16, 135-140.
- İṗhar, M., 2004. Bulanık kümelerin sökücü seçimi amacıyla kazılabilirlik sınıflama sistemlerine uygulanması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 160 s.
- İṗhar, M., Gök̇tan, R.M., 2006. An application of fuzzy sets to the diggability rating index method for surface mine equipment selection. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 43, 253-266.
- Karpuz, C., 1990. A classification system for excavation of surface coal measures. Mining Science and Technology. 11, 157-163.
- Kirsten, H.A.D. 1982. A classification system for excavation in natural materials. Die Siviele Ingenieur in Suid-Afrika. 82, 293-307.
- Kirsten, H.A.D., 1983. Efficient use on construction of tractor mounted rippers. The Civil Engineer in South Africa. May, 247-264.
- Müftüoğlu, Y.V., Scoble, M.J., 1985. Kömür açık işletmeciliğinde kazılabilirliği belirleme yöntemleri. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi. Ankara. 29-37.
- Öncel, K., 1975. Zeminlerin sökülebilirliği ile P-tipi dalga hızları arasındaki ilişki. Karayolları Teknik Bülteni. Ekim, 347-387.
- Palmstrom, A., 1974. Characterization of jointing density and the quality of rock masses (in Norwegian). Internal report. A.B. Berdal, Norway, 26 p.
- Pettifer, G.S., Fookes, P.G., 1994. A revision of the graphical method for assessing the excavability of rock. Quarterly Journal of Engineering Geology. 27, 145-164.
- Singh, R.N., Denby, B., Egretli, I., Pathan, A.G., 1986. Assessment of ground rippability in opencast mining operations. Mining Magazine, University of Nottingham. 38, 21-34.
- Smith, H.J., 1986. Estimating rippability by rock mass classification. Proceedings of the 27th U.S. Symposium on Rock Mechanics, Alabama. 443-448.
- Weaver, J.M., 1975. Geological factors significant in the assessment of rippability. Die Siviele Ingenieur in Suid-Afrika. 17, 313-316.
- Weaver, J.M., 1983. Discussion on "A classification system for excavation in natural materials". The Civil Engineer in South Africa. 25, 30-34.