

**KAZILABİLİRLİK TAYİNİ VE ÖRTÜ-KAZI
VERİMLİLİK DEĞERLENDİRMESİ
BİR AÇIK İŞLETME ÖRNEĞİ**

DETERMINATION OF DIGGABILITY AND
EVALUATION OF PRODUCTIVITY OF OVERBURDEN
A MODEL OF OPEN PIT MINE

ÖZGÜR KOÇAK

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2006

KAZILABİLİRLİK TAYİNİ VE ÖRTÜ-KAZI VERİMLİLİK DEĞERLENDİRMESİ BİR AÇIK İŞLETME ÖRNEĞİ

Özgür KOÇAK

ÖZ

Örtü malzemesinin kaldırılmasına dayalı açık ocak kömür işletmeciliğinde kazı ve taşıma faaliyetleri için ekskavatör ve kamyon kombinasyonu yaygın olarak kullanılmaktadır. Büyük ölçekli bu iş makinelerinin belirlenmesinde ve işletilmesinde, kazısı yapılacak olan jeolojik birimlerin özelliklerine uygunlukları, kapasite ve verimlilikleri bakımından birbirleriyle uyumlulukları, önem verilmesi gereken hususlardandır. Çünkü, döngüsel bir sistem biçiminde yürütülen maden işletmeciliğinin herhangi bir noktasında oluşan bir uyumsuzluk sistemin genelini etkilemekte ve verimsizliğe neden olabilmektedir.

Bu çalışmada, TKİ Çan Linyitleri İşletmesi'nde linyit üretimi için örtü-kazı amacıyla kullanılan iş makinelerinin kazı esnasındaki verimlilikleri incelenerek jeolojik birimin kazılabilirliği belirlenmiştir. Buna göre, kazılabilirlik bakımından “orta-orta zor” kazı sınıfı olarak tespit edilen birimin, patlatılarak gevşetilmesi durumunda “kolay” kazı sınıfı özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Ancak, bu sınıflandırma işletmede mevcut makinelerin çalışmalarıyla ilgili veriler göz önüne alınarak yapılmıştır.

Çalışmada ayrıca, kazı ve taşıma makineleri, birbirleriyle uyumlulukları bakımından incelenmiştir. Sonuç olarak, sistemin senkronizasyonuna genel bakıldığında uyumlu oldukları söylenebilse de, ayrı ayrı değerlendirildiğinde, bazı kazı-yükleme-taşıma birimlerinin kapasite ve uyuma faktörleri bakımından birbirleriyle uyumsuz oldukları tespit edilmiştir.

Çalışmanın bir diğer amacı olarak, kazı-yükleme ve taşıma makinelerinin verimlilikleri yıllık fiili çalışmaları incelenerek belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda; makinelerin mekanik mevcudiyetleri, mekanik verimlilikleri, fiziksel ve etkin kullanım oranları ayrı ayrı hesaplanmış ve daha sonra genel kullanım verimliliği bulunmuştur. Buna göre, makinelerin mekanik mevcudiyet oranları uygun bulunmalarına rağmen kullanım oranları bakımından verimsiz oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: kazılabilirlik, örtü kazı, maden makineleri, verimlilik, mekanik mevcudiyet, mekanik verim, kullanım oranı

Danışman: Yard. Doç.Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN, Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

DETERMINATION OF DIGGABILITY AND EVALUATION OF PRODUCTIVITY OF OVERBURDEN - A MODEL OF OPEN PIT MINE

Özgür Koçak

ABSTRACT

Excavator and tuck combination is widely used for removing the overburden material in open-pit minng activities. Suitability of excavating and hauling equipments with each other and suitability of excavating machine for characteristics of geological formation are important parameters that must be carefully considered to decide their capacities and performances. Since mining is a cyclic system of individual operations, an unsuitable condition in this sytem may affect the whole system and cause a decrease in productivity.

In this study, digging performances of the excavators used to remove the overburden material at TKİ Çan Lignites are recorded to evaluate the diggability class of the formation. As a result of this study, diggability class of the formation was found "medium to medium-hard" for unblasted operations but, it was found "easy" when the formation was loosened by blasting. It is noted that this classification was done on the basis of data obtained for running equipments in the mine.

Also, excavation and haulage equipments are evaluated for their sutability with each other. Although it is found well matched when the sincronization of whole sytem is considered, some of the individual pairs of the equipments were found unsuitable with each other when they were evaluated on the basis of their capacities and matching factors.

For another aim of this study, the productivities of excavation and haulage equipments are evaluated by considering their annual performances. For this purpose, mechanical existances, mecanical productivities, physical and efficient usages of the machines are determined individually before determining their general productivity. At the end, although the mechanical existence ratios of the machines were found acceptable, they were found less productive according to determined usage ratios.

Keywords: diggability, overburden removal, mining machines, mechanical existance, mechanical productivity, usage ratio

Advisor: Assist.Prof.Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN, Hacettepe Üniversitesi, Department of Mining Engineering

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışmalarımda her türlü yardımı ve ilgiyi gösteren danışmanım Yard. Doç. Dr Mehmet Ali HİNDİSTAN'a, görüş ve önerileri ile çalışmama değerli katkılarda bulunan juri üyeleri Prof. Dr. Celal KARPUZ'a ve Prof. Dr. Bahtiyar ÜNVER'e, bu çalışmanın gerçekleşmesinde beni destekleyen ve teşvik eden bölüm başkanımız Prof. Dr. Erhan TERCAN'a ve Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ'ye, ayrıca yüksek lisansım boyunca bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen tüm bölüm hocalarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışmalarımın gerçekleşmesi için her türlü bilgiyi, desteği sağlayan ve sorularıma sabırla katlanan Ç.L.İ. Etüt Başmühendisi Mehmet BALKIŞ'a çok teşekkür ederim.

İş hayatımda olduğu gibi tez çalışmalarımda da her konuda bana destek veren, ilgisini, bilgisini ve deneyimlerini benimle paylaşan Gökçe İnşaat Proje Müdürü Ertuğrul TÜRKMEN'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her konuda gerek maddi gerekse manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Hedefleri.....	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı.....	2
2. AÇIK OCAK ÖRTÜ KAZI-TAŞIMA SİSTEMLERİ ve KAZILABİLİRLİK.....	4
2.1. Açık Ocak İşletmeciliği.....	4
2.2. Açık İşletme Üretim Yöntemleri ve Ekipmanları.....	5
2.2.1. Açık işletme birim faaliyetleri.....	5
2.2.2. Üretim yöntemi ve ekipman seçimi.....	6
2.2.3. Ekskavatör+ kamyon yöntemi.....	9
2.2.3.1. Kamyon verimliliğini etkileyen faktörler.....	10
2.2.3.2. Makine verimliliğini etkileyen faktörler.....	11
2.2.4. Açık işletmelerde makinelerin ekonomik ömürleri.....	13
2.3. Kazılabilirlik.....	14
2.4. Ekskavatörlerin Saatlik Yükleme Kapasitelerinin Tespiti.....	23
2.4.1. Yapısal özellikler ile ilgili katsayılar.....	25
2.4.1.1. Dönme katsayısı ve operatör randımanı.....	25
2.4.1.2. Kepçe dolma katsayısı.....	25
2.4.2. Malzeme özellikleri ile ilgili katsayılar.....	26
2.4.2.1. Kabarma katsayısı.....	26
2.4.3. Çalışma şekli özellikleri ile ilgili katsayılar.....	27
2.4.3.1. Derinlik katsayısı.....	27
2.4.3.2. İş yeri organizasyon katsayısı.....	28
2.4.3.3. Kepçe devir süresi.....	28
2.5. Kamyonların Saatlik Taşıma Kapasitelerinin Tespiti.....	29
2.5.1. Kamyon devir süresi (T).....	31

2.5.1.1. Yükleme süresi (t_1).....	31
2.5.1.2. Yükleyici yanında manevra süresi (t_2).....	32
2.5.1.3. Döküm alanında boşaltma ve manevra süresi (t_3).....	32
2.5.1.4. Dolu döküme gidiş ve boş dönüş süresi (t_4 - t_5).....	32
3. ÇAN LİNYİTLERİ İŞLETMESİNİN TANITILMASI.....	33
3.1. Çan Linyitleri İşletmesi.....	33
3.2. Bölgenin Genel Jeolojik Durumu.....	33
3.2.1. Stratigrafi.....	33
3.2.1.1. Neojen öncesi kayalar.....	33
3.2.1.2. Neojen jeolojik birimleri.....	34
3.2.1.3. Neojen sonrası çökeller.....	35
3.2.2. Yapısal jeoloji.....	36
3.2.2.1. Genel yapı.....	36
3.2.2.2. Tabaka doğrultu ve eğimleri.....	37
3.2.2.3. Kıvrımlar ve faylar.....	37
3.2.3. Hidrojeoloji.....	37
3.2.4. Jeoteknik etütler.....	38
3.2.4.1. Kaya kalite göstergesi (RQD).....	39
3.2.4.2. Zemin sınıfı.....	41
3.2.4.3. Atterberg (kıvamlılık) limitleri.....	42
3.2.4.4. Tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, birim hacim ağırlık ..	42
3.2.5. Havza karakteristikleri.....	43
3.3. Kazı Sınıfı İle İlgili Yapılan Etütler.....	48
3.4. İşletme Yöntemi.....	50
3.4.1. İşletmede uygulanan örtü kazı sistemi.....	50
3.4.2. İşletmede uygulanan kömür üretim sistemi.....	52
3.5. Delme- Patlatma Yöntemi.....	52
4. KAZILABİLİRLİK TAYİNİ, EKSKAVATÖR KAMYON SİSTEMLERİNDE UYUM VE İŞ MAKİNELERİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ.....	53
4.1. Kazılabilirlik Tayini.....	53
4.1.1. Kazı performans çalışmaları.....	53
4.1.2. Ekskavatör performanslarına göre kazı sınıfının tayini.....	58
4.2. Ekskavatör Kamyon Sistemlerinde Uyum.....	65
4.2.1. Ekskavatör ve kamyonların saatlik kapasitelerinin tespiti.....	67
4.2.1.1. Ekskavatörlerin mevcut saatlik kapasitelerinin tespiti.....	67

4.2.1.2. Kamyonların mevcut saatlik taşıma kapasitelerinin tespiti.....	67
4.2.2. Gerekli kepçe sayısına göre ekskavatör kamyon uyumu.....	68
4.2.3. Yükleme ve taşıma birimlerinin birlikte çalışması (senkronizasyonu).....	70
4.2.4. Uyuşma faktörü (Match Factor, MF).....	72
4.3. Ekskavatör ve Kamyonların Verimlilik Analizi.....	73
4.3.1. Makinelerin kullanım oranlarının incelenmesi.....	73
4.3.1.1. Makinelerin mekanik kullanım oranı (mekanik mevcudiyet) ve mekanik verimlerinin analizi.....	79
4.3.1.2. Fiziksel kullanım oranı.....	81
4.3.1.3. Etkin kullanım oranı.....	82
4.3.2. Ekipmanların kullanım oranlarının birlikte değerlendirilmesi.....	82
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	84
5.1. Sonuçlar.....	84
5.2. Öneriler.....	86
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Ters kepçe ekskavatörün en uygun kazı derinliği.....	13
Şekil 3.1. Ç.L.İ. kömür sahasına ait genelleştirilmiş stamp (T.K.İ., 1998).....	36
Şekil 3.2. ÇJ14 jeoteknik sondajına ait sembolik loglar (M.T.A., 2002).....	39
Şekil 3.3. Elektrikli ekskavatörlerin örtü kazı çalışması.....	51
Şekil 3.4. Elektrikli ekskavatör-kamyon örtü kazı çalışması.....	51
Şekil 4.1. Elektrikli ekskavatörlerin çalışma performansı.....	77
Şekil 4.2. Hidrolik ekskavatörün çalışma performansı.....	77
Şekil 4.3. Kamyonların çalışma performansı.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. İş makinelerinin ekonomik ömürleri (Parlak, 1994).....	14
Çizelge 2.2. Kaya ayrışma sınıflandırması (ISRM, 1978).....	18
Çizelge 2.3. Schmidt çekicine göre kaya sertlik tanımı (Poole ve Farmer, 1980).....	19
Çizelge 2.4. Kazılabilirlik parametreleri ve puanlama sistemleri (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a).....	21
Çizelge 2.5. Kazılabilirlik sınıflandırması (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988a).....	22
Çizelge 2.6. Özgül kazı enerjisine göre kazılabilirlik sınıflaması(Ceylanoğlu,1991)...	23
Çizelge 2.7. Yükleyiciler için dönme katsayısı (Eskikaya, 1986).....	25
Çizelge 2.8. Kepçe dolma katsayıları (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988a).....	26
Çizelge 2.9. Bazı kayalara ilişkin kabarma ve kepçe dolma katsayıları (Eskikaya, 1986).....	27
Çizelge 2.10. Çalışma verimlilik katsayıları (Karpuz ve Hindistan, 2005).....	28
Çizelge 2.11. Kazı zorluğuna göre ekskavatörlerin ortalama kepçe devir süreleri (Paşamehmetoğlu ve ark., 1998b).....	29
Çizelge 3.1. RQD değerine göre kaya kalite sınıflandırılması (MiningLife, 2006).....	39
Çizelge 3.2. Sondajlara göre farklı birimlerin RQD değerleri (M.T.A., 2002).....	40
Çizelge 3.3. Ç.L.İ. sahasındaki her bir birimin ortalama RQD değerlerine göre kaya sınıfı.....	41
Çizelge 3.4. Ç.L.İ. jeolojik birimleri test sonuçları (M.T.A., 2002).....	41
Çizelge 3.5. Tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve birim hacim ağırlık deney sonuçları (M.T.A., 2002).....	43
Çizelge 3.6. Ç.L.İ kaya birimlerine ait laboratuvar deney sonuçları (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988a).....	44
Çizelge 3.7. Çan Bölgesi K2, K4, ÇAN3, ÇAN5B, ÇAN1, ÇAN1B panolarında jeolojik birim kütle özellikleri (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988a).....	45
Çizelge 3.8. Çan Bölgesi K2, K4, ÇAN3, ÇAN5B, ÇAN1, ÇAN1B panolarında jeolojik birim kütle özellikleri (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988a).....	46
Çizelge 3.9. Çan Bölgesi K2, K4, ÇAN3, ÇAN5, ÇAN5B panolarında jeolojik birim kütle özellikleri (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988a).....	47
Çizelge 3.10. Ç.L.İ sahası karakteristik birimlerine ait ölçüm sonuçları (Paşamehmetoğlu ve ark., 988a).....	49
Çizelge 4.1. Kazı performans sonuçları.....	57
Çizelge 4.2. Kepçe devir süresi performans sonuçlarına göre kazılabilirlik tayini.....	60
Çizelge 4.3. Kepçe dolma katsayısı performans sonuçlarına göre kazılabilirlik tayini.....	61
Çizelge 4.4. Beklemesiz saatlik kapasite sonuçlarına göre kazılabilirlik tayini.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.5. Saatlik fiili kapasite sonuçlarına göre kazılabilirlik tayini.....	63
Çizelge 4.6. Kazı performans sonuçlarının birlikte değerlendirmesi.....	65
Çizelge 4.7. Kamyonların saatlik kapasitesi.....	67
Çizelge 4.8. Kepçe ve kamyon kasa hacimlerinin uyumu.....	69
Çizelge 4.9. Kazı – yükleme ve taşıma sistemlerinin senkronizasyonu.....	71
Çizelge 4.10. Ekskavatör kamyon sistemlerinin uyuşma faktörleri.....	73
Çizelge 4.11. İş makinelerinin yıllık performansları.....	76
Çizelge 4.12. İş makinelerinin mekanik mevcudiyet ve mekanik verimlilikleri.....	79
Çizelge 4.13. Makinelerin fiziksel ve etkin kullanım oranları.....	82
Çizelge 4.14. Makinelerin kullanım oranları.....	83
Çizelge 5.1. Kazı makinelerinin verimliliğine dayalı kazı zorluğu sınıflaması.....	84

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Aktivite sayısı
Ç.L.İ.	Çan Linyitleri İşletmesi
dak.	Dakika
HP	Beygir Gücü (Horse Power)
kWh	Kilovat saat
m	Metre
M.T.A.	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MH	Orta zor zemin sınıfı
MPa	Mega Paskal
ms	Milisaniye
RQD	Kaya Kalite Göstergesi
s	Saniye
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
yd ³	Yarda küp
σ_c	Tek eksenli basınç dayanımı
Mm	Mekanik mevcudiyet
Mv	Mekanik verimlilik

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada linyit üretimi, yerüstü ve yeraltı madencilik yöntemleriyle yapılmaktadır. Yerüstü madencilik özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra çok hızlı gelişmeler göstermiştir. Yerüstü madencilik tekniğinin hızlı gelişmesi ve yüksek kapasiteli kazı ve nakliye makinelerinin üretilmesi sayesinde yerüstü işletme derinliğinin, daha önceki zamanlarda yeraltı işletmeciliği için öngörülen derinliklere inmesine neden olmuştur. Son yıllarda 600 metre derinliğe kadar inilen yerüstü işletmelere dünyadan örnekler olduğu bilinmektedir (Saltoğlu, 1992). Yerüstü maden işletmelerinde verimlilik ve ekonomiklik artmaya başlamış ve yerüstü işletmeciliği yeraltı işletmeciliğinden daha yaygın uygulama alanları bulmaya başlamıştır.

Yerüstü linyit işletmeciliğinde gerek örtü-kazı oranındaki süregelen artış, gerekse kazı-yükleme-taşıma işlemlerinin birim üretim maliyeti içinde yüksek paya sahip olması, verimlilik ile ilgili faktörlerin ve parametrelerin incelenmesi ve verimlilik analizinin yapılmasını gerekli kılmıştır. Buradan hareketle, bu tez çalışması kapsamında, bir açık ocak linyit işletmesinde örtü kazıda kullanılan iş makinelerinin verimlilikleri araştırılmış, ayrıca kazı makinelerinin verimliliğinde en önemli parametrelerden olan linyit sahasındaki jeolojik birimin kazılabilirlik özelliği incelenmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Hedefleri

Bu tez çalışması kapsamında üç ana başlık altında araştırma yapılmıştır:

- Kazılabilirlik,
- Ekskavatör –kamyon sistemlerinde uyum
- Örtü kazı – taşıma makinelerinin verimlilik incelemesi.

Kazılabilirlik araştırması amacıyla; literatürde bu konuda yapılan çalışmalar esas alınarak, araştırma bölgesindeki jeolojik birimin kazılabilirlik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, Çan Linyitleri İşletmesi (Ç.L.İ.) örtü kazıda çalışmakta olan mevcut kazı yükleme makinelerinin arazi çalışmaları ile kazı performansları incelenerek; kepçe devir süresi, kepçe dolma katsayısı ve saatlik iş kapasiteleri

belirlenmiş, bu değerler literatürde önerilen değerlerle karşılaştırılarak çalışılan jeolojik birimin kazı sınıfı araştırılmıştır.

Örtü-kazı yöntemlerinden olan ekskavatör kamyon sistemlerini oluşturan ana ekipmanların birbirleriyle uyumu incelenmiş olup bu amaç kapsamında; araştırma bölgesinde kazı-yükleme-taşıma sistemleri incelenmiş, çalışma performansları ile ilgili arazi ölçümleri yapılarak söz konusu iş makinelerinin saatlik iş kapasiteleri belirlenmiş ve mevcut ekskavatör-kamyon sistemlerindeki uyum araştırılmıştır.

Son olarak; Ç.L.İ. örtü kazıda kullanılan iş makinelerinin bir yıllık zaman dilimi içindeki verimlilikleri araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Verimlilik analizleri amacıyla; makinelerin mekanik mevcudiyet, mekanik verim, fiziksel kullanım oranı ve etkin kullanım oranları hesaplanarak incelenmiştir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar, beş ana bölüm altında toplanmıştır:

Birinci bölümde; çalışma hakkında genel bilgi verilmiş olup, bu tez çalışmasının amacı, hedefleri ve kapsamı belirtilmiştir.

İkinci bölümde; kazılabilirlik ve iş makinelerinin verimlilik analizleri ile ilgili literatürde verilen bilgilere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde; tez çalışması kapsamında arazi çalışmasının yapıldığı Çan Linyit İşletmesi tanıtılmış, İşletmede uygulanmakta olan örtü kazı yöntemi ve havzada daha önce yapılan etüt çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde; Çan Linyitleri İşletme sahasında, İşletme tarafından ve özel sektör dekapaj firmaları tarafından yapılan örtü kazı faaliyetleri incelenerek, yerinde yapılan ölçüm ve gözlemler sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilmiş, kazılabilirliğe yönelik performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışması sonucu elde edilen veriler ile literatür araştırmalarında bu konulara ait değerlendirme kriterleri de göz önüne alınarak, araştırma bölgesindeki jeolojik birimin kazı sınıfı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Ayrıca, İşletme sahasında örtü kazıda çalışmakta olan ekskavatör ve kamyon sistemleri incelenerek, arazi çalışmaları sonucu elde edilen veriler ile hesaplanan

mevcut saatlik kapasitelere göre, bir ekskavatör için gerekli kamyon sayısı hesaplanmış, bu hesaplamalar doğrultusunda ekskavatör ve kamyonların gerekli kepçe sayısına göre kapasite bakımından birbirleriyle uyumu, senkronizasyonu ve uyuşma faktörleri araştırılmıştır.

Yine bu bölümde; Ç.L.İ. örtü kazıda kullanılan iş makinelerinin bir yıllık zaman dilimi içindeki verimlilikleri araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Verimlilik analizleri amacıyla; makinelerin mekanik mevcudiyet, mekanik verim, fiziksel kullanım oranı ve etkin kullanım oranları hesaplanarak verimlilikleri incelenmiş ve hesaplanan bu verimlilik değerlerinin birlikte değerlendirilmesi hem ekipman bazında hem de sistem bazında yapılmıştır.

Beşinci bölümde ise; sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. AÇIK OCAK ÖRTÜ KAZI-TAŞIMA SİSTEMLERİ ve KAZILABİLİRLİK

2.1. Açık Ocak İşletmeciliği

Ekonomik derinlikteki madenlerin çeşitli yöntem ve araçlarla kazılması, yüklenmesi ve taşınması için yapılan tüm çalışmalara “açık işletmecilik” denilmektedir. Maden yatağının üzerindeki örtü tabakaları ve aralarında bulunan kayaçların kazılıp yüklenerek uygun mesafedeki döküm harmanlarına taşınması işlemlerinin bütününe de “örtü kazı” veya “dekapaj” denilmektedir.

Günümüzde açık işletme yöntemi uygulamalarında ekonomikliği artırmak için, gelişen teknolojiye paralel olarak, çeşitli ölçüm ve hesaplamalar için bilgisayar programları kullanılarak açık işletme sınırlarının genişletilmesine, çalışma oranlarının artırılmasına ve kazı-yüklemede daha büyük kapasiteli ağır iş makineleri kullanılarak maliyetlerin düşürülmesine çalışılmaktadır.

Açık işletmecilikte verimlilik, gün geçtikçe artmaktadır. Verimlilikteki bu artış, açık işletmecilikte yüksek kapasiteli makine ve ekipmanların geliştirilmesi ve işletme faaliyetlerine bilgisayarlı ölçme-izleme-kontrol sistemlerinin uygulanmasıyla gerçekleşmektedir. Bu uygulamalarda ekskavatörlerin ve kamyonların kazı-yükleme ve taşıma-boşaltma süreleri en uygun şekilde düzenlenmekte, çalışan makinelerden yağ numuneleri alınarak analizler yapılmakta ve makinelerin bakım-onarım süreleri ile yağ tüketiminde önemli tasarruflar sağlanmaktadır (Anonim, 1996).

Makine kapasitelerindeki artışın verimlilik üzerindeki etkisine Kanada-Fordig Coal Ltd. ocağından örnek verilirse; 11.5 m³ kapasiteli shovel yerine, 23 m³’lük ve 46 m³’lük shovel kullanıldığında, yükleme maliyetlerinde sırasıyla %45 ve %70 oranında düşme saptanmıştır. Kamyonla taşıma maliyetinde de benzer durum yaşanmış olup 110 tonluk kamyon yerine 155 ve 218 tonluk kamyonlar kullanılmış, taşıma maliyetlerinde sırasıyla %37 ve %63 düşme saptanmıştır. Avustralya ve ABD açık işletmelerinde de, gerek makine kapasitelerindeki artış gerekse bilgisayarlı izleme-kontrol sistemleriyle, verimlilikte önemli artışlar kaydetmişlerdir. Avustralya’da 1983 yılında 5.020 ton/işçi olan satılabilir üretim verimliliği, 1991 yılında 7.539 ton/işçi düzeyine çıkmıştır. ABD de ise bu değer 11.595 ton/işçi düzeyindedir (Anonim, 1996).

Ülkemizde de, açık işletme tekniğindeki gelişmeler ve kullanılan büyük kapasitede makinelerin sayesinde açık işletme derinliğinin daha önceki zamanlarda yeraltı işletmeciliği için öngörülen derinliklere inmesine neden olmuştur. Açık ocak linyit işletmelerimizde kömür damarına ulaşmak için kaldırılması gereken örtü miktarının kalınlığı önceki yıllara göre nispeten artmaktadır. Bununla birlikte sanayinin ve teknolojinin gelişmesiyle açık işletmelerde kullanılan makine boyutları da giderek büyümektedir. Böylece, makine kapasitesinin büyümesiyle birim kapasiteye düşen üretim maliyeti azalmaktadır. Geçmişte, paletli dozerlerle ripelenerek kazılan kayaç veya cevher, 2-3 m³ kepçe kapasiteli yükleyicilerle 7-10 ton kapasiteli kamyonlara yükleme yapılırken; bugün 20-25 yd³ (15-19 m³) kapasiteli elektrikli veya dizel ekskavatörlerle 180 ton kapasiteli ağır iş kamyonlarına yükleme yapılmaktadır. Açık işletme ekonomik örtü-kazı sınırı, artık 20:1'lerin üzerine çıkmıştır. Gelişen teknoloji, gelecekte daha derin sahalardaki cevherin, açık ocak işletmeciliğiyle yer yüzüne çıkartılmasında uygulanabileceğini göstermektedir (Anonim, 1996).

2.2. Açık İşletme Üretim Yöntemleri ve Ekipmanları

2.2.1. Açık işletme birim faaliyetleri

Maden üretiminde temel işlemler; kaya parçalanması ve parçalanmış malzemenin kaldırılmasıdır. Parçalanma, delik delme ve patlatma işlemlerinin yapılması ile gerçekleştirilir. Malzemenin kaldırılması ise, kazı - yükleme ve taşıma işlemlerinin beraberce yapılması ile sağlanır. Sonuç olarak, üretimde dört ana işlem: delik delme, patlatma, yükleme ve taşıma olarak ifade edilir. Sert kaya madenciliğinde bu dört ana işlemin takip edilmesi kaçınılmaz iken, pekişmemiş yada gevşek malzemeden oluşan pasa veya cevherin işletilmesinde yükleme ve taşıma işlemi yeterli olmaktadır. Ayrıca yumuşak ve orta-sert kayalarda işlemler mekanik kazı ile yapıldığı durumlarda makineler delme ve patlatma işlemlerinin yerini almış olur.

Kaya parçalanması, büyük ölçekli kaya kütlelerinin küçültülmesi amacıyla yapılan işlemdir. Bu amaç için iki temel parçalama yöntemi mevcuttur. Bunlardan birincisi, patlayıcı maddeler kullanılarak yapılan “parçalama yöntemi”, diğeri ise “mekanik kazı” yöntemidir. Mekanik parçalanma, kazı makinesinin patlayıcı madde yardımı olmaksızın doğrudan kayaların kazılması ilkesine göre yapılır. Açık işletmecilikte mekanik kazı yöntemi daha çok yumuşak, ayrılmış, parçalı ve düşük dayanımlı

kaya kütleleri için yaygın olarak kullanılabilir. Sert ve sağlam birimler için patlayıcı madde yardımı alınarak, önce gevşetme yapılır (gevşetme patlatması) sonradan mekanik kazı işlemi sürdürülür.

Parçalanmış yada yerindeki cevherin çıkartılması işlemine “kazı yada yükleme” denir. Kazı, tek başına tanım olarak, malzemenin ana kütleden ayrılarak çıkartılması için uygulanan işlemleri belirtir. Yükleme ise, malzemenin kaldırılmasını tanımlar. Madencilik faaliyetleri süresince cevher kütlesinin kazılmasında ve taşınmasında kullanılan bütün birim işlemler malzemenin yerinden alınarak nakledilmesidir. Bu kapsamda yükleme ve taşıma iki temel işlemdir.

Açık ocak işletmelerinde taşıma, öncelikle yatay hareketi tanımlar ve yaygın olarak kamyonlar kullanılır. Kamyonların çalışma sistemi yükleme, yüklü hareket, boşaltma ve boş hareket olmak üzere dört aşamadan oluşur (Karpuz ve Hindistan, 2005).

2.2.2. Üretim yöntemi ve ekipman seçimi

Açık işletmelerde kazı-yükleme ve taşıma işleri; yapıları, çalışma şekilleri ve kapasiteleri çok değişik olabilen çeşitli makine veya sistemlerle gerçekleştirilmektedir. İşe ve amaca en uygun makineyi veya sistemi seçmek en önemli husustur. Yanlış bir seçim, sürekli verimsizlik demektir. Doğru seçim gerek sistem ve makine ile ilgili, gerekse çalışılan yer ve çalışma şartlarıyla ilgili ana bilgilerin ve aralarındaki bağıntıların bilinmesiyle mümkündür (Eskikaya, 1986).

Ekipman seçiminde; rezerv ve örtü kazı miktarı, örtü kalınlığı, malzeme boyutu, zemin koşulu, taşıma yolu koşulu, kazı yüksekliği, boşaltma yüksekliği, yedek parça temini, yuvarlanma direnci, fleksibilite, çalışma dengesi, taşıma mesafesi, mobilite, ekipman mevcudiyeti, taşıma kapasitesi, ekonomik ömrü, ekipman verimi, devir (cycle) süresi, işletme maliyeti, ekonomiklik, ilk yatırım maliyeti, ocak eğimi gibi pek çok kriterin göz önüne alınması gerekmektedir. Bununla birlikte, kazı makinesinin seçiminde en önemli faktörlerden biri de, kayacın özelliklerine bağlı olarak kazılabilirliğidir. Bu özelliklerden bazıları:

- Kayacın dayanımı,
- Kayacın bir bütün olmak durumu,

- Kayaç içindeki minerallerin aşındırıcılığı,
- Kayacın birim ağırlığı (yerinde ve kırılmış olarak),
- Patlatılmış kayacın akıcılığı,
- Parçalanabilme özelliğidir.

Kazı yöntemi ve bu kazı için gerekli makinenin seçiminde esas hedef, malzemenin naklini mümkün olan en düşük maliyetle yapmaktır. Diğer taraftan, ocak geometrisinin verimli olarak kullanılacak makinelerin türü ve büyüklüğü üzerinde önemli etkisi vardır (Karpuz ve Hindistan, 2005).

Kömür açık işletmeciliğinde kazı ve nakliye sistemleri, çalışma şeklinin devamlı veya kesikli olmasına göre, iki grupta incelenebilir. Kesikli sistemin ana makineleri; kepçeli ekskavatör ve dragline, devamlı çalışan makineler ise; döner kepçeli ve zincirli ekskavatörlerdir. Eğer şartlar elverişli ise açık işletmecilikte devamlı sistemi seçmek daha avantajlıdır. Devamlı sistemi uygulamakla, kazı ve nakliye çalışmaları için kapasitenin tamamını kullanabilmek mümkün olur.

a) Sürekli Kazı Sistemi:

Bu sistemde hem örtü kazısı hem de kömür kazısı, döner kepçeli ekskavatörler ve/veya zincirli kovalı ekskavatörlerle yapılmaktadır. Örtü malzemeleri ve kömür nakliyatı ise bantlı konveyör, tren veya nadiren kamyonlarla yapılmaktadır. Bant konveyör nakliyatında uç noktalarda dökücü makineler kullanılmaktadır. Tren ve kamyon uygulamasında ise, direk döküm yanında, işletme yakınında ara tumbalar oluşturulmakta ve buradan tekrar bant konveyörle nakliyat da yapılmaktadır.

Döner kepçeli ekskavatörlerde ulaşılan kapasite Almanya'da 240.000 m³ (yerinde)/gün olmuştur. Bantlı konveyörlerde ise bant genişliği 2,8 metreye taşıma kapasitesi 37.500 ton/saat değerine ulaşmıştır. Döner kepçeli ekskavatörlerin bir bant köprüsü ile veya Croos-pit aktarıcıyla döküm sahasına doğrudan döküm yapma uygulamaları giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sistemde bantlı konveyör ünitelerinin enerji tüketiminde, montaj-tamir-bakım işçiliğinde büyük tasarruf sağlanmaktadır. Döner kepçeli ekskavatörler genellikle yumuşak formasyonlarda tercih edilmektedir. Kepçesinde özel kesici uçlarla orta sert formasyonlarda da kullanılmaktadır. Döner kepçeli ekskavatör-bant konveyör sistemi yumuşak ve yapışkan olmayan formasyonlarda, yüksek kazı verimliliği sağlamaktadır.

Formasyonların yapısına göre ripperleme veya patlatmayla gevşetme işlemleri de randımanı arttıran uygulamalardır. Gerekli önlemlerin alınmasıyla, çok zor işletme şartlarında (-40°C 'de Rusya, 2.040 mm'lik yağış ve oluşan çamurda İspanya, yaklaşık 500 m ocak derinliğinde Almanya) başarıyla uygulanmaktadır. Özellikle Almanya'da geliştirilen döner kepçeli ekskavatör-bant konveyör sistemi giderek yaygınlaşmış olup, bugün ABD, Kanada, Rusya, Endonezya, İspanya, Yunanistan, Türkiye ve Hindistan'da kullanılmaktadır. Bu sistemin ilk yatırım tutarı diğer açık işletme sistemlerinden (çekme kepçe (dragline), ekskavatör- kamyon) daha yüksektir (Anonim, 1996).

b) Süreksiz Kazı Sistemi:

Sistemin ana makineleri çekme kepçe, elektrikli ve hidrolik ekskavatör, yükleyici ve kamyonlardır.

Çekme kepçe uygulaması daha çok örtü kalınlığı ince olan açık işletmelerde yaygın olup bu amaçla geliştirilmiştir. ABD, Avusturalya ve G.Afrika'daki uygulama bu türdendir. Çekme kepçe kapasitesi ve bum uzunluğu işletme şartlarına göre değişiklik göstermektedir. 220 yd^3 kepçe kapasiteli çekme kepçeler geliştirilmiş bulunmaktadır. Çekme kepçe ile hem kazı hem taşıma-dökme işlemi birlikte yapılabildiğinden ekskavatör+kamyon sistemine göre kazı maliyeti daha düşüktür.

Elektrikli-hidrolik ekskavatör ile kazılan örtü malzemesi, kamyonlarla taşınarak döküm yapılmaktadır. Gerektiğinde kazı aynasında patlatmayla gevşetme yapılmakta ve yardımcı yükleyici kullanılmaktadır. Hidrolik ekskavatörlerin elektrikliye göre, hareket kabiliyeti ve koparma gücü daha yüksektir. Hidrolik ekskavatörde kepçe kapasitesi 50 m^3 'e, shovel ekskavatörde 61 m^3 'e, kamyonlarda taşıma kapasitesi ise 350 ston'a ulaşmıştır. İşletme koşullarına göre kamyonlar, mekanik ve elektrik tahrikli olarak seçilmektedir.

Süreksiz açık işletme yönteminde, çekme kepçe-shovel ekskavatör-kamyon ve yükleyici-kamyon sistemleri kombine olarak da kullanılmaktadır.

Açık işletmecilik faaliyetlerinde sistem ve uygun makine - ekipman seçiminde; yıllık kazı ve kömür üretim miktarları, topografya, kömür damarının eğimi, yapısı ve kalınlığı, örtü tabakası ve ara kesme tabakalarının kalınlığı ve mekanik özellikleri,

iklim (yağış ve sıcaklık) ve drenaj durumu belirleyicidir. Kazı planına uygun basamak boyutları, şev açıları, döküm sahası yeri seçimi ve kapasitesi, yollar, maden planlaması aşamasında mutlak dikkate alınması gerekmektedir (Anonim, 1996).

Ülkemizde linyit üretimini, özel sektör ve TKİ Kurumu yapmaktadır. Özel sektöre ait açık işletmelerinde; genellikle sahaların küçük olması, ilk yatırım maliyetinin düşük olması, kullanım esnekliği gibi sebeplerden dolayı, lastik tekerlekli yükleyici + kamyon veya küçük kapasiteli hidrolik ekskavatör + kamyon yöntemi tercih edilir. TKİ açık işletmelerinde ise, Seyitömer, Tunçbilek, Tınaz gibi işletmelerde ekskavatör+kamyon+dragline yöntemi; Çan, Soma, Orhaneli, Keles işletmelerinde ise ekskavatör + kamyon yöntemi uygulanmaktadır. Dragline ekskavatör - shovel ekskavatör - kamyon ve hidrolik ekskavatör-yükleyici-kamyon sistemleri TKİ açık işletmelerinde uzun süredir uygulanmaktadır. TKİ'de kullanılan dragline ekskavatörler; Tunçbilek'de 20 yd³ ve 40 yd³ kapasiteli, Seyitömer'de 70 yd³, Yatağan'da 65 yd³, Sekköy'de 32 yd³ (2 adet), Tınaz'da 30 yd³, Orhaneli 33 yd³, Kangal'da 65 yd³ kapasitelidir (Anonim, 1996).

2.2.3. Ekskavatör + kamyon yöntemi

Günümüzde her türlü toprak kazısında, scraper gibi klasik kazı yöntemlerinin yerini, ekskavatör kamyon sistemleri almıştır. Toprak kazı sistemleri olarak ekskavatör kamyon sistemlerinin yaygınlaşmasının nedenleri; taşıma mesafelerinin uzaması, bu sistemin nemli yapışkan malzemeler gibi her türlü malzeme için daha kullanışlı olması, özellikle büyük kapasiteli örtü kazı işlerinde kullanıldığında maliyetlerinin daha düşük olmasıdır (MSW Management, 2000).

Ülkemizde de, açık işletme madenciliği örtü kazı çalışmalarında ekskavatör kamyon yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ekskavatör-kamyon sistemi, dragline gibi kazı – nakliye sisteminin devamlı olduğu yöntemlere göre özellikle yedek parça, bakım-onarım ve yakıt gibi maliyet kalemlerinde ekonomik olarak daha dezavantajlıdır. Bu sistemde taşıma maliyeti, kazı-yükleme maliyetinden daha fazladır. Bununla birlikte, ekskavatör ve kamyonların arazi topografyasına daha kolay uyum sağlayabilmesi, yerinin kolay değiştirilebilmesi, patlatılarak gevşetilmesi kaydı ile sert ve büyük parçalı malzeme

kazısında kullanılabilmesi, kamyonlarda arıza vb. nedenlerle eksilme olması durumunda uygulamanın devam edebilmesi gibi üstünlükleri bulunmaktadır (Anonim, 1996)

Ekskavatör + kamyon sistemlerinde; birim maliyetleri düşürmek için ekskavatör ve kamyonların maksimum verimle kullanılmaları gerekir. Bunun için de, ekskavatörler ile yükleyecekleri kamyon sayıları arasında bir denge kurulmalıdır. Bir ekskavatörün verimliği hesaplarken; ekskavatörün birim maliyeti \$180/saat ve saatte yüklediği malzeme miktarı 1 yd³ olarak kabul edildiğinde, yaptığı işin maliyeti \$180/saat/1yd³/saat=\$180/yd³ olur. Buna göre maliyet sabit tutulduğunda, makinenin verimliliğini artırmanın yolu, mümkün olduğunca makinenin yapacağı iş miktarını artırmaktır.

Makinenin en verimli şekilde çalışması için gereken kamyon sayısına karar verirken dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Ekskavatör yükleme süresi (örn: 1,5 dak.)
- Kamyon sefer süresi (örn: yüklenme süresi dahil 6 dak.)

Örnek veriler kullanarak ekskavatör + kamyon dengesi hesaplandığında: 6 dak./ 1,5 dak.=4 kamyon olacaktır. 1 kamyon kullanıldığında, makine 1,5 dak. çalışacak ve 4,5 dak. kamyonun geri gelmesi için bekleyecektir. Hesaplama sonucuna göre, sistem 4 kamyonla dengelendiğinde, kamyonların ve ekskavatörün bekleme ile zaman kaybı olmayacak, makinenin en verimli ve ekonomik şekilde kullanımı sağlanmış olacaktır.

2.2.3.1. Kamyon verimliliğini etkileyen faktörler

Ekskavatör - kamyon dengesi ile verimliliğin sağlanması yanında, kamyon verimliliğini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler:

- Uygun eğimde, genişlikte, uzunlukta ve düzgün yüzeyli yolların oluşturulması,
- Keskin virajlara ve görüş mesafelerine dikkat edilmesi,
- Kamyonların damper şekli, damper boyutu, lastik boyutları, yükleme şekli, boşaltma şeklidir.

Damper şekli

Yüklenen malzemenin cinsine göre seçilmelidir. Kare köşeli damperler, ağırlık merkezinin korunmasına, daha fazla yükleme yapılabilmesine olanak sağlarken, killi nemli malzemelerde damperde yapışma olmaması için, yuvarlak köşeli damperler tercih edilmelidir.

Damper boyutu

Verimlilik için en önemli faktörlerden biridir. Büyük damperle çok daha fazla yük taşınabilirken, aşırı yük kamyonun sefer süresini uzatır. Kamyonun taşıma kapasitesi ile yüklenen malzeme miktarı optimum olmalıdır. Olması gerekenden fazla yükleme zaman kaybına yol açarken, kamyonu da zarar verecektir.

Lastik boyutu

Büyük lastik ebatı, kamyonun çekişini ve potansiyel hızını artırırken; küçük lastik ebatı daha büyük torkla daha fazla güç sağlar, özellikle ağır yüklerde küçük lastik ebatı tercih edilmelidir.

Döküm sahası

Döküm yerine gelen kamyonun, tumbaya yanaşma ve boşaltma sürelerini en aza indirmek için, döküm sahasının düzgün olması gerekir. Yığılan malzemenin dozerle ötelenerek ve sahanın greyderle tesviye edilerek döküm için hazır hale getirilmesi gerekir.

2.2.3.2. Makine verimliliğini etkileyen faktörler:

Yükleme süresi

Ekskavatörlerin kamyonları yükleme süresi, verimlilik açısından çok önemlidir. Örneğin yükleme süresi 1,5 dakika değil de 1 dakika olduğunda, makine saatte 60 kamyon yükleyecektir. Balansın kurulması için, yukarıda verilen örneğe göre, 4 kamyon yerine 6 kamyonun çalışması gerekirken, maliyeti \$0,57/yd³'den \$0,50/yd³'e düşecektir. Ekskavatör yükleme süresi; kepçe kapasitesi, malzemenin cinsi, kazı derinliği ve dönme (swing) süresine bağlıdır (MSW Management, 2000).

Kepçe kapasitesi

Ekskavatörlerin verimliliğinde en önemli faktörlerden biridir. Daha büyük hacimli kepçe kullanımı, bir kamyonu yüklemek için gerekli kepçe sayısını azaltacaktır. Fakat, kepçe hacminin büyümesiyle kazı kuvveti küçülecek, özellikle yüklenecek malzeme sert olduğunda makinenin kazı verimi düşecektir.

Kazı malzemesinin yoğunluğu büyük olduğunda, dolu bir kepçe; ekskavatörün aşırı yüklenmesine ve dolayısıyla, makinde dengesizliğe neden olacak, makineye zarar verebilecektir. Yoğunluğu düşük olan malzemelerde, büyük hacimli kepçe kullanımı faydalı olabilir. Ağır malzemelerde, iş miktarını artırmak için büyük hacimli kepçeler kullanılmak istendiğinde; kısa boom ve stick'e sahip makineler kullanılarak kepçenin makineye yakın olması sağlanır. Kepçe seçiminde genel kural, makinenin kolaylıkla kaldırabileceği kepçeyi seçmektir.

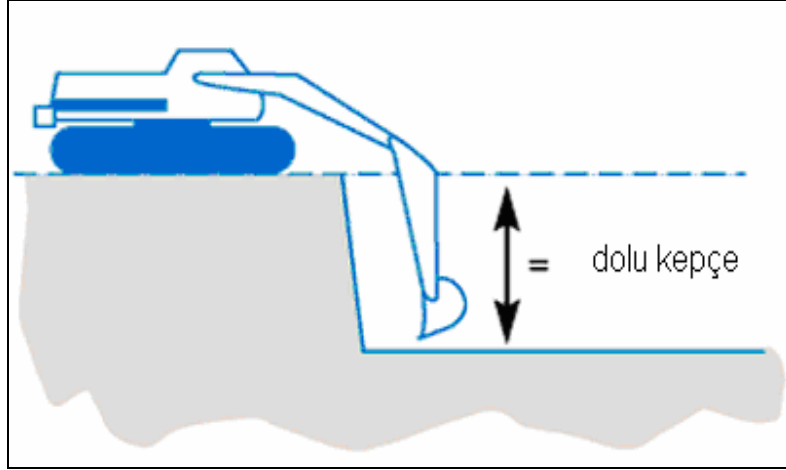
Kepçe şekli

Kepçenin kesme kuvvetini, kepçenin eni belirler. Kesme kuvvetini artırmak için, sert malzeme kazısında dar kepçeler seçilmelidir. Dar kepçe seçilirken, kova kapasitesini artırabilmek için de daha derin kepçeler tercih edilmelidir. Fakat malzeme killi, nemli ise çok derin kova kullanımıyla da, malzemenin kepçeye yapışma problemi oluşacaktır.

Kazı derinliği

Verimli bir kazı için, kepçenin tamamen malzemeye dolması sağlanmalıdır. Eğer makinenin çalıştığı basamak boyu çok düşükse, makine kepçeyi tam doldurmaya çalışırken zaman kaybı olacak veya kepçe tam olarak dolamayacaktır. Eğer basamak gereğinden çok yüksekse, makinenin kazması için ve kepçeyi kaldırması için gereken süre uzayacaktır.

Şekil 2.1'de ters kepçe ekskavatörün en uygun kazı derinliği gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Ters kepçe ekskavatörün en uygun kazı derinliği

Dönme (swing) süresi

Makinenin verimliliğini artırabilmek için, dönme süresinin en aza indirilmesi gerekir. Bu da yüklenecek kamyon sayısı balansı ve kazı - yükleme işleminin zaman kaybetmeksizin zincirleme bir şekilde devam etmesi ile sağlanabilir. Sert malzemede, patlatma yapılarak, yüklenecek malzemenin hazırlanması zincirin aksamadan devamını sağlayacaktır.

2.2.4. Açık işletmelerde makinelerin ekonomik ömürleri

Açık işletmelerde kullanılan makinelerin ekonomik ömürleri, makine satıcılarının verdikleri sürelerle birlikte, uygulamada farklı kullanım şartlarına göre değişir. Tamir işlerinin düzenli, zamanında ve uygun atölye koşullarında özenle yapılması, bakım işlemlerinin, makine satıcılarının makine bakım kataloglarında verdikleri bakım periyotlarını takip ederek yapılması, makine operatörünün kullanımından kaynaklanan etkiler ve kullanımda gösterilen titizlik, makinenin kapasitesine göre iş yaptırılması ve kayaçların cinsi, patlatılma durumları, doğru arazi şartlarında ve doğru iş şartlarında doğru makinelerin kullanılması gibi birçok faktör makinelerin ekonomik ömürlerini etkiler. Ekonomik ömürleri dolmuş veya sonuna yaklaşmış makinelerin verimlerinin düşük olacağı şüphesizdir. Genel olarak açık işletmelerde kullanılan makinelerin çalışma koşullarına göre saat olarak ekonomik ömürlerinin sınıflandırılması Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. İş makinelerinin ekonomik ömürleri (Parlak, 1994)

Makine türü	Geçerlilik aralığı	Çalışma koşulları		
		Kolay (saat)	Orta (saat)	Zor (saat)
Kamyon	Tüm kapasiteler	25.000	20.000	15.000
Yükleyici	Kapasite < 4,5 yd ³	12.000	10.000	8.000
	Kapasite ≥ 4,5 yd ³	15.000	12.000	10.000
Ters kepçe	Kapasite ≤ 2,5 yd ³	12.000	10.000	8.000
	2,5 yd ³ < Kapasite ≤ 4 yd ³	18.000	15.000	12.000
	Kapasite > 4 yd ³	20.000	18.000	16.000
Hidrolik ekskavatör	Kapasite ≤ 3 yd ³	12.000	10.000	8.000
	3 yd ³ < Kapasite ≤ 5 yd ³	18.000	15.000	12.000
	5 yd ³ < Kapasite ≤ 10 yd ³	20.000	18.000	16.000
	Kapasite > 10 yd ³	23.000	20.000	18.000
Elektrikli Ekskavatör	Klasik kepçeli	75.000	65.000	55.000
	Döner kepçeli	120.000	100.000	90.000
Elektrikli Yürüyen Çekme kepçe	Tüm kapasiteler	140.000	120.000	100.000

2.3. Kazılabilirlik

Açık işletmecilikte kazılabilirlik üzerine yapılan bilimsel araştırma sayısı oldukça sınırlıdır. Kazılabilirlik tayini kolay olmayan bir işlemdir. Genel olarak ya sahada yapılan benzer kazılardan, ya deneme ocaklarında malzemenin davranışından ya da geliştirilmiş görgül yöntemlerden yararlanarak belirlenebilir.

Konu üzerindeki ilk araştırmacılardan olan Atkinson (1971) arazide belirlenmiş P-dalga hızlarına göre bazı kazı araçlarının performanslarını sınıflandırmıştır. Bailey (1974) de sismik hıza dayanan riperebilirlik sınıflaması yapmıştır. Yine benzer olarak, bazı buldozer-riper yapımcısı firmalar tarafından hazırlanmış riperebilirlik abakları yayınlanmıştır (örneğin, Caterpillar ve Komatsu firmaları). Bu abaklarda arazide belirlenmiş sismik dalga hızları (P-dalga hızları) esas alınarak, kayaç ve buldozer-riper türüne göre ripereleme sınıflaması yapılmıştır. Formasyon için belirlenmiş P-dalga hızları arttıkça, ripereleme işleminde kullanılan buldozer-riper tipinin büyüklüğünün de, motor gücü ve ağırlık olarak artırılması önerilmektedir. Bu tür yaklaşımlarda, kazılabilirlik sınıflaması için tek bir parametre

olarak, kaya kütlesinin sismik hız değeri dikkate alınmıştır. Diğer bazı kaya kütlesi özellikleriyle (süreksizlik, sertlik, vb.) kaya madde özellikleri temsil edilmemektedir.

Weaver (1975) bazı kaya özelliklerinin ağırlıklı puanlamasına dayanan ripirlenebilirlik abağı geliştirmiştir. Bu abakta sismik hız, kaya sertliği, ayrışma derecesi, eklemler arası mesafe, eklemin sürekliliği, eklem açıklığı, doğrultu ve yatım yönü birlikte puanlanarak ripirlenebilirlik tanımı yapıp, uygun buldozer-riper tipi önerilmektedir. Bu yaklaşım prensip olarak uygun ve geçerli parametreleri göz önünde bulundurmakla birlikte eklemler ile ilgili süreklilik, eklem açıklığı, doğrultu ve yatım yönü gibi özelliklerin, kazı öncesi işletmenin planlama safhasında güvenilir bir şekilde belirlenmesi önemli zorluklar arz edecektir (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a).

Franklin ve arkadaşları (1971) karotların değerlendirilmesi üzerine yaptıkları bir çalışmada, nokta yükü dayanımı ve çatlaklar arası uzaklık gibi iki temel parametreyi esas alarak kazılabilirlik tanımı yapmışlardır. Önerilen sistemin pratikte direk olarak kullanımı, özellikle kazı aracının tipi ve kapasitesi dikkate alınmadan uygulanması yanılgılara yol açabilmektedir (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a).

Kristen (1982) kaya kütle dayanımı, blok boyutu, zeminin yapısal durumu ve eklem dayanımının puanlamasından oluşan bir kazılabilirlik sınıflaması önermiştir.

Müftüoğlu (1983) İngiltere’de bir çok kömür açık işletmesinde kazılabilirliğin saptanması konusunu, sistematik bir şekilde jeoteknik parametreler açısından incelemiştir. Kazılabilirliğin belirlenmesinde ayrışma derecesi, tek eksenli basınç dayanımı, eklemler arası mesafe ve katmanlaşma kalınlığından oluşan dört temel parametrenin ağırlıklı puanlamasından elde edilen bir sınıflandırma oluşturmuştur (Scoble ve Müftüoğlu, 1984, Müftüoğlu ve Scoble, 1985).

Singh ve arkadaşları (1987) da, kayanın aşındırma özelliklerini de içeren bir ripirleme sınıflandırması getirmiştir. Ripirlenebilirliğin belirlenmesinde çekme dayanımı, ayrışma derecesi, sismik dalga hızı, çatlak aralığı ve kayanın aşındırma özelliğinden oluşan beş parametrenin ağırlıklı puanlamasından elde edilen bir sınıflandırma sistemi geliştirmişlerdir.

Paşamehmetoğlu ve arkadaşları 1988’de, TKİ dekapaj sahaları için kazılabilirlik, delinebilirlik, patlatılabilirlik sınıflamaları getirebilmek için TKİ Kurumu’nun tüm açık ocaklarında, Kurumun ve dekapajda çalışan müteahhit firmaların değişik tip ve kapasitedeki kazı makinelerinin farklı kaya birimlerindeki performanslarından yararlanarak bir kazılabilirlik sınıflandırması oluşturmuştur.

TKİ’ye ait dekapaj sahalarında, kazısı yapılan kaya birimlerinin; delme-patlatma, kazı ve yükleme işlerine etkilerini belirleyebilmek ve kaya malzemesinin mekanik davranışını saptayabilmek için gerek malzeme özellikleri gerekse kütle özellikleri sistematik bir şekilde incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında kazılabilirlik tayini için;

- TKİ Kurumuna ait tüm açık ocaklarda örtü katmanlarının eklem (çatlak) sistemleri, eklem aralığı, eklem açıklığı, dolgu türü, katmanlaşma kalınlığı, ayrışma dereceleri gibi kütleli özellikleri çıkartılmış,
- Arazide katmanların sismik hızları ölçülmüş,
- Aynı örtü katmanlarının laboratuarda; birim hacim ağırlığı, nem oranı, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, Poison oranı, suda ayrışma, darbe dayanımı, shore sertliği, konik indentör indisi, nokta yükü dayanımı, Schmidt sertliği ve üç eksenli basınç dayanımı (kohezyon, içsel sürtünme açısı) belirlenmiş,
- TKİ Kurumu’nun tüm açık ocaklarında gerek TKİ Kurumu’nun ve gerekse müteahhit firmaların dekapajda çalışan değişik tip ve kapasitedeki kazı makinelerinin ilgili jeolojik birimlerde performansları çıkartılmış, bu amaçla;
 - ♦ Formasyonun patlatma ile veya ripperle gevşetilip gevşetilmediği,
 - ♦ Patlatma ile gevşetildi ise kullanılan patlayıcı miktarı, delik boyu, çapı, delik aralıkları, sıkılama boyu, yemleme biçimi ve miktarları gibi patlatma ile ilgili bilgilerin derlenmesi,
 - ♦ Kaya blok büyüklükleri,

- ♦ Jeolojik birim gevşetilmiş veya gevşetilmemiş olsun, kazı makinesinin performansının, birim hacim dekapaj için sarf edilen enerjinin veya yakıtın miktarı,
- ♦ Yükleme zamanı,
- ♦ Kepçe dolma katsayısı,
- ♦ Kepçe izlerinin kalıp kalmadığı,
- ♦ Ekskavatörlerin arka kısımlarının kalkıp kalkmadığı, zorlanıp zorlanmadığı,

gibi özellikler saptanmıştır.

- Tüm bu çalışmalar, TKİ'nin bütün açık ocakları için yapılarak; kaya birimlerinin gerek fiziksel ve mekanik özellikleri ve gerekse kütleli özellikleri ile değişik tip ve kapasitedeki iş makinelerinin performansları karşılaştırılarak "kazılabilirlik, ripirlenebilirlik ve patlatma ile gevşetilmesi için gerekli sınıflamalar yapılmıştır .

Kaya kütle özellikleri olarak, doku, renk, ayrışma derecesi, mevcut süreksizlik sistemleri ve bunların özellikleri arazide yapılan gözlemler sonucunda sistematik olarak kaydedilmiştir.

Ayrışma olayı; kayanın dayanım özelliklerini etkilemesi nedeniyle kayanın mekanik davranışını kontrol eden önemli bir parametre olmaktadır (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a).

Kaya kütlelerinin ayrışma derecesini tanımlamada kullanılan sınıflandırma sistemi Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kaya ayrışma sınıflandırması (ISRM, 1978)

Sınıf	Terim	Tanım
1	Taze	Kaya kütlesinde ayrışmanın hiçbir etkisi görülmez, belki süreksizlik yüzeylerinde hafif renk değişimi olabilir.
2	Az derecede ayrışmış	Renk değişimi kaya kütlesinin ve süreksizlik yüzeylerinin ayrıştığını gösterir. Ayrışma sonucu kaya kısmen renk değiştirebilir, fakat henüz direncinden birşey yitirmemiştir.
3	Orta derecede ayrışmış	Kaya kütlesi tümüyle yer değiştirmiş ve önemli ölçüde direncini yitirmiştir. Kaya kütlesi ayrışmanın etkisiyle süreksiz bir çatı veya çekirdek taşları şeklinde bulunabilir.
4	İleri derecede ayrışmış	Kaya kısmen toprağa dönüşmüş ve/veya ufalanmıştır. Toprak içinde taze veya renk değiştirmiş veya dayanımsız kaya maddesi ve süreksiz bir çatı veya çekirdek taşları şeklinde bulunabilir.
5	Tümüyle ayrışmış	Kaya tümüyle toprağa dönüşmüş ve/veya ufalanmıştır. Fakat kayanın orijinal yapısı ve dokusu hala korunmaktadır.
6	Kalıntı	Kaya tümüyle toprağa dönüşmüş olup, kütleli yapı ve dokusu bozulmuştur. Hacim büyük ölçüde artmış fakat toprak henüz taşınmamıştır.

Eklemler arası mesafe; doğrultu ve yatım itibarıyla aynı sisteme dahil olan eklem yüzeyleri arasındaki ortalama dikey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Katmanlaşma kalınlığı ise; kaya kütlesi içerisindeki katmanlaşma yüzeyleri arasındaki ortalama dikey mesafe ölçülerek belirlenmiştir. Kaya kütlesinin eklemler ve katmanlaşma düzlemlerinin kesişimi ile oluşan bloklardan oluştuğu

düşünüldüğünde, bu blokların boyut ve geometrilerinin gerek gevşetme ve gerekse kazı işlemi açısından önemli bir faktör olduğu şüphesizdir (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a).

Kayaların sertliklerini belirlemeye yarayan, Schmidt çekici serlik değerleridir. Ayna ve iri kaya blokları üzerinde darbe yaptırılarak gözlenen sertlik değerleri kayıt edilmiştir. Sertlik ölçümlerinde Poole ve Farmer (1980)'ın geliştirdiği tekrarlamalı darbe yöntemi kullanılmıştır (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a). Schmidt çekicine göre kaya sertlik tanımları Çizelge 2.3.'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Schmidt çekicine göre kaya sertlik tanımı (Poole ve Farmer, 1980)

Değer	Tanım
0-10	Yumuşak
10-20	Biraz yumuşak
20-40	Biraz sert
40-50	Sert
50-60	Oldukça sert
>60	Çok sert

Sismik hız tayini için, bir kaynaktan verilen enerjinin yüzeyde belli aralıklarla yerleştirilen alıcılarla (jeofonlarla) alınmasından oluşmuştur. Kaynak olarak genellikle küçük bir patlayıcı kullanılmaktadır. Kaynaktan çıkan enerji, formasyonların özelliklerine bağlı olarak kırılmakta ve jeofonlara farklı zamanlarda ulaşmaktadır. Böylece enerjinin hareket zamanı ve alındığı mesafeler esas alınarak mesafe-zaman grafiğinden hızların formasyonlarda derinlikle değişimi bulunabilmektedir (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a).

Kazılabilirliğe göre malzemenin sınıflandırması şu şekildedir (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988b):

Kolay kazılabilir: Kum, küçük çakıl gibi yumuşak, gevşek malzeme.

Orta kazılabilir: Patlatma olmaksızın da kazılabilen kil, killi çakıl gibi kısmen sağlam malzeme.

Orta – zor kazılabilir: Kireçtaşı, iri parçalı çakıl, yaş kil gibi hafif patlatmayla parçalanması gereken malzeme.

Zor kazılabilir: Kepçede büyük boşluklara neden olan granit, sert kireçtaşı gibi patlatma gerektiren malzeme.

Çok zor kazılabilir: Çok sert granit, çok sert kristalize kalkerler ile süreksizliklerin gelişmediği konglomera gibi malzeme.

Paşamehmetoğlu ve arkadaşları (1988a) tarafından tüm TKİ ocaklarında yapılan ve 284 adet değişik ölçüm sonuçlarına dayanarak çıkartılan kazılabilirlik puanlama ve sınıflandırma sistemleri Çizelge 2.4 ve 2.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Kazılabilirlik parametreleri ve puanlama sistemleri (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a)

Kazı sınıfı Parametreler	1	2	3	4	5
σ_c , Mpa	<5	5-20	20-40	40-110	>110
Is (50)	<0.2	0.2-0.8	0.8-1.6	1.6-4.4	>4.4
Puan	2	5	10	20	25
Ortalama eklem aralığı, cm	<30	30-60	60-120	120-200	>200
Puan	5	10	15	20	25
Sismik hız, m/sn	<1600	1600-2000	2000-2500	2500-3000	>3000
Puan	5	10	15	20	25
Ayrışma durumu	Tamamen	İleri derecede	Orta derecede	Taze-az ayrılmış	
Puan	0	3	6	10	
Sertlik (SHV)	20	20-30	30-45	45-55	>55
Puan	3	5	8	12	15

- Çizelge, tabakalanma +2 eklem takımının varlığı için önerilmiştir.

Tabakalanma +1 eklem takımı varsa +5, tabakalanmadan başka eklem takımı yoksa +10, süreksizlik belirgin değilse +15 puan toplama ilave edilmelidir.

- Taze birimlerin içinde yer yer makaslama zonları bulunabileceği ihtimali ve az ayrılmış sınıfta fazla dayanım kaybı olmayacağı nedenleriyle taze ve az ayrılmış birimler birlikte değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.5. Kazılabilirlik sınıflandırması (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a)

Kazı sınıfı	Kazı tanımı	Kazılabilirlik puanı	Kazı türü ve kazı aracı			Patlatılacaksa	
			Elektrikli kazıcı*	Hidrolik kazıcı**	Riperlenebilme	Ortalama delme hızı, m/dak	Özgül şarj, gr/m ³
1	Kolay	0-25	Doğrudan kazabilir	Doğrudan kazabilir	D7 dozer riperleyebilir	—	—
2	Orta	25-45	Patlatma gerekli	Doğrudan kazabilir	D8 Marjinal veya D9 dozer riperleyebilir	1,48	130-200
3	Orta-zor	45-65	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	D9 Marjinal veya D11 dozer riperleyebilir	1,28	200-280
4	Zor	65-85	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli veya D11 dozer verimsiz riperliyebilir	0,47	280-350
5	Çok zor	85-100	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	0,42'den az	>350 veya Al katkılı bulamaçlar + patar patlatması

** Hidrolik ekskavatör 7 yd³ ve altı için geçerlidir.

* 10-25 yd³ kapasite için geçerlidir.

Ayrıca Ceylanoğlu (1991), yine tüm TKİ ocaklarında yapılan ve iki yıllık bir süreyi kapsayan çalışma sonuçlarına dayanarak, özgül kazı enerjisine yönelik bir kazılabilirlik sınıflandırma sistemi geliştirmiştir. Bu sınıflandırma sisteminin esası, harcanan enerji miktarının yerinde malzeme miktarına oranıdır. Bu sınıflandırma sistemi Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Özgül kazı enerjisine göre kazılabilirlik sınıflaması (Ceylanoğlu, 1991)

Kepçe kapasitesi (yd ³)	Özgül kazı enerjisi (kWh/m ³)			
	Kazının kolaylığı			
	Kolay	Orta	Orta-zor	Zor
10	≤0,235	0,236-0,300	0,300-0,390	≥0,391
15	≤0,210	0,211-0,275	0,276-0,345	≥0,346
20	≤0,185	0,186-0,250	0,251-0,315	≥0,316
25	≤0,155	0,156-0,220	0,221-0,290	≥0,291

2.4. Ekskavatörlerin Saatlik Yükleme Kapasitelerinin Tespiti

Ekskavatörün çalışma şartlarının ideal olduğu ortamlarda bir saatte yaptığı iş miktarı “teorik kapasite”, patlatılıp-gevşetilmiş veya doğrudan kazı ile fiili olarak bir saatte gerçekleştirdiği iş miktarına ise, “fiili kapasite” denir. Fiili kapasiteyi olumsuz yönde etkileyen nedenler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Ekskavatörün çalışacağı malzemenin kazı zorluğu,
- Kazılacak malzemenin (zor, orta-zor kazı sınıfı için) gevşetilmemiş olması,
- Ayna yüksekliğinin uygun olmaması,
- Ekskavatörün kapasitesine göre kamyon kapasitesi ve sayısının uygun olmaması,
- Makinenin tek taraflı çalıştırılması, dönme açısının büyük olması,
- Killi ve nemli malzemenin kepçeye yapışarak üretim miktarını olumsuz etkilemesi,
- Malzemenin iri ve bloklu olması,

- Patlatma sonrası tabanda tırnak oluşması,
- Kullanıcı operatörün deneyiminin yetersiz olması vd.

Ekskavatörlerin yükleme kapasiteleri tespit edilirken genel madencilik uygulamalarında kullanılan kapasite tespit formülü kullanılır. Formülde kullanılan değerler ve tespit edilme şekilleri aşağıda gösterilmiştir.

Ekskavatörün yükleme kapasitesi (saatlik iş miktarı), aşağıdaki Eş. 2.1 kullanılarak hesaplanır.

$$Q = \frac{C_d \cdot 0,764 \cdot 3600 \cdot F \cdot E}{t_s \cdot S} \quad (2.1)$$

Q = saatlik iş miktarı (yerinde malzeme için) (m³/saat)

C_d = kepçe hacmi (yd³)

t_s = devir süresi (sn)

E = verimlilik katsayısı (%)

E = f₁.f₂

f₁= İşyeri organizasyon katsayısı (%)

f₂= Operatör randımanı (%)

F = kepçe dolum katsayısı (%)

S = kabarma katsayısı

Makinelerin kapasiteleri belirlenirken ve verimleri incelenirken, malzeme ve teçhizatın pek çok özelliğinin göz önüne alınması gerekir. En iyi şartlar temin edilmiş olsa bile, çalışma şartları iyi düzenlenmediği için bir makine veya teçhizat en iyi verim ile çalışmayabilir. Uygulamada, makinelerin mekanik verimlerine %100 ölçüde ulaşmak mümkün değildir. Bu sebeple makinelerin teorik maksimum kapasitelerini, uygulamadaki gerçek değerlerine dönüştürebilmek için çeşitli düzeltme katsayıları kullanılmaktadır. Bunlar (Eskikaya,1986):

- Makinelerin yapısal özellikleri (dönme, kepçe dolma katsayısı vd.),
- Malzeme nitelikleri (kabarma katsayısı, parça boyutu vd.),
- Çalışma şekilleri (derinlik katsayısı, saatteki çalışma süresi, mekanik mevcudiyet, mekanik verim, kepçe devir süresi, uyuşma faktörü, iş şartları ve organizasyon gibi.) olarak sınıflandırılabilir.

2.4.1. Yapısal özellikler ile ilgili katsayılar

2.4.1.1. Dönme katsayısı ve operatör randımanı

Dönme açısındaki değişikliklerin kepçe devri üzerindeki etkisini tayin eden katsayıya “dönme katsayısı” denir. Baz olarak 90^0 lik dönme açısı alınmaktadır. Dönme açısı ne kadar küçükse, devir de o ölçüde küçük olmakta ve bir saat içindeki dönme hareketi sayısı o nispette artmaktadır (Eskikaya,1986). Dolayısıyla, dekapaj çalışmalarında kullanılan makineler dönme açıları minimum olacak şekilde çalıştığında, kepçe devir süresi en aza inerken, aynı zamanda saatlik iş miktarı artmaktadır. Çizelge 2.7’ de literatürde verilen, kazı yükleme makinelerinin dönme açılarına göre dönme katsayıları verilmiştir.

Çizelge 2.7. Yükleyciler için dönme katsayısı (Eskikaya,1986).

Dönme açısı (derece)	45	60	75	90	120	150	180
Dönme katsayısı	1,2	1,1	1,05	1	0,91	0,91	0,77

Operatör randımanı (f_2), yükleme kapasitesi tespit edilirken incelenmesi gereken bir parametredir. Operatör randımanı dönme açısına bağlı olarak tespit edilebilir. Ölçülen fiili açı değerlerinin ideal çalışma açısı olan 90^0 ’e bölünmesi suretiyle operatör randımanı tespit edilebilir. (Bilge, 2002)

2.4.1.2. Kepçe dolma katsayısı

Kepçenin nominal kapasitesi ile taşıdığı fiili miktar arasındaki orandır. Kepçenin kayaca veya kırılmış malzemeye sokulabilme veya batırılabilme şartları tarafından tayin edilir. Makinenin kapasitesini etkileyen bu katsayı; malzeme parça boyutuna, operatör maharetine, patlatma verimine, makinenin sıkıştırma oranına ve formasyon özelliklerine bağlıdır.

Paşamehmetoğlu ve arkadaşlarının (1988) TKİ dekapaj sahaları için yapmış olduğu çalışmalar sonucunda, ortalama kepçe dolma katsayısında patlatma öncesi ve sonrası %11 oranında farklılık oluşmuştur. Patlatma ile hem saatte üretilen malzeme miktarı, hem de birim enerji ile üretilen malzeme miktarı artmaktadır.

Kazı zorluğuna göre kepçe dolma katsayılarındaki değişim Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Kepçe dolma katsayıları (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a)

Kazı sınıfı	Dolma faktörü (DF)
Kolay kazı	$DF > 0,95$
Orta kazı	$0,90 < DF < 0,95$
Orta- zor kazı	$0,80 < DF < 0,90$
Zor kazı	$0,70 < DF < 0,80$
Çok zor kazı	$DF < 0,70$

2.4.2. Malzeme özellikleri ile ilgili katsayılar

2.4.2.1. Kabarma katsayısı

Bu katsayı, yerinde malzemenin hacminin gevşetilmiş duruma geçerken hacminde meydana gelen artışın yüzdesini ifade etmektedir. Kabarma katsayısı, malzemenin formasyon özelliklerine, kullanılan patlayıcı madde miktarı ve patlatma verimine bağlıdır.

Ayrıca literatürde verilen, kayaçların kabarma katsayısı ile kepçe dolma katsayısı arasındaki ilişki Çizelge 2.9’da verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi, kayacın kabarma katsayısı arttıkça, kepçe dolma katsayısı azalmaktadır. Gevşetilmiş veya kırılmış kayaçlarda kabarma katsayısı ve kepçe dolma katsayısı büyük ölçüde parça büyüklüğüne ve kepçe büyüklüğüne bağlıdır. Parça büyüklüğü arttıkça, kabarma katsayısı artarken kepçe dolma katsayısı azalmaktadır. Buna bağlı olarak, özellikle küçük kapasiteli makinelerde, üretim de büyük ölçüde düşmektedir.

Çizelge 2.9. Bazı kayaçlara ilişkin kabarma ve kepçe dolma katsayıları (Eskikaya, 1986)

Kayaçlar	Kabarma katsayısı	Kepçe dolma katsayısı
Kum ve hafif kumlu balçık	1,08-1,17	1,10-1,00
Konsolide olmayan kayaçlar ve 15 mm'ye kadar kayaçlar	1,15-1,30	1,0-0,9
Konsolide yumuşak kayaçlar, gravel	1,25-1,35	1,0-0,8
Düşük sertlikte kompakt kayaçlar	1,30-1,40	0,85-0,75
Kompakt orta sert kayaçlar	1,35-1,45	0,80-0,70
Sert kompakt kayaçlar	1,40-1,50	0,75-0,65

Örtü katmanlarının kabarma katsayılarının tayini için, yerinde ve gevşetilmiş haldeki birim ağırlıklardan faydalanılır.

2.4.3. Çalışma şekli özellikleri ile ilgili katsayılar

2.4.3.1. Derinlik katsayısı

Kepçeli ekskavatörler için optimum bir kesme derinliği vardır. Eğer makine bu optimum değerden daha değişik bir değerde çalışacak olursa, makinenin verimliliği düşer (Eskikaya, 1986).

Açık ocak madencilik işlemlerinde en uygun kazı derinliğine kadar kepçenin doldurulmasında sorun yoktur. Ancak kazılması gereken örtü tabakasının ince veya kazılabilirliği zor olması durumunda kepçeyi doldurmak için çekme – kaldırma süresi artacağından devir süresi de artacaktır. Uygun çalışma koşullarında, makine enerji tüketiminin minimum düzeyde sağlanabilmesi için kepçe kesme derinliğinin, optimum kepçe yüksekliği seviyesinde %100 doluluk oranına ulaşacak şekilde ayarlanmalıdır. Makinenin çalıştığı şevde yüksek kesme derinliği uygulamak suretiyle kepçe doluluğunun sağlanması, üretim miktarı bakımından isteneni sağlasa da tüketilen enerji miktarı açısından iyi bir işletme randımanı oluşturmamaktadır. %100 optimum kazı derinliği sağlandığında, derinlik katsayısı 1'e eşit olmaktadır (Karpuz ve Hindistan, 2005).

2.4.3.2. İş veri organizasyon katsayısı (f_1)

Faydalanma ve iş yönetimi verimliliklerinin birleşim etkisini temsil etmek için kullanılan bir değişkendir. Faydalanma, mekanik olarak, makinenin programlanan süre içinde gerçek anlamda faal olduğu süreyi tanımlar. Bir sistemin parçası olarak çalışan ekskavatör; yönetim, iş gücü eksiklikleri, iş koşulları, iklim gibi nedenlerden dolayı kesintilere uğrayabilir. Bu durum işin verimliliğini etkiler. Örneğin, olağan dışı iklim koşulları, tozlu bir ortam, ağır ve aşındırıcı zemin, düşük iş gücü kalitesi kötü iş koşulları ve düşük verimlilik anlamına gelir. Eğer yönetim iyi, atölyeler donanımlı, bakım programları plana uygun, nakliyat kesintileri en az düzeyde ve imkanlar yüksek ise gerçek üretim süresi de yüksek olur (Karpuz ve Hindistan, 2005). Yönetim verimliliği ve çalışma koşullarına bağlı olarak literatürdeki çalışma verimlilik katsayıları Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Çalışma verimlilik katsayıları (Karpuz ve Hindistan, 2005).

Çalışma koşulları	Yönetim verimliliği			
	Mükemmel	İyi	Orta	Zayıf
Mükemmel	0,83	0,80	0,77	0,77
İyi	0,76	0,73	0,70	0,64
Orta	0,72	0,69	0,66	0,60
Zayıf	0,63	0,61	0,59	0,54

2.4.3.3. Kepçe devir süresi (t_s)

Kesikli çalışan bütün makinelerde devir süresi en önemli faktörlerden biridir. Bir ekskavatör için devir süresi; kepçenin dolması, boşaltılma noktasına (kamyonu) dönmesi, boşaltılması ve geri dönmesi sürelerinin toplamıdır. Devir süresi; daha çok makinenin kepçe kapasitesine, operatör kabiliyetine, formasyon özelliklerine, patlatma verimine ve yükleme şekline bağlı olarak değişmektedir. Çalışılan malzemenin kazılabilirliği zorlaştıkça kepçe dolma süresi artar. Ayrıca devir süresi, ekskavatörün dönme hızına ve dönme açısına da bağlıdır. Dönme açısı büyüdükçe dönme süresi de artar.

Çizelge 2.11'de yükleyici kepçeler için literatürde önerilen kazı zorluğuna ve kepçe hacimlerine göre kepçe devir süreleri verilmiştir.

Çizelge 2.11. Kazı zorluğuna göre ekskavatörlerin ortalama kepçe devir süreleri (Paşamehmetoğlu ve ark., 1998b)

Ekskavatör Tipi	Kepçe Kapasitesi (yd ³)	Literatürde önerilen kepçe kapasitesine göre kepçe periyodu (sn)				
		Kolay kazı	Orta kazı	Orta-zor	Zor	Çok zor
EE	20,0	26	30	34	37	41
HE	11,0	24	28	32	33	37
HE	8,0	22	26	30	31	35
HE	7,0	21	25	30	30	34
HE	6,0	21	25	29	30	34
HE	5,0	20	24	29	29	33
HE	4,0	20	24	28	29	33
HE	3,5	19	23	28	28	32
HE	3,0	19	23	27	28	32
HE	2,5	19	23	27	28	32

EE: elektrikli ekskavatör

HE: hidrolik ekskavatör (ters kepçe)

2.5. Kamyonların Saatlik Taşıma Kapasitelerinin Tespiti

Açık işletmelerde örtü kazı çalışmalarında yaygın olarak kullanılmakta olan ekskavatör-kamyon yönteminde en önemli unsur, birlikte çalışabilecek en uygun ekskavatör-kamyon kombinasyonunun belirlenmesidir. Bunun için ekonomik ve teknik değerlendirmeler yapılmalı, bu değerlendirmelerde teknik olarak uygulanabilecek olası tüm kombinasyonlar ele alınarak maliyet analizleri yapılmalıdır.

Ekskavatör + kamyon örtü kazı yönteminde, taşıma maliyeti yükleme ve kazı maliyetinden daha fazladır. Ayrıca kazıcıların ömrü 25 yıl olmasına karşılık, kamyonların ekonomik ömrü 8–10 yıl civarındadır. Bu bakımdan öncelikle kamyonların rahat ve verimli çalışabilmeleri için, yolların düzgün olması ve döküm sahalarının fazla uzak olmaması gerekmektedir.

Kazı–yükleme makineleri ve kamyonlardan yeterince yararlanabilmek için, kapasiteleri de uyum içinde olmalıdır. Ekskavatör-kamyon sistemlerinin birim

maliyetlerinin hesaplanması sırasında, bir kamyonu doldurmak için gerekli döngü (kepçe devri) sayısının teknik olarak kabul edilebilir sınırlar içinde olması gerekmektedir. Bunun için de öncelikle, bir ekskavatörün bir kamyonu doldurması için gerekli kepçe sayısı belirlenmelidir.

Ekskavatör kepçe kapasitesinin artması ile, aynı kapasitede kamyonu doldurmak için daha az sayıda döngü gerekmekte böylece döngü süresinin azalmasıyla ekskavatörün birim zamandaki iş miktarı artmaktadır. Fakat aynı zamanda, bir seferde bırakılan büyük miktardaki malzeme, kamyon altyapısını zorlamakta, gerek kamyon şasisine, gerekse de diğer donanımlarına zarar verebilmektedir.

Kamyon kapasitesinin artması ile de, bir ekskavatör bir kamyonu doldurmak için çok sayıda döngüye ihtiyaç duymakta, bir kamyonu yüklemek için gereken süre artmakta buna bağlı olarak da kamyon tur zamanı artmakta ve birim zamandaki iş miktarı azalmaktadır. Döngü sayısı işletme organizasyonu ve teknik düzenlemeleri bozacak boyutlara erişebilmektedir. Ayrıca, makinenin kepçe hacmi kamyon kapasitesine göre çok büyük olduğunda, ya kamyon kasası tam yüklenememekte, ya da fazla yükleme nedeniyle malzemenin bir kısmı kamyon kasasından taşmaktadır.

Kamyon çalışması da, kazı yükleme makineleri gibi döngü olup, bu döngüyü oluşturan hareketler; kazı yükleme makinesi yanında manevra, yükleme, boşaltma yerine gidiş, boşaltma ve boş dönüştür. Yükleme süresi, yükleyici makinenin devir süresine ve bir kamyonun doldurulması için gereken kepçe sayısına bağlıdır. Yolda geçen süre de ise en önemli faktör yol durumudur. Yolun zemini, eğimi, virajlar ve kavşaklar gibi hızı etkileyen faktörler ve yolun uzunluğu bu sürede etkileyici rol oynar. Ayrıca kamyonun performansı da önemli bir faktördür. Kamyonun boşaltma süresi ile yükleyicinin yanındaki manevra süresi ise çalışma şartlarına bağlıdır.

Kamyon kapasitelerinin tespitinde, genel madencilik kaynaklarında verilen kapasite tespit formülleri kullanılabilir. Formülde kullanılan değerler ve tespit edilme şekilleri aşağıda gösterilmiştir.

$$P_T = \frac{3600 \times C_a \times E}{T} \text{ eşitliği kullanılarak hesaplanır.} \quad (2.2)$$

Burada;

P_T : kamyonun saatlik iş miktarı (m^3 /saat)

C_a : kamyonun gerçekleştiren kapasitesi (1 devirde naklettiği miktar) (m^3),

E : verimlilik,

T : kamyon devir süresi'dir.

2.5.1. Kamyon devir süresi (T)

Kamyon döngü (tur) zamanı (T) = $t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$ eşitliği ile hesaplanır. (2.3)

t_1 : Kamyon dolma süresi (kamyonun dolması için gerekli kepçe sayısı x kepçe devir süresi)

t_2 : Yükleyici yanında yüklemeye hazır duruma gelme

t_3 : Boşaltma süresi (döküm alanında manevra ve boşaltma süresi)

t_4 : Dolu gidişte yolda geçen süre

t_5 : Boş dönüşte yolda geçen süre

2.5.1.1. Yükleme süresi (t_1)

Yükleme süresi (kamyonun dolma süresi), kamyonun dolması için gerekli kepçe sayısı ile kepçe devir süresinin çarpımı ile bulunur. Ekskavatörün kamyonu yükleme yapabilmesi için gerekli süre şu şekilde elde edilir.

$$t_1 = t_s \times n \text{ eşitliği kullanılır.} \quad (2.4)$$

t_1 = yükleme süresi

t_s : yükleyici kepçe devir süresi,

n : kamyonun dolması için gerekli kepçe sayısı

Burada, (n) kamyonun dolması için gerekli kepçe sayısı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$n = \frac{C_T}{C_C} \quad (2.5)$$

C_T : kamyon kapasitesi (m^3),

C_C : bir kepçe devrindeki kapasite (m^3 /devir)'dir.

Bir kepçe devrinde kepçe kapasitesi;

$$C_C = \frac{C_d \times F}{S} \text{ eşitliğine göre hesaplanır.} \quad (2.6)$$

C_d : kepçe hacmi (m^3)

S : malzeme kabarma katsayısı

F : kepçe dolma katsayısı

2.5.1.2. Yükleyici yanında manevra süresi (t_2)

Kamyonun yükleyici yanındaki manevra süresi literatürde çalışma şartlarına göre verilmiştir. Çalışma şartları iyi ise manevra süresi 9 sn, orta ise 18 sn, zor ise 30 sn'dir (Karpuz ve Hindistan, 2005).

2.5.1.3. Döküm alanında boşaltma ve manevra süresi (t_3)

Kamyonun döküm alanında manevra ve boşaltma süresi de yine literatürde çalışma şartlarına göre verilmiştir. Çalışma şartları iyi ise boşaltma süresi 60 sn, orta ise 78 sn, zor ise 108 sn'dir (Karpuz ve Hindistan, 2005).

2.5.1.4. Dolu döküme gidiş ve boş dönüş süresi (t_4 - t_5)

Dolu gidişte ve boş dönüşte yolda geçen süreler; yolun durumuna, eğimine ve kamyonun özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

3. ÇAN LİNYİTLERİ İŞLETMESİNİN TANITILMASI

3.1. Çan Linyitleri İşletmesi

Çanakkale – Çan havzasındaki kömür oluşumu, 1940 yılında tespit edilmiş ve 1979 yılına kadar özel sektör tarafından işletilmiştir. 1979 yılında Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'na devredilen ruhsat sahalarında, Ege Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü'ne bağlı "Çan Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü" adı altında faaliyet göstermektedir (Balkış, 2005).

3.2. Bölgenin Genel Jeolojik Durumu

3.2.1. Stratigrafi

Stratigrafik diziliş 3 ana bölümde incelenebilir.

3.2.1.1. Neojen öncesi kayaçlar

- **Spilitler:**

Linyit havzasının kuzeydoğusunu sınırlayan ve kretase yaşlı olduğu tahmin edilen spilitlere Mallıköy'ün kuzeydoğusunda rastlanmaktadır. Spilitler içinde mesozoik ve yaşlı ekzotik kireç taşı bloklarına rastlanır. Renkleri koyu gri - kahverengidir. Bazı kesimlerde ise bozuşmalar sonucu koyu yeşil-yeşilimsi renge dönüşmüşlerdir.

- **Tüf, aglomeratik tüf, andezit ve bazaltlar:**

Linyit havzasının temelini oluşturan bu volkanikler birbirleriyle grift halde bulunmaktadır. Bu nedenle bunlara temel volkanikleri denilmektedir. Karakteristik olarak Kocabaşçayı'nın güneyindeki tepelerde görülmektedir. Hakim litoloji asit karakterli tüf ve aglomeratik tüflerden ibarettir. Kısmen kaolinleşme ve sarımsı kahverengiyle de limonitleşme görülmektedir.

Kaolinleşme sonucu açığa çıkan silisin bir kısmı diskordans yüzeyindeki tüfleri tamamen silisleştirmiş, çatlaklarda opal, kalsedon damarları oluşturmuştur. Ayrıca kömür horizonu altındaki temel tüfünde rastlanan ve sondajlarda temeli tanımada bir ayıraç olarak kullanılan 0,5 mm çapındaki yuvarlak silis oluşumlarının teşekkülü de bu tarzda açıklanmaktadır.

Bazaltlar; yeşilimsi nüanslı siyah renkli, iri hornblend fenerokristalli, oldukça bol zeolit dolgulu ve jeodotlu olan bu volkanikler belirgin eklemlidir. Ayrıca aralarında kaolinleşmiş tuf mercekleri bulunmaktadır.

Andazitler etüd sahasında görülmeyip, kuzeyde İlyasağa Çiftliği Köyünde gözlenmektedirler. Renkleri pembe, açık kahverengi iri ortoz ve hornblend kristallidir (TKİ, 2002).

3.2.1.2. Neojen jeolojik birimleri

- **Kömürlü Jeolojik Birim:**

Alt kısımlarında ekonomik linyit damarı bulunmakta olan bu jeolojik birimin kalınlığı 30 m–300 m arasında değişmektedir. Jeolojik birim alttan itibaren şu seviyelere ayrılmıştır:

Taban Aglomeraları: İyi yuvarlaklaşmış iri volkanik çakıllardan oluşan bu seviye bazı sondajlarda saptanmıştır. Kalınlığı 0 – 2 m arasında değişmektedir.

Linyit Horizonu: Kalınlığı 0 ile 65 m arasında değişir. Değişik kalınlık gösteren linyit; killi linyit, linyitli kil tabakalarıyla tamamen steril kil, tüfit, ara kesmelerden oluşur.

Kumlu Killer: Linyit horizonunun hemen üzerinde konkordan olarak gelir. Kalınlığı 12–23 m arasında değişir. Gri renkli killerle derecelenme gösteren volkanik elemanlı killerden oluşur.

- **Alt aglomera:**

Kumlu killer üzerinde yer alan bu jeolojik birim genellikle havza batısında tipik olarak da Çan–5 panosu çevresinde görülür. Kalınlığı 20–90 m arasında olan köşeli bazalt parçalarından oluşur. Genel rengi açık mor nüanslı kurşunidir. Çimento çok sıkidır.

- **Laminalı kil, tüfit ve tuf ardalanması:**

Kalınlığı 20–90 m arasında değişen bu jeolojik birim laminalı kil, silt taşı, tüfit ve ince mercekler halinde tuf ardalanmasından ibarettir. Bu jeolojik birim içinde

muhtelif seviyelerde türbitid akıntı izlerine rastlanır. Ayrıca jeolojik birimin alt kısımlarında yayılımı çok sınırlı olan ve en çok 0,80 m kalınlıkta ince bir linyit damarı bulunmaktadır.

Üst aglomeralar:

Havzanın kuzey kısmını tamamen kaplayan bu jeolojik birimin kalınlığı 200 m'ye kadar ulaşmaktadır. Koyu gri renkli bazaltik aglomera ile kırmızı, sarı ve sarımsı kahverengi andezitik aglomeralardan meydana gelmiştir. Bazen 1–2 m çapında bazalt bloklarına rastlanmaktadır.

Gevşek çimentolu ve masif olan aglomeralar geniş alanlar kaplayarak alttaki jeolojik yapıyı tamamen gizlerler. Altteki laminalı killerin üzerine açısız diskordansla oturmuşlardır.

• Üst pliosen-pleistosen:

Bu jeolojik birim alttaki seriler üzerine diskordan olarak gelmektedir. İyi yuvarlaklaşmış ve yer yer iri bloklu bazalt, andezit, radyolarit kuvars, sileks ve kalker elemanlı çakıl ve kumlardan oluşmaktadır (TKİ, 2002).

3.2.1.3. Neojen sonrası çökeller

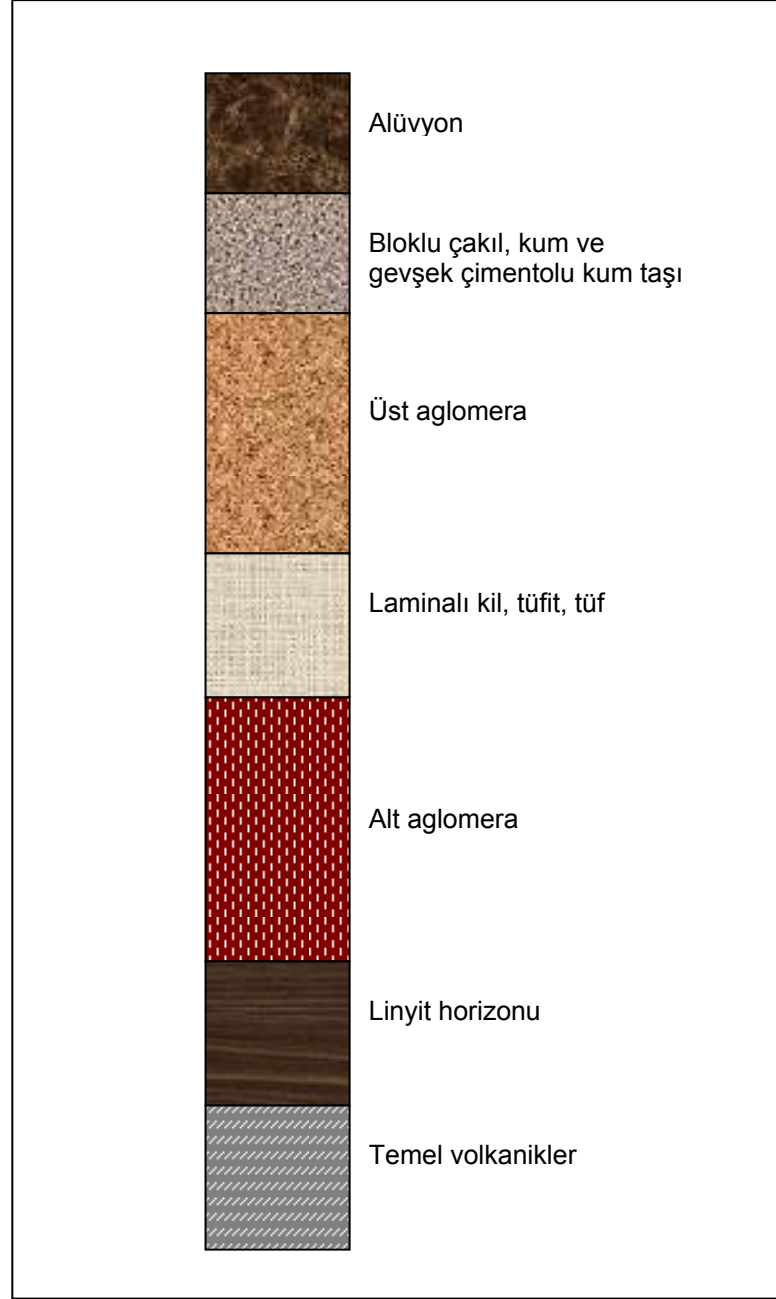
• Konglomera:

Köşeli iri blokların gevşek kumlu ve killi bir bağlayıcı ile birleşmesinden oluşmuştur. Çan ilçesinin kuzeydoğusunda görülür.

• Alüvyonlar:

En çok havzanın güneyindeki Kocabaşçayı vadisinde görülmektedirler. Eski alüvyonlarda genellikle 2–20 cm boyutlu iyi yuvarlaklaşmış kaba çakıllar hakimdir. Elemanların %80'i volkanik (andezit, bazalt) kökenlidir. Yeni alüvyonda kil ve kumların kalınlığı Kocabaşçayı vadisinde 30 metreye ulaşır (TKİ, 1998).

Şekil 3.1'de Çan Linyit Havzası'na ait genelleştirilmiş jeolojik stamp verilmiştir.



Şekil 3.1. Ç.L.İ. kömür sahasına ait genelleştirilmiş jeolojik stamp (TKİ, 1998).

3.2.2. Yapısal jeoloji

3.2.2.1. Genel yapı

Üst aglomeraların geniş alanlar kaplaması havzanın jeolojik yapısının çözümünü büyük ölçüde zorlaştırmış olup, güneyde lamineli kil jeolojik biriminin kapladığı küçük alanlar dışındaki sorunların çözümü sondaj verilerine dayanarak yapılmıştır.

Etüt sahasındaki kıvrımlar, büyük ölçüde ilkel su altı topografyasına bağlı olarak geliştiklerinden düzensiz şekillidirler. Sondajlarla, hemen her yere doğru olan

kıvrımların varlığı saptanmış olup, ana eksen yönü kuzeydoğu - güneybatı istikametindedir.

Havzada, birinci senklinal Çan 5-B panosunun kuzey - kuzeybatısında bulunmakta olup, doğu - batı doğrultusunda uzanmıştır. Bunun üst kesimlerinde ise kuzeydoğu - güneybatı doğrultusunda bir antiklinal vardır. İkinci senklinal, Çan-3 Ocağının hemen doğusundan geçen fayın yanından başlamaktadır. Yine Çan-1 panosunun güney - güneybatısında 315 numaralı sondajın etrafında faylarla bölünmüş büyük bir senklinal ile bunun kuzeyinde S 2-2 sondajı civarında bir antiklinal yerleşmiştir. Havzanın etkin bir tektonizma arz etmesi nedeniyle bu antiklinal ve senklinaller bölünmüşlerdir (TKİ, 1998).

3.2.2.2. Tabaka doğrultu ve eğimleri

Havzada genel katman eğimleri 5^0 - 20^0 arasında değişmektedir. 30^0 'nin üzerindeki eğimleri ise genellikle fay zonları civarında rastlanmaktadır.

Eğim yönü ise, havzanın büyük bir bölümünde kuzeye doğrudur. Havzada tabaka doğrultuları genel olarak kuzeydoğu - güneybatı yönünde olmakla birlikte, havzanın bazı kesimlerinde ise doğrultu kuzeybatı yönündedir (TKİ, 1998).

3.2.2.3. Kıvrımlar ve faylar

Çan linyit havzasında, kömürlü sahanın içinde ve yakın civarda kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu 6, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu 5 adet olmak üzere toplam 11 adet fay saptanmıştır.

Havzanın kuzeydoğusundaki üst kretase yaşlı splitler üzerinde temel volkaniklerinin diskordans olarak bulunuşu üst kretase sonunda laramien orojenezinin varlığını göstermektedir. Yine kömürlü jeolojik birim ile volkanikler arasında açılı diskordansın varlığı, ikisi arasında bir orojenezin varlığına işaret eder. Ancak kesin yaşlar saptanamadığı için hangi orojenezin oluştuğu bilinmemektedir (TKİ, 1998).

3.2.3. Hidrojeoloji

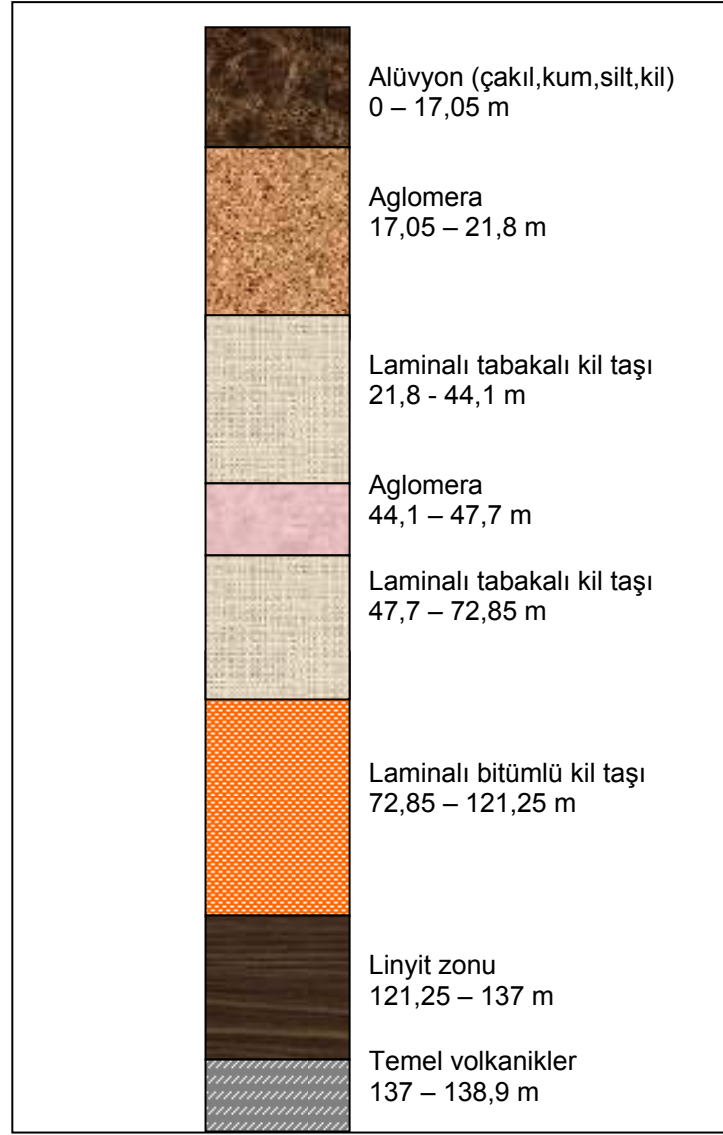
Çan ilçesi ve çevresi denize uzaktır, bu nedenle bölgedeki su kaynaklarını; yer altı suları ve yüzey suları meydana getirmektedir. Yapılan ön etütler sonucunda,

kömür sahasının yeraltı suyu bakımından fakir olduğu saptanmıştır. Bunun nedenleri sahadaki tüf, aglomera, tüfit, kil, marn gibi kayaçların gözeneksiz olmasıdır. Bu durum gerek açık ve gerekse kapalı işletmeler için bir avantajdır. Sahada görülen az debili kaynaklar, fay ve kırık zonlarında bulunmaktadır (TKİ, 1998).

3.2.4. Jeoteknik etütler

İşletme sahasında, jeoteknik etütlerde problemin çözümüne gerçekçi bir biçimde yaklaşılabilmesi, detay jeolojiye ait bilinmeyen hususların açıklığa kavuşturulması, yerinde testler yapılması ve laboratuvar testleri için örselenmiş / örselenmemiş örnek alınması amaçlarıyla altı ayrı lokasyonda tamamen karotlu toplam 885,65 m. jeoteknik sondaj yapılmıştır (M.T.A., 2002)

Sahanın genel jeolojik stampını yansıtan ÇJ14 numaralı jeolojik sondajına ait sembolik loglar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. ÇJ14 jeoteknik sondajına ait sembolik loglar (M.T.A., 2002)

3.2.4.1. Kaya kalite göstergesi (RQD)

RQD, 10 cm'den büyük karot parçalarının toplam uzunluğunun, % olarak toplam karot uzunluğundaki payıdır (MiningLife, 2006). Çizelge 3.1'de RQD değerine göre kaya kalite sınıflandırılması gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. RQD değerine göre kaya kalite sınıflandırılması (MiningLife, 2006).

RQD (%)	Kaya kalite sınıfı
<25	çok zayıf
25 - 50	zayıf
50 - 75	orta
75 - 90	iyi
90 - 100	mükemmel

M.T.A. tarafından yapılan etütler sonucunda; farklı birimlerin RQD değerlerinin yapılan sondajlara göre dağılımları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Sondajlara göre farklı birimlerin RQD değerleri (M.T.A., 2002).

Sondaj No	Derinlik (m)	Birim	RQD (%)
ÇJ13	19,00-29,25	Kiltaşı	20,7
	29,25-51,10	Aglomera,tüf	54,5
	51,10-99,00	Bitümlü laminalı kiltaşı	6,4
ÇJ14	17,05-21,80	Aglomera	37,9
	21,80-44,10	Laminalı kiltaşı,yy bitümlü	49,5
	44,10-47,70	Aglomera	91,1
	47,70-121,25	Laminalı kiltaşı,yy bitümlü	39,6
ÇJ15	0,00-16,00	Aglomera,andezitik lav	12,1
	16,00-40,00	Laminalı kiltaşı,yy bitümlü	31,5
	40,00-61,85	Aglomera	68,8
	61,85-111,20	Bitümlü laminalı kiltaşı	20,9
ÇJ16	0,00-13,85	Aglomera,andezitik lav	16,9
	13,85-19,95	Kiltaşı-kumtaşı	29,8
	19,95-28,65	Aglomera	81,2
	28,65-47,00	Laminalı kiltaşı	70,7
	47,00-53,00	Aglomera	81,8
	53,00-118,80	Bitümlü laminalı kiltaşı	55,7
ÇJ17	0,00-27,85	Aglomera,andezitik lav	10,4
	27,85-33,85	Kiltaşı	78,3
	33,85-45,40	Aglomera	72,3
	45,40-50,60	Kiltaşı-kumtaşı	21,9
	50,60-77,25	Bitümlü laminalı kiltaşı	17,5
	77,25-101,45	Aglomera,andezitik lav	26,4
	101,45-129,9	Bitümlü laminalı kiltaşı	6,9
ÇJ18	0,00-43,75	Aglomera	29,0
	43,75-48,70	Kiltaşı-yy aglomera	93,0
	48,70-59,65	Aglomera	96,0
	59,65-75,00	Laminalı kiltaşı	58,7
	75,00-106,70	Aglomera	77,5
	106,70-113,80	Laminalı kiltaşı	43,8
	113,80-142,15	Aglomera,andezitik lav	89,4
Ortalama	142,15-166,00	Laminalı bitümlü kiltaşı	21,2
			47,2

Çizelge 3.2’de verilen her bir birimin ortalama RQD değerleri, Çizelge 3.1 ile karşılaştırılarak, Çizelge 3.1’deki kaya kalite sınıflandırmasına göre Ç.L.İ. sahasındaki her bir birimin kaya kalitesi Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Ç.L.İ. sahasındaki her bir birimin ortalama RQD değerlerine göre kaya sınıfı

Birim	RQD (%)	Kaya kalite sınıfı
Aglomera	71	iyi
Kiltaşı - kumtaşı	26	zayıf
Lamineli kil taşı	58	orta
Kiltaşı yer yer aglomera	93	mükemmel
Kiltaşı	50	orta
Aglomera - tuf	55	orta
Bitümlü laminalı kiltası	29	zayıf
Lamineli kil taşı - yer yer bitümlü	40	zayıf
Aglomera -andezitik lav	31	zayıf
Ortalama	47	zayıf

3.2.4.2. Zemin sınıfı

M.T.A. tarafından yapılan jeolojik etüt çalışmaları kapsamında, çeşitli bölgelerden alınan altere aglomera, altere kiltası ve alüvyon numuneleri için yapılan testler sonucunda elde edilen değerlerin ortalamalarına göre; jeolojik birimlerin zemin sınıfları, ortalama nem içerikleri ve ortalama özgül ağırlıkları Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Ç.L.İ. jeolojik birimleri test sonuçları (M.T.A., 2002)

Tanım	Zemin Sınıfı	Doğal Nem İçeriği (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Altere aglomera	MH	39	2,40
Altere kiltası	MH	30	2,13
Alüvyon	MH	30	2,63

HM zemin sınıfı; inorganik silt, mikalı veya diyatomeli ince kumulu veya siltli toprak, elastik silt olarak tanımlanan zemin sınıfıdır (M.T.A., 2002).

3.2.4.3. Atterberg (kıvamlılık) limitleri

MTA tarafından yapılan çalışmalarda, Atterberg limitleri saptanan bütün örnekler için %50'nin üzerinde likit limit değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Likit limit değerinin %50'nin üzerinde olması, zemin malzemesi bünyesinde muhtemelen fazla miktarda montmorillonit (smektit) türü kil minerali bulunduğuna işaret etmektedir. Bu husus dikkate alınarak yapılan X-ışını kırınım analizleri sonucuna göre bu zeminlerin birkaç örnek dışında smektitçe zengin oldukları anlaşılmıştır. Bu tür killerin genellikle şişme potansiyelleri yüksektir ve su ile temaslarında stabilitelerini kaybederler.

Örneklerin şişme potansiyellerini belirlemek amacıyla aktivite sayıları (A) hesaplanmış, örneklerin aktivite (A) sayılarının yüksek – çok yüksek olduğu, şişme potansiyellerinin de özellikle ince taneli örnekler için yüksek – çok yüksek olduğu görülmüştür.

Atterberg limitleri saptanan ince taneli zeminlerin plastisite indeksi (PI) değerlerinin bütün örneklerde 15'den yüksek olduğu, Leonards (1962)'in plastisite sınıflamasına göre, altera aglomeraların genellikle plastik zeminler olduğu, altere kilaşlarının ise çok plastik zeminler olduğu belirlenmiştir (M.T.A., 2002).

3.2.4.4. Tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, birim hacim ağırlık

MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, alınan örneklerin tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve birim hacim ağırlık deney sonuçlarına göre bulunan değerlerin ortalamaları Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.

Dere ve Miller (1966)'in kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerlerini esas alan "kayaçların mühendislik sınıflaması"na göre, aglomera, kilaşı ve kumtaşının ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerleri dikkate alındığında bu kayaçlar "çok düşük dayanımlı", "E sınıfı kayaç" olarak tanımlanabilir (M.T.A., 2002).

Çizelge 3.5. Tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve birim hacim ağırlık deney sonuçları (M.T.A., 2002)

Tanım	Ortalama birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	Ortalama tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	Ortalama çekme dayanımı (MPa)
Kiltaşı	1,69	16,73	2,60
Aglomera	2,07	5,48	0,63
Kumtaşı	2,19	7,30	0,82

3.2.5. Havza karakteristikleri

Paşamehmetoğlu ve arkadaşlarının (1988a) “Havza Karakteristiklerinin Tayini” adı altında genelledikleri ve TKİ’ye ait değişik havzalardaki dekapajı yapılan jeolojik birimlerin fiziksel, mekanik ve kütleli özelliklerinin tayini, değişik makinelerin bu jeolojik birimlerde gösterdiği kazı performanslarının etüdü, kazılabilirlik, delinebilirlik ve patlatılabilirliğe ilişkin çalışmalar kapsamında Ç.L.İ. için yapmış oldukları çalışmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda tablolar halinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.6’da Ç.L.İ. kaya birimlerine ait laboratuvar deney sonuçları, Çizelge 3.7’de Çan Bölgesi K2, K4, ÇAN3, ÇAN5B, ÇAN1, ÇAN1B Panolarında jeolojik birim kütle özellikleri, Çizelge 3.8’de Çan Bölgesi K2, K4, ÇAN3, ÇAN5B, ÇAN1, ÇAN1B Panolarında jeolojik birim kütle özellikleri, Çizelge 3.9’da Çan Bölgesi K2, K4, ÇAN3, ÇAN5, ÇAN5B Panolarında jeolojik birim kütle özellikleri verilmiştir.

Arazi çalışmaları sırasında ölçüm yapılan (verisi alınan) lokasyonlar ve jeolojik birimler (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a):

<u>No</u>	<u>Lokasyon</u>	<u>Jeolojik Birim</u>
1	Çan 1-D	Orta ileri ayrıışmış tuf + aglomera
2	Çan K-4	Zayıf fay zonu, marn
3	Çan K-2	İleri drecede ayrıışmış marn
4	Çan	Orta ayrıışmış tuf + tüfit bantları
5	Çan	İnce laminalı marn kiltası
6	Çan	İleri ayrıışmış, topraklaşmış aglomera

Çizelge 3.6. Ç.L.İ kaya birimlerine ait laboratuvar deney sonuçları (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988a)

Lokasyon	Jeolojik birim adı	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (100.000) (MPa)	Poisson oranı	Kohezyon (MPa)	İçsel sürtünme açısı (derece)	Birim ağırlığı (gr/cm ³)	Nem oranı (%)	Shore sertliği	Koni delici değeri	Suda ufalanma dayanımı (%)	Darbe dayanımı (Kg- cm/cm ³)
Çan K-2 Panosu	Marn	280,07	41,49	0,428	0,338	74	31	1,86	7,58	32	1,95	0,90	20,78
Çan 1 Panosu	Aglomera	311,18	34,15	1,492	0,278	100	50	2,52	1,43	40	4,09	0,97	19,85

Çizelge 3.7. Çan Bölgesi K2, K4, ÇAN3, ÇAN5B, ÇAN1, ÇAN1B panolarında jeolojik birim kütle özellikleri (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988a)

Süreksizlik	Konumu	Devamlılığı (m)	Süreksizlikler arası ortalama mesafe (m)	Yüzey pürüzlülüğü	Dolgu malzemesi	Diğer özellikler
no	tipi					
1	Katmanlaşma düzlemi	Yatay	Devamlı	0,1-0,5	Genellikle düz	kil İnce lamine
2	Eklem takımı	Katmanlaşmaya dik	<1	0,2-0,5	Genellikle düz	yok
3	Eklem takımı	Katmanlaşmaya dik	<0,5		Genellikle düz	yok

Jeolojik birimin
jeoteknik tanımı:

Tüf-tüfit bantları içeren ince lamine kil taşı, laminalar 1-3 mm kalınlıkta

Tüf bantları ortalama 5 cm (3-10 cm) kalınlıkta.

Patlatma gerekmez, ripeler ve kepçeyle kazılıp yüklenebilir.

Tüf bantlarında ayrışma.

Çizelge 3.8. Çan Bölgesi K2, K4, ÇAN3, ÇAN5B, ÇAN1, ÇAN1B panolarında jeolojik birim kütle özellikleri (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988a)

Süreksizlik	Konumu	Devamlılığı (m)	Süreksizlikler arası ortalama mesafe (m)	Yüzey pürüzlülüğü	Dolgu malzemesi	Diğer özellikler	
no	tipi						
1	Katmanlaşma düzlemi	Yatay	Devamlı	0,1-0,5	Genellikle düz	kil	İnce lamine
2	Eklem takımı	Katmanlaşmaya dik	<1	0,2-0,5	Genellikle düz	yok	
3	Eklem takımı	Katmanlaşmaya dik	<0,5		Genellikle düz	yok	

Jeolojik birimin
jeoteknik tanımı:

Tüf-tüfit bantları içeren ince lamine kil taşı, laminalar 1-3 mm kalınlıkta
Tüf bantları ortalama 5 cm (3-10 cm) kalınlıkta.
Patlatma gerekmez, riperle ve kepçeyle kazılıp yüklenebilir.
Tüf bantlarında ayrışma.

Çizelge 3.9. Çan Bölgesi K2, K4, ÇAN3, ÇAN5, ÇAN5B panolarında jeolojik birim kütle özellikleri (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988a)

Süreksizlik	Konumu	Devamlılığı (m)	Süreksizlikler arası ortalama mesafe (m)	Yüzey pürüzlülüğü	Dolgu malzemesi	Diğer özellikler
yok		Gözlenmiyor		yok	Ezilme zonları killeşmiş	Formasyon kısmen veya tamamen topraklaşmış

Jeolojik birimin
jeoteknik
tanımı:

Orta veya çok derecede ayrıışmış, yer yer topraklaşmış aglomera,

4 m'den 15 m'ye kadar değişen kalınlıkta ezilme (shear) zonları mevcut.

Orta derecede ayrıışmış kısımlar gri-yeşil, çok ayrıışmış kısımlar sarımsı-kızıl kahverenkli.

Aglomera en çok 2*2*4 m, ortalama 1*1*2 m ve genellikle 1*1*1 m boyutunda tuf blokları içeriyor.

Oldukça taze olan bu bloklar patar atışı gerektiriyor.

Diğer bütün kısımlar ters kepçe veya hidrolik ekskavatörle rahat kazılıyor.

Bu jeolojik birim ÇAN panosunda heyelan yapıyor.

3.3. Kazı Sınıfı İle İlgili Yapılan Etütler

Paşamehmetoğlu ve arkadaşlarının (1988a), Çan Linyitleri İşletmesi için, jeolojik birimlerin kazılabilirliklerinin tayini ile ilgili elde edilen tüm laboratuvar ve arazi ölçüm sonuçları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Arazi çalışmaları sırasında alınan performans verileri, arazi parametreleri, laboratuvarda ölçülen fiziksel ve mekanik özellikler ve literatürde önerilen yöntemler birleştirilerek Ç.L.İ. örtü kazı için kazı sınıfı “orta kazı” olarak belirlenmiştir (Paşamehmetoğlu ve ark.,1988).

Ç.L.İ. ocağını karakterize eden ve laboratuvarda deneyleri yapılan kaya birimleri marn ve aglomeradır.

Çizelge 3.10. Ç.L.İ. sahası karakteristik birimlerine ait ölçüm sonuçları (Paşamehmetoğlu ve ark., 1988a)

Laboratuar Özellikleri								Arazi Özellikleri							
Bölge Ocak Tanımı	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Darbe dayanımı (kgf-cm/cm ²)	Elastisite modülü (MPa)	Shore sertliği (#)	Kohezyon (MPa)	Birim ağırlık (gr/cm ³)	Ortalama süreksizlik aralığı (m)	Eklem sayısı	Sismik hız (m/sn)	Dolma katsayısı (ort.)	Ekskavatör verimi (fiili) (%)	Yuvarlanma direnci	Kabarma faktörü	Kazı sınıfı
Çan1/D orta-ileri ayrılmış tuf +aglomera ar dalanması	31	3,41	19,8	149	40	10	2,51	0,2-0,5	3	1.950	1,03	82	8	1,35	Orta kazı
Çan K2/K4 orta-yer yer ileri ayrılmış marn	28	4,14	20,7	42	32	7,4	1,85	0,4-0,7	-	1.760	1,04	64	5	1,35	Orta kazı

3.4. İşletme Yöntemi

İşletmenin linyit kömürü üretimi, “Açık İşletme” yöntemi ile yapılmaktadır. Açık işletme yöntemi, örtü kazı (dekapaj) ve kömür üretimi (kazı- yükleme- nakliye) olmak üzere iki aşamada gerçekleşmektedir.

İşletmede yapılan dekapaj çalışması; kömür damarı üzerindeki örtü tabakasının delme-patlatma yöntemi uygulanarak gevşetilmesi, kazılması, yüklenmesi, toprak döküm harmanına taşınması, boşaltılması, serilmesi, harman sahasının düzeltilmesi, toprak harmanı ve kademe yollarının yapılması, yol bakımı gibi çeşitli çalışmaları kapsayan işlemlerden oluşmaktadır.

3.4.1. İşletmede uygulanan örtü kazı sistemi

Çan İşletmesinde uygulanan açık işletme yönteminde, örtü kazı çalışmaları için uygulanan sistem; doğrudan veya patlayıcı madde ile gevşetildikten sonra ekskavatörlerle kazı ve yükleme yapılan örtü tabakasının, kamyonlarla döküm sahasına naklini öngören ekskavatör + kamyon sistemidir.

Havzada kömür örtü tabakası; altere olmuş aglomera, tuf ve bu birimlerin içinde bulunan killi seviyelerden oluştuğu için, doğal yağıştan beslenen yüzey suları, üst seviyelerde bulunan bu malzemelerin içsel sürtünme açısını düşürerek heyelana neden olmaktadır. Ayrıca havzada bulunan 13 adet fay da heyelanların oluşmasında etkin rol oynamaktadır. Büyük çaplı heyelanları önleyerek, üretim faaliyetlerinin devamlılığını ve emniyetli çalışma ortamını sağlayabilmek için örtü kazı ile birlikte inceltme (hafifletme) dekapajı da yapılmaktadır.

Bölgedeki örtü kazı faaliyetleri; işletme imkanlarıyla veya işletmenin ihtiyacına göre ihale yöntemiyle müteahhit firmalar tarafından yapılmaktadır. İşletmede örtü kazının yanı sıra ara kesme ve üzeri açılan kömürün kazı-yükleme-nakliyesi de müteahhit firmalarca yapılmaktadır. Çan linyit işletmesinde örtü kazı, ara kesme ve kömür kazı yükleme nakliyesinde çalışmakta olan müteahhit firmalar, kazı yükleme için genellikle 4 - 4,5 m³ kova hacimli hidrolik ekskavatörler ve 30 – 35 tonluk arkadan boşaltmalı damperli kamyonlarla çalışmaktadır.

Çan işletmesinin kendi imkanlarıyla yapmış olduğu örtü kazı çalışmalarında; kazı yükleme için 5 adet 20 yd³ kapasiteli elektrikli ekskavatör, nakliye için ise 37 adet

85 ston'luk ve 11 adet 50 ston'luk olmak üzere 48 adet ağır tonajlı kamyon kullanılmaktadır.

Şekil 3.3'de İşletme örtü kazı çalışmasında aynı basamakta çalışmakta olan elektrikli ekskavatörler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Elektrikli ekskavatörlerin örtü kazı çalışması

Şekil 3.4'de ise, İşletme örtü kazı çalışmasında, elektrikli ekskavatör ile 85 ston kapasiteli kamyonun çalışması gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Elektrikli ekskavatör – kamyon örtü kazı çalışması

Ekskavatörle kazı yükleme esnasında kamyonlar ekskavatöre çift taraflı yükleme sisteminde çalışmaktadır. Bu sistemde, ekskavatörün her iki yanına birer kamyon yanaşmakta, kamyonun birini yükledikten sonra makine hazırda bulunan diğer kamyonu yüklemektedir. Kamyonların damperleri ekskavatörün her iki yanına ayna yüzeyine dik olarak yanaşmakta, bu şekilde makinenin döngü süresi minimuma inmektedir. Ayrıca makinenin yükleyeceği hazırda sürekli kamyon bulunduğu için, kamyon manevraları sebebiyle oluşan bekleme süreleri en aza inmektedir. Ekskavatör kapasitesi ile yükleyeceği kamyon kapasitelerini hesaplayarak bir ekskavatör için gerekli kamyon sayısına göre çalışıldığında, çift kamyon sistemi ile makinenin bekleme süresi minimuma inerek makine kapasitesinden maksimum fayda sağlanabilmektedir.

3.4.2. İşletmede uygulanan kömür üretim sistemi

Örtü kazı çalışmaları sonucu üzeri açılan kömür; ihale yoluyla müteahhit firmalarca, hidrolik ekskavatör+kamyon grubuyla yapılan kazı-yükleme-nakliye sistemiyle üretilmektedir.

Ocakta 4 – 4,5 m³'lük yükleyicilerle 30 - 35 ton'luk kamyonlara yüklenen tüvenan kömür, yaklaşık 3,5 km uzaklıktaki kriblaj tesislerine taşınmaktadır. Eleme ve elle ayıklama işlemi yapılmakta, herhangi bir zenginleştirme işlemi yapılmamaktadır.

3.5. Delme - Patlatma Yöntemi

İşletme dekapaj sahasında yapılmakta olan delme-patlatma çalışmalarında, basamak patlatması uygulanmaktadır. İşletmenin kendi imkanlarıyla yapmakta olduğu örtü kazı için uyguladığı delme-patlatma yönteminde; delik çapı 9 inch, delik boyu kademenin yüksekliğine göre 9 m - 7,5 m veya 15 m (çift tij) olarak delinmektedir. Şeşbeş delik düzeni uygulanmakta olup, genellikle dilim kalınlığı 6 m, delikler arası mesafe 8 m olarak düzenlenmektedir.

Örtü kazıda çalışmakta olan müteahhit firmaların uyguladığı delme-patlatma yönteminde ise; delik çapı 6 inch, delik boyu 6-8 m, dilim kalınlığı 5 m, delikler arası mesafe 7 m olarak düzenlenmektedir.

4. KAZILABİLİRLİK TAYİNİ, EKSKAVATÖR KAMYON SİSTEMLERİNDE UYUM VE İŞ MAKİNELERİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ

4.1. Kazılabilirlik Tayini

Açık işletmecilikte kullanılan kazı makinelerinin seçiminde en önemli faktör, kayacın özellikleri ve kazılabilirliğidir. Kazı, kazı makinesi ile kazılan malzeme arasındaki etkileşimin sonucunda oluşur. Bu nedenle kazılabilirlik, kazı makinesinin özellikleri (kepçe hacmi, enerji tüketimi, kazı gücü, vd.) ile kazılan malzemenin özelliklerinin (birim ağırlık, kabarma katsayısı, vd.) bir fonksiyonudur. Kazılabilirlik tayini için; arazi parametreleri ile kazı makinelerinin tipi, kapasiteleri ve maliyet unsurları arasındaki etkileşimin çok iyi tespit edilmesi gerekir.

Dekapaj çalışmalarında belirli bir jeolojik birimde doğrudan kazı yapılarak iş yapılması mümkündür. Fakat uzun dönemde, iş makinelerinin yıpranması, enerji veya akaryakıt sarfiyatının artması, kepçe kazma ucu (kepçe dişi), halat vs. sarf malzemelerinin artması, yükleme süresinin uzaması ve kepçe dolum oranının azalması ile üretim miktarının düşeceği göz önüne alınarak, gevşetme yapılması gereken örtü kazı jeolojik birimde, patlatma yapılarak kazı yükleme yapılmalıdır.

4.1.1. Kazı performans çalışmaları

Kazılabilirlik tayinini ile ilgili çalışmalarda göz önüne alınması gereken en önemli hususlardan birisi, dekapajda çalışmakta olan değişik kapasite ve çalışma sistemlerindeki kazı makinelerinin çalıştıkları lokasyondaki belirli nitelikteki kaya kütlesi karşısında gösterdikleri kazı performanslarının saptanmasıdır. Bu amaçla bu çalışmada, Ç.L.İ örtü kazı çalışmalarında faaliyet gösteren makinelerin kazıya dönük performansları incelenmiş, literatürde bu konuda yapılan çalışmalar baz alınarak, kazı sınıfı araştırılmıştır.

Formasyon gevşetilmiş veya gevşetilmemiş olsun, kazı makinelerinin performans ölçümleri üç kriterin göz önüne alınmasıyla yapılmıştır. Bunlar:

1. Kazı sırasında ekskavatörün kronometrajının tutulması;
 - Toplam kronometraj süresi,
 - Kepçe devir süresi,
 - Kazı süresi,

- Toplam kepçe sayısı
- 2. Ekskavatörün birim kazı için harcadığı enerji miktarı,
- 3. Ekskavatörün fiili saatlik (birim) kapasitesinin hesaplanması.

Bu amaçla, Ç.L.İ. örtü kazıda kullanılan kazı yükleme makinelerinin (gerek Ç.L.İ'e ait gerekse Ç.L.İ dekapajda çalışan müteahhit firmalarda mevcut kazı yükleme makineleri) kazıya dönük performansları incelenmiştir. Belirli bir süre kazı makinesinin çalışması gözlenmiş, doğrudan kazıda ve patlatma yapılarak gevşetilmiş kazıda kepçe devir süresi ölçülmüştür. Performans analizinde temel yaklaşım, kazı makinesinin kısa sürelerde kazı performansının araştırılmasıdır.

Kazıya dönük performans etüdünün yapılmasına başlamadan önce, kazı makinesinin çalıştığı kaya kütlelerinin tanımı yapılmış, patlatma yapılıp yapılmadığı kaydedilmiştir. Daha sonra, belirli bir süre kazı makinesinin çalışması gözlenmiştir. İş makinelerinin kepçe devir süresi ölçümlerinde, kepçenin kazıda geçirdiği zaman ve toplam kepçe devir süresine ağırlık verilmiştir. Kepçenin yere inip kazıya başladığı an kazının başlangıç anı ve kepçenin dolup kazının biterek dönmeye başladığı an ise kazının bitiş anı olarak kabul edilmiştir. Bu iki an arasındaki zaman aralığı ise “kepçenin kazı zamanı” olarak kaydedilmiştir. Kepçenin yere inip kazının başlaması, kepçenin dolması ve kamyonu yüklemesinden sonra ikinci kazı hareketine başlayıncaya kadar geçen süre “kepçe devir süresi” olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında örtü kazıda çalışan kazı yükleme makinelerinin arazi çalışmaları ile elde edilen performans verilerinin tayin yöntemlerinin açıklaması aşağıdaki gibidir:

Kazı yöntemi: Kazının doğrudan veya patlatma ile gevşetilerek yapıldığını göstermektedir. Doğrudan kazı için (D), patlatmalı kazı için (P) simgesi kullanılmıştır.

Ekskavatör tipi: Örtü kazıda kullanılmakta olan ekskavatörlerin elektrikli veya hidrolik ekskavatör olduğunu göstermektedir. Elektrikli ekskavatörler için (EE), hidrolik ekskavatörler için (HE) simgesi kullanılmıştır.

Ekskavatör modeli: Arazi ölçümlerinin yapıldığı esnada sahada çalışmakta olan farklı marka ve modellerdeki ekskavatörler için farklı kodlar verilmiştir.

Kepçe hacmi (a): Ekskavatörün kova (kepçe) kapasitesidir.

Kronometraj süresi (b): Gözlemin yapıldığı toplam süredir.

Toplam kepçe sayısı (c): Kronometraj süresince kazılan toplam kepçe sayısıdır (toplam devir sayısı).

Toplam kazı süresi (d): Kronometraj süresince kepçenin kazıda geçirdiği sürelerin toplamıdır.

Ortalama kazı süresi (e): Kronometraj süresince kepçenin kazıda geçirdiği sürelerin, kepçe devir sayısına bölünerek bulunan ortalama zamandır. ($e=d/c$)

Toplam kepçe devir süresi (f): Kronometraj süresince her bir devrin tamamlanabilmesi için geçen zamanların toplamıdır.

Ortalama kepçe devir süresi (g): Kronometraj süresince her bir devrin tamamlanabilmesi için geçen zamanların toplam devir sayısına bölünerek bulunan ortalama zamandır. ($g=f/c$)

Ekskavatörün verimi (E): Toplam kepçe devir süresinin kronometraj süresine oranıdır. ($E=f/b$)

Ortalama kepçe dolma katsayısı (F): Operatörün tecrübesi, seçilen kamyon kapasitesi veya çıkan blok büyüklüğü gibi faktörlere bağlı kepçenin tam kapasitesinin her bir devirde ne ölçüde dolduğunun tespiti ve bunların aritmetik ortalamasıdır.

Dolu kepçe sayısı (DK): Toplam kepçe sayısının ortalama kepçe dolma katsayısı ile çarpımıdır. ($DK=c \cdot F$)

Saatteki dolu kepçe sayısı (DKs): Dolu kepçe sayısının saat bazında ifade edilmesidir. ($DKs=3.600 \cdot DK/b$)

Toplam dekapaj (gevşek) (Q): Dolu kepçe sayısının kepçe kapasitesi ile çarpımıdır. Bulunan değerin kabarma faktörüne bölümü yerinde toplam dekapajı verir. ($Q=DK*a$)

Saatlik kapasite (Qs): Saatteki dolu kepçe sayısının kepçe kapasitesi ile çarpımıdır. ($Qs=DKs*a$)

Saatlik beklemesiz kapasite (Qbs): $(3600 / \text{toplam kepçe devir süresi}) \times \text{toplam dekapaj miktarı}$ 'dır. ($Qbs = (3.600 / f)*Q$)

Birim kazı süresinde üretilen malzeme miktarı (Qk): Toplam dekapaj miktarının, (gevşetilmiş) kazıda geçen toplam zamana bölümüdür. ($Qk=Q/d$)

Harcanan enerji (J): Kronometraj süresince iş makinesinin harcadığı kw-saat veya litre mazot cinsinden enerjidir.

Birim enerjide üretilen malzeme miktarı (Js): Birim enerji harcaması ile üretilen malzeme miktarıdır. ($Js=J/Qs$)

Arazi çalışmaları yapılan jeolojik birim, orta ileri ayrışmış tuf aglomera ar dalanması, kil ve marnlı olup, Çizelge 4.1.'de orta ileri ayrışmış tuf aglomera ar dalanması, kil ve marnlı jeolojik birimde çalışmakta olan değişik kapasiteli elektrikli ve hidrolik ekskavatörlerin çalışmaları esnasında yapılan ölçümler sonucu elde edilen; her bir ekskavatörün toplam kronometraj süresi, toplam kazı süresi, ortalama kazı süresi, toplam kepçe devir süresi, ortalama kepçe devir süresi, toplam kepçe sayısı, ekskavatörün verimi, ortalama kepçe dolma katsayısı, dolu kepçe sayısı, toplam dekapaj miktarı (gevşek), saatteki dolu kepçe sayısı ve hesaplamalar sonucunda bulunan fiili ve beklemesiz saatlik kapasiteler verilmiştir. Ayrıca ekskavatörlerin bu çalışma esnasında tükettiği ortalama saatlik enerji miktarları verilerek özgül kazı enerjisi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Kazı performans sonuçları

Kazı yöntemi	Ekskavatör tipi	Ekskavatör Modeli	Kepçe hacmi (m³)	Kronometraj süresi (sn)	Toplam kepçe sayısı	Toplam kazı süresi (sn)	Ortalama kazı süresi (sn)	Toplam kepçe devir süresi (sn)	Ort. kepçe devir süresi (sn)	Ekskavatörün verimi (%)	Ort. Kepçe dolma katsayısı	Dolu kepçe sayısı	Saatteki dolu kepçe sayısı	Toplam dekapaj gevşek m³	Saatlik fiili kapasite (m³/saat)	Saatlik beklemesiz kapasite (m³/saat)	Birim kazı süre. üretilen malzeme mik. (m³/sn)	Harcanan enerji (lt&kw-saat)	Özgül kazı enerjisi (lt&kw-saat/m³)
			(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	E	(F)	(DK)	(DKs)	(Q)	(Qs)	(Qbs)	(Qk)	(J)	(Js)
D	EE	M-1	15,3	2.482	30	382	12,74	1.092	36,40	44,0	0,68	20,4	29,6	311,7	452,2	1.027,6	0,82	302	0,67
P	EE	M-1	15,3	1.677	30	300	10,02	939	31,30	56,0	0,73	21,9	47,0	334,6	718,4	1.282,9	1,11	279	0,39
P	HE	C-1	6	835	30	274	9,12	634	21,13	75,9	0,98	29,4	126,7	176,4	760,5	1.001,8	0,64	84	0,11
P	HE	H-1	6	923	30	264	8,80	680	22,67	73,7	0,93	27,9	108,8	167,4	652,9	886,1	0,63	85	0,13
D	HE	K-1	5	1.557	30	234	7,80	917	30,57	58,9	0,91	27,3	63,1	136,5	315,6	535,9	0,58	88	0,28
P	HE	K-1	5	964	30	216	7,19	654	21,80	67,9	0,94	28,2	105,4	141,0	526,8	776,2	0,65	85	0,16
P	HE	H-2	5	722	30	162	5,40	540	18,00	74,8	0,97	29,1	145,1	145,5	725,5	970,0	0,90	70	0,10
D	HE	C-2	4,8	1.258	30	174	5,80	853	28,44	67,8	0,86	25,8	73,8	123,8	354,4	522,5	0,71	54	0,15
D	HE	H-3	4	1.024	30	186	6,20	683	22,75	66,6	0,88	26,4	92,8	105,6	371,3	557,0	0,57	56	0,15
P	HE	H-4	4	832	30	180	6,00	630	21,00	75,7	1,01	30,3	131,1	121,2	524,4	692,6	0,67	55	0,10
D	HE	K-2	3,8	998	30	147	4,90	690	23,00	69,1	0,96	28,8	103,9	109,4	394,8	571,0	0,74	57	0,14
P	HE	H-5	3,3	796	30	177	5,90	591	19,70	74,3	0,98	29,4	133,0	97,0	438,8	591,0	0,55	53	0,12
P	HE	V-1	2,1	734	30	183	6,10	533	17,76	72,6	0,95	28,5	139,8	59,9	293,5	404,4	0,33	35	0,12

Çizelge 4.1’de verilen arazi ölçümleri incelendiğinde; kazı performans çalışması yapılan tüm makinelerin doğrudan ve patlatmalı kazıda gerçekleşen kepçe devir sürelerinin ortalamaları doğrudan kazıda 28,23, patlatmalı kazıda 21,67 olmaktadır. Bu sonuca göre; bu çalışmada patlatma ile gevşetme işleminin kepçe periyodunu %23 oranında azalttığı görülmektedir. Yine tüm makinelerin doğrudan ve patlatmalı kazıda gerçekleşen kepçe dolma katsayılarının ortalamaları alındığında, doğrudan kazıda ortalama kepçe dolma katsayısı 0,86, patlatmalı kazıda ortalama 0,94 olmaktadır. Bu sonuca göre ise, bu çalışmada patlatma ile gevşetme işlemi kepçe dolma katsayısını %10 oranında artırmaktadır.

Ayrıca tüm makineler için alınan değerler incelendiğinde; patlatmanın hem saatte üretilen malzeme miktarını artırdığı, hem de özgül kazı enerjisini azalttığı görülmektedir.

4.1.2. Ekskavatör performanslarına göre kazı sınıfının tayini

- Ekskavatörlerin performanslarının değerlendirilmesinde; kepçe devir süresi, kepçe dolma katsayısı ve saatlik üretim miktarları baz olarak alınmıştır. Bu parametrelerin her biri tek başına kazılabilirliğin tayininde yeterli olmadığı için bu üç parametrenin birlikte değerlendirilmesi yapılmıştır.
- Değerlendirmede bulunan kepçe devir süresi, kepçe dolma katsayısı ve saatlik üretim miktarları, literatürde değişik kazı zorluğu için verilen değerlerle karşılaştırılmıştır.
- Ölçüm sonucu bulunan kapasiteler, hem fiilen gerçekleştirilen kapasiteler bazında hem de ekskavatörün herhangi bir nedenle beklemesinden kaynaklanan ölü zamanların çıkartılmasıyla elde edilen “beklemesiz kapasite” bazında incelenmiştir. Diğer bir ifadeyle, eğer ekskavatör hiç beklemeseydi maksimum üretiminin ne olacağı bulunmuştur.
- Saatlik üretimin karşılaştırılmasında, literatürün kazı zorluğuna göre önerdiği dolma faktörü, kepçe periyodu ve %100 verimle çalışıldığı varsayılarak bulunan saatlik kapasiteler ile literatürde kapasiteleri bulurken verimin %100 alınması ve kazı dışında geçen zamanın etkisini azaltmak amacıyla ölçümler sonucu bulunan beklemesiz saatlik kapasite değerleri kullanılmıştır. Beklemesiz saatlik kapasiteler

literatürün önerdiği kapasite sınıflarına yerleştirilerek, ölçüm yapılan yerin hangi kazı zorluğuna girdiği belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.2’de farklı kapasitelerdeki ekskavatörlerin ortalama kepçe devir süresi performans sonuçları ile literatürde kepçe kapasitesine göre önerilen kepçe devir süreleri karşılaştırılarak kazı sınıfı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda doğrudan kazıda kazı sınıfı; %20 zor kazı, %40 orta zor kazı, %40 orta kazı olarak belirlenmiştir. Buradan hareketle orta ileri ayrılmış tuf aglomera ar dalanması, kil ve marnlı jeolojik birimin “orta kazı-orta zor kazı” sınıfında olduğu söylenebilir. Patlatma yapılarak gevşetilen kazıda ise; %13 orta kazı, %87 kolay kazı olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3’de farklı kapasitelerdeki ekskavatörlerin ortalama kepçe dolma katsayıları performans sonuçları ile literatürde kepçe kapasitesine göre önerilen kepçe dolma katsayıları karşılaştırılarak kazı sınıfı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda doğrudan kazıda kazı sınıfı; %20 çok zor kazı, %40 orta zor kazı, %20 orta kazı, %20 kolay kazı olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre orta ileri ayrılmış tuf aglomera ar dalanması, kil ve marnlı jeolojik birimin “orta zor kazı” sınıfında olduğu söylenebilir. Patlatma yapılarak gevşetilen kazıda ise; %13 zor kazı, %12 orta kazı, %75 kolay kazı olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4’de ekskavatörlerin hesaplanan beklemesiz saatlik kapasiteleri ile literatürde kepçe kapasitesine göre önerilen kepçe devir süresi, kepçe dolma katsayısı ve %100 verime göre hesaplanan saatlik kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda doğrudan kazıda; %20 zor kazı, %40 orta zor kazı, %40 orta kazı olarak belirlenmiştir. Buna göre söz konusu jeolojik birimin yine “orta kazı-orta zor kazı” sınıfında olduğu görülmektedir. Patlatma yapılarak gevşetilen kazıda ise yine; %13 orta kazı, %87 kolay kazı olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Kepçe devir süresi performans sonuçlarına göre kazılabilirlik tayini

Kazı yöntemi	Eks. modeli	Kepçe hacmi, (m ³)	Kepçe devir süresi (sn)	Literatüre göre kepçe devir süresi (sn)					Kazı sınıfı
				Kolay kazı	Orta kazı	Orta-zor kazı	Zor kazı	Çok zor kazı	
D	M-1	15,3	36,40	26	30	34	37	41	zor kazı
P	M-1	15,3	31,30	26	30	34	37	41	orta kazı
P	C-1	6,0	21,13	22	26	30	31	35	kolay kazı
P	H-1	6,0	22,67	22	26	30	31	35	kolay kazı
D	K-1	5,0	30,57	21	25	30	30	34	orta zor kazı
P	K-1	5,0	21,80	21	25	30	30	34	kolay kazı
P	H-2	5,0	18,00	21	25	29	30	34	kolay kazı
D	C-2	4,8	28,44	21	25	29	30	34	orta zor kazı
D	H-3	4,0	22,75	20	24	29	29	33	orta kazı
P	H-4	4,0	21,00	20	24	29	29	33	kolay kazı
D	K-2	3,8	23,00	20	24	29	29	33	orta kazı
P	H-5	3,3	19,70	20	24	28	29	33	kolay kazı
P	V-1	2,1	17,76	19	23	27	28	32	kolay kazı

Çizelge 4.3. Kepçe dolma katsayısı performans sonuçlarına göre kazılabilirlik tayini

Kazı yöntemi	Eks. modeli	Kepçe hacmi, (m ³)	Kepçe dolma katsayısı	Literatüre göre kepçe dolma katsayısı					Kazı sınıfı
				Kolay kazı	Orta kazı	Orta-zor kazı	Zor kazı	Çok zor kazı	
D	M-1	15,3	0,68	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	çok zor kazı
P	M-1	15,3	0,73	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	zor kazı
P	C-1	6,0	0,98	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	kolay kazı
P	H-1	6,0	0,93	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	orta kazı
D	K-1	5,0	0,91	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	orta kazı
P	K-1	5,0	0,94	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	kolay kazı
P	H-2	5,0	0,97	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	kolay kazı
D	C-2	4,8	0,86	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	orta zor kazı
D	H-3	4,0	0,88	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	orta zor kazı
P	H-4	4,0	1,01	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	kolay kazı
D	K-2	3,8	0,96	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	kolay kazı
P	H-5	3,3	0,98	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	kolay kazı
P	V-1	2,1	0,95	0,97	0,92	0,85	0,75	0,70	kolay kazı

Çizelge 4.4. Beklemesiz saatlik kapasite sonuçlarına göre kazılabilirlik tayini

Kazı yönt.	Eks. modeli	Kepçe hacmi (m ³)	Saatlik bekleml. kapasite (m ³ /saat)	Literatürde önerilen kepçe devir süresi ve kepçe dolma katsayısına göre saatlik kapasite (m ³ /saat)					Kazı sınıfı
				Kolay kazı	Orta kazı	Orta-zor kazı	Zor kazı	Çok zor kazı	
D	M-1	15,3	1.027,6	2.062,8	1.696,1	1.375,2	1.115,0	939,16	zor kazı
P	M-1	15,3	1.282,9	2.062,8	1.696,1	1.375,2	1.115,0	939,16	orta zor kazı
P	C-1	6,0	1.001,8	957,3	768,5	612,0	522,6	432,00	kolay kazı
P	H-1	6,0	886,1	957,3	768,5	612,0	522,6	432,0	kolay kazı
D	K-1	5,0	535,9	835,7	666,0	510,0	450,0	370,6	orta zor kazı
P	K-1	5,0	776,2	835,7	666,0	510,0	450,0	370,6	kolay kazı
P	H-2	5,0	970,0	835,7	666,0	527,6	450,0	370,6	kolay kazı
D	C-2	4,8	522,5	802,3	639,4	506,5	432,0	355,8	orta zor kazı
D	H-3	4,0	557,0	702,0	555,0	422,1	372,4	305,5	orta kazı
P	H-4	4,0	692,6	702,0	555,0	422,1	372,4	305,5	kolay kazı
D	K-2	3,8	571,0	666,9	527,3	401,0	353,8	290,2	orta kazı
P	H-5	3,3	591,0	579,2	457,9	360,6	307,2	252,0	kolay kazı
P	V-1	2,1	404,4	388,0	304,0	238,0	202,5	165,4	kolay kazı

Çizelge 4.5’de, ekskavatörlerin hesaplanan fiili saatlik kapasiteleri ile literatürde kepçe kapasitesine göre önerilen kepçe devir süresi, kepçe dolma katsayısı ve Çizelge 4.1’de hesaplanan tüm ekskavatörlerin ortalama verimine (%67) göre alınan genel bir verimlilik değeri ile hesaplanan saatlik kapasiteler karşılaştırılmıştır. Ancak bu verim, kısa dönemde (ölçüm döneminde) hesaplanan verimdir. Uzun dönemde genel verimin %67 olduğu söylenemez.

Bu çalışma sonucunda da doğrudan kazıda kazı sınıfı; %20 çok zor kazı, %40 orta zor kazı, %40 orta kazı olarak belirlenmiştir. Buna göre söz konusu jeolojik birimin yine “orta kazı-orta zor kazı” sınıfında olduğu söylenebilir. Patlatma yapılarak gevşetilen kazıda ise; %13 zor kazı, %87 kolay kazı olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5. Saatlik fiili kapasite sonuçlarına göre kazılabilirlik tayini

Kazı yönt.	Eks. modeli	Kepçe hacmi, (m ³)	Saatlik fiili kapasite (m ³ /saat)	Literatürde önerilen kepçe devir süresi, kepçe dolma katsayısı ve fiili ort. ekskavatör verimine göre saatlik iş miktarı (m ³ /saat)					Kazı Sınıfı
				Kolay kazı	Orta kazı	Orta-zor kazı	Zor kazı	Çok zor kazı	
D	M-1	15,3	452,2	1.392,4	1.144,9	928,3	752,6	633,9	çok zor kazı
P	M-1	15,3	718,4	1.392,4	1.144,9	928,3	752,6	633,9	zor kazı
P	C-1	6,0	760,5	646,2	518,7	413,1	352,7	291,6	kolay kazı
P	H-1	6,0	652,9	646,2	518,7	413,1	352,7	291,6	kolay kazı
D	K-1	5,0	315,6	564,1	449,6	344,3	303,8	250,2	orta zor kazı
P	K-1	5,0	526,8	564,1	449,6	344,3	303,8	250,2	kolay kazı
P	H-2	5,0	725,5	564,1	449,6	356,1	303,8	250,2	kolay kazı
D	C-2	4,8	354,4	541,5	431,6	341,9	291,6	240,1	orta zor kazı
D	H-3	4,0	371,3	473,9	374,6	284,9	251,4	206,2	orta kazı
P	H-4	4,0	524,4	473,9	374,6	284,9	251,4	206,2	kolay kazı
D	K-2	3,8	394,8	450,2	355,9	270,7	238,8	195,9	orta kazı
P	H-5	3,3	438,8	390,9	309,1	243,4	207,4	170,1	kolay kazı
P	V-1	2,1	293,5	261,9	205,2	160,7	136,7	111,6	kolay kazı

Kazı performans sonuçlarına göre formasyonun kazı sınıfını belirleyebilmek için; ayrı ayrı yapılan bu çalışmalar birleştirilerek, kepçe devir süresi, kepçe dolma katsayısı, beklemesiz saatlik kapasite ve saatlik fiili kapasite sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi yapılmış ve bu değerlendirme Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi, yapılan çalışma sonucunda doğrudan kazıda; %10 çok zor kazı, %10 zor kazı, %40 orta zor kazı, %35 orta kazı, %5 kolay kazı olarak belirlenmiştir. Bu birlikte değerlendirme sonucunda, orta ileri ayrıışmış tuf aglomera aralanması, kil ve marnlı jeolojik birimin genel olarak "orta kazı-orta zor kazı" sınıfında olduğu belirlenmiştir. Patlatma ile gevşetilerek yapılan kazıda ise; %7 zor kazı, %3 orta zor kazı, %6 orta kazı, %84 kolay kazı olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre, kazı sınıfı "orta-orta zor" olarak tespit edilen jeolojik birim, patlatılarak gevşetilmesi durumunda kazı sınıfı "kolay kazı" sınıfına dahil olmaktadır. Buna göre jeolojik birimin kazı sınıfı, patlatma ile gevşetme yapıldığında iki kazı sınıfı kolay tarafa kaymaktadır.

Bu çalışmada elektrikli ekskavatörler ile hidrolik ekskavatörlerin aynı jeolojik birimde gösterdikleri kazı performansları birlikte değerlendirilmiştir. Fakat kazı performansları ayrı ayrı incelendiğinde; elektrikli ekskavatörler ile aynı jeolojik birimde doğrudan kazıda, jeolojik birimin kazı sınıfı "çok zor-zor kazı" sınıfı arasında değişirken patlatmalı kazıda "zor-orta kazı" arasında değişmektedir. Yine, elektrikli ekskavatörler için kazı sınıfı tayininde literatürde verilen özgül kazı enerjisi ile fiili hesaplanan özgül kazı enerjisi karşılaştırıldığına ise hem doğrudan hem patlatmalı kazıda kazı sınıfının "zor kazı" olduğu görülmektedir. Burada örtü kazı çalışmalarında kullanılan elektrikli ekskavatörlerin ekonomik ömürlerini doldurmuş olmaları, dolayısıyla verimlerdeki düşme ile saatlik fiili kapasitelerindeki düşüşün özgül kazı enerjisini artırdığı görülmektedir.

Hidrolik ekskavatörlerde ise doğrudan kazıda kazı sınıfı, "orta zor-orta kazı" arasında değişirken, patlatmalı kazıda aynı jeolojik birim "kolay kazı" sınıfına girmektedir. Bu sonuçtan hareketle, hidrolik ekskavatörlerin kazı gücünün elektriklilerden daha fazla olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.6. Kazı performans sonuçlarının birlikte değerlendirmesi

	Doğrudan kazıda		Patlatmalı kazıda	
	Kazı sınıfı dağılımı %	Kazı sınıfı	Kazı sınıfı dağılımı %	Kazı sınıfı
Kepçe devir süresi performans sonuçlarına göre	20	zor kazı	13	orta kazı
	40	orta zor kazı	87	kolay kazı
	40	orta kazı		
Kepçe dolma katsayısı performans sonuçlarına göre	20	çok zor kazı	13	zor kazı
	40	orta zor kazı	12	orta kazı
	20	orta kazı	75	kolay kazı
	20	kolay kazı		
Saatlik beklemesiz kapasite sonuçlarına göre	20	zor kazı	13	orta zor kazı
	40	orta zor kazı	87	kolay kazı
	40	orta kazı		
Saatlik fiili kapasite sonuçlarına göre	20	çok zor kazı	13	zor kazı
	40	orta zor kazı	87	kolay kazı
	40	orta kazı		
Genel Değerlendirme	10	çok zor kazı	0	çok zor kazı
	10	zor kazı	7	zor kazı
	40	orta zor kazı	3	orta zor kazı
	35	orta kazı	6	orta kazı
	5	kolay kazı	84	kolay kazı

4.2. Ekskavatör Kamyon Sistemlerinde Uyum

Ekskavatör+kamyon sisteminin uygulandığı örtü kazı çalışmalarında verimliliği etkileyen en önemli faktörlerden biri de kazı yükleme makineleri (ekskavatör) ile kamyonların kapasitelerinin birbirleriyle uyumudur.

Bu çalışmada, İşletme sahasında örtü kazıda birlikte çalışmakta olan mevcut ekskavatör ve kamyon sistemleri incelenmiş ve kapasitelerinin birbirleriyle uyumu araştırılmıştır.

4.2.1. Ekskavatör ve kamyonların saatlik kapasitelerinin tespiti

4.2.1.1. Ekskavatörlerin mevcut saatlik yükleme kapasitelerinin tespiti

İşletmede örtü kazıda kullanılmakta olan ekskavatörlerin mevcut yükleme kapasiteleri için 4.1. bölümde hesaplanan saatlik kapasiteler kullanılmıştır.

4.2.1.2. Kamyonların mevcut saatlik taşıma kapasitelerinin tespiti

Bu çalışma kapsamında, İşletme sahasında farklı bölgelerde (farklı panolar) ve farklı ekskavatörler ile birlikte çalışmakta olan kamyonların saatlik kapasitelerini hesaplayabilmek için öncelikle, arazi çalışmaları ile kamyonların makineye yanaşma süreleri, döküm alanında manevra ve boşaltma süreleri, döküm alanına dolu gidiş süreleri ve döküm alanından boş dönüş süreleri tutulmuş ve bu kronometraj çalışmalarının ortalama değerleri alınarak kamyonların toplam devir (T) süreleri tespit edilmiştir. Bu çalışma, tüm örtü kazı sahasının farklı bölgelerinde çalışmakta olan kamyonlar için yapıldığı için yol eğimlerine ve döküm alanlarına olan uzaklıklara bağlı olarak hesaplanan devir süreleri mevcut çalışma durumu için geçerlidir.

Arazi çalışmaları ve bölüm 2.5’de verilen eşitliklerden faydalanılarak mevcut ekskavatör kamyon sistemlerindeki kamyonların saatlik kapasiteleri hesaplanmıştır. Bu amaç doğrultusunda elde edilen veriler ve hesaplama sonuçları Çizelge 4.7’de sunulmuştur. Kamyonların saatlik kapasiteleri hesaplanırken; yükleme süresi ve saatlik kapasite hesaplamalarında Çizelge 4.1’deki ekskavatörlerle ilgili veriler kullanılmış ve %100 verime göre kapasite hesabına gidilmiştir. Bir ekskavatör için gerekli kamyon sayısı; kamyonun birlikte çalıştığı ekskavatörün beklemesiz saatlik kapasitesi kamyonun hesaplanan saatlik kapasitesine bölünerek belirlenmiştir. Bir kamyonu yüklenmesi gereken kepçe sayısı (n) ise; kamyon kasa hacmi ekskavatör kepçe hacmine bölünerek hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Kamyonların saatlik kapasitesi

Kepçe hacmi (m ³)	Kamyon kasa hacmi (m ³)	Eksk.'ün saatlik beklemesiz kapasitesi (m ³ /saat)	Kepçe devir süresi (sn)	Ortalama kepçe dolma katsayısı	Kepçe sayısı (n)	Yükleme zamanı (t1),sn	Makineye yanaşma süresi (t2), sn	Döküm alanında boşaltma ve manevra süresi (t3), sn	Dolu gidiş süresi (t4), sn	Boş dönüş süresi (t5), sn	Toplam devir süresi (T), sn	Kamyon saatlik kapasitesi (m ³ /saat)	Bir makine için gerekli kamyon sayısı
15,3	40	1.027,6	36,40	0,68	2,6	95	28	96	394	320	933	104,9	10
15,3	40	1.282,9	31,30	0,73	2,6	82	28	96	394	320	920	114,3	11
6,0	29	1.001,8	21,13	0,98	4,8	102	19	63	712	478	1.374	74,5	13
6,0	29	886,1	22,67	0,93	4,8	110	19	63	712	478	1.382	70,3	13
5,0	30	535,9	30,57	0,91	6,0	183	23	88	341	298	933	105,3	5
5,0	30	776,2	21,80	0,94	6,0	131	23	88	341	298	881	115,3	7
5,0	25	970,0	18,00	0,97	5,0	90	18	62	655	417	1.242	70,3	14
4,8	24	522,5	28,44	0,86	5,0	142	18	60	813	564	1.597	46,5	11
4,0	24	557,0	22,75	0,88	6,0	137	18	60	813	564	1.592	47,8	12
4,0	25	692,6	21,00	1,01	6,3	131	18	62	655	417	1.283	70,8	10
3,8	29	571,0	23,00	0,96	7,6	176	19	63	712	478	1.448	69,2	8
3,3	24	591,0	19,70	0,98	7,3	143	18	60	813	564	1.598	53,0	11
2,1	24	404,4	17,76	0,95	11,4	203	18	60	813	564	1.658	49,5	8

Kamyon sayısı bulunduğundan sonra, açık işletmede bu sayıya etki eden hususların incelenmesi ve önlemlerin alınması gerekir. Aksi halde bulunan kamyon sayısı aşağıda belirtilen olumsuz etkilerden dolayı istenilen miktarda taşımanın yapılmasını imkansızlaştırır:

- Kurp veya viraj yarıçapı ve dever (merkezkaç kuvvetine karşı kurp içerisinde yola verilen meyil); kamyonun hızını dolayısıyla gidiş dönüş zamanını,
- Basamak üzerinin düzgün olmaması; ekskavatörün yüklemesini ve kamyonun konumunu, dolayısıyla yükleme zamanını,
- Ekskavatör ve kamyon kapasiteleri arasındaki uyum, yüklemenin daha randımanlı olmasını etkilemektedir.

4.2.2. Gerekli kepçe sayısına göre ekskavatör kamyon uyumu

Açık ocak madenciliğinde kullanılan mevcut kamyon boyutları; orta ölçekliler için 20–117 ton, büyük ölçekliler için 135–315 ton kapasiteler arasında değişmektedir. Bir makinenin bir kamyonu doldurmak için gereken optimum kepçe sayısı, orta ölçekliler için 4 – 6 kepçe, büyük ölçekliler için 5 – 8 kepçe önerilmektedir. 4'ten az dönüşler için aşırı yatırım maliyeti gerektiren çok yüksek kapasiteli yükleyiciler gerektirirken, 6'dan fazla dönüşler de artan yükleme süreleri nedeniyle daha fazla kamyon ihtiyacını doğurmaktadır (Karpuz ve Hindistan, 2005). Bu açıklama doğrultusunda, Ç.L.İ örtü kazı sahasında çalışan kamyonların yüklenmesi için optimum kepçe sayısı 4 – 6 kepçe arasında olmalıdır.

Ekskavatör kepçe kapasitesi ile kamyon kapasitesi arasındaki oran 5'den küçük olduğu durumlarda, makine yüklemede zorluk çekeceği için verim düşer, bunun yanında kepçenin kamyon üzerine hedeflenmesinden dolayı boşaltma süresi uzar. Oranın 5'den büyük olması durumunda ise; yükleme sürelerinin artması nedeniyle kamyonların devir süresi uzar, dolayısıyla taşıma kapasiteleri düşer.

Bir kamyonu doldurmak için gerekli döngü (kepçe devri) sayısının teknik olarak kabul edilebilir sınırlar içinde olması gerekmektedir. Bunun için de öncelikle, bir ekskavatörün bir kamyonu doldurması için gerekli kepçe sayısının belirlenmesi gerekir. İşletme sahasındaki mevcut ekskavatör kamyon sistemlerinde bir kamyonu doldurmak için gerekli kepçe sayıları (n) Çizelge 4.8'de verilmiştir. Ayrıca

bir kamyonu atılacak optimum kepçe sayısı 5 kepçe olarak kabul edildiğinde, mevcut kazı yükleme makinelerine uyumlu kamyon kapasiteleri hesaplanarak Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Kabul edilebilir kepçe sayısı 4-6 olarak alındığında mevcut ekskavatör kamyon sistemlerinde; 15,3 m³ kepçe kapasiteli ekskavatörler ile birlikte çalışan 40 m³ kasa hacimli kamyonları yüklemek için 2,6 kepçe gerekmektedir. Bu durumda, 15,3 m³ makine ile 40 m³ kasa hacimli kamyonun kapasitelerinin birbirleriyle uyumlu olmadığı görülmektedir. Çizelgeye göre bu ekskavatöre uyumlu kamyon kapasitesi 76 m³ olmalıdır. Benzer olarak ekskavatör kamyon sistemleri incelendiğinde; 4 m³ kepçe – 25 m³ kasa, 3,8 m³ kepçe - 29 m³ kasa, 3,3 m³ kepçe - 24 m³ kasa, 2,1 m³ kepçe – 24 m³ kasa hacimli kamyonla uyumsuz olduğu görülmektedir. Bu uyumsuzluk kepçe sayılarının kabul edilebilir sınırdan büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda ekskavatörlerin yükleme sürelerinin artması nedeniyle kamyonların devir süresi uzayacak, dolayısıyla taşıma kapasiteleri düşecektir.

Çizelge 4.8. Kepçe ve kamyon kasa hacimlerinin uyumu

Kepçe hacmi (m ³)	Kamyon kasa hacmi (m ³)	Kepçe sayısı (n)	Kabul edilebilir kepçe sayısına (4-6 kepçe) göre uyum	Uyumlu kamyon kasa hacmi (m ³)
15,3	40	2,6	uyumsuz	76
6,0	29	4,8	uyumlu	30
5,0	30	6,0	uyumlu	25
5,0	25	5,0	uyumlu	25
4,8	24	5,0	uyumlu	24
4,0	24	6,0	uyumlu	20
4,0	25	6,3	uyumsuz	20
3,8	29	7,6	uyumsuz	19
3,3	24	7,3	uyumsuz	17
2,1	24	11,4	uyumsuz	11

4.2.3. Yükleme ve taşıma birimlerinin birlikte çalışması (senkronizasyonu)

Yükleme biriminin devirsel çalışma içindeki uyumu incelenirken; yükleyicinin kamyonları beklemediği ve kamyonları uzun bir süre beklemedikleri hususlarına dikkat edilmelidir. Senkronizasyonun sağlanabilmesi için bir kamyonun devir süresi, makine ile çalışacak kamyonların tümünün hazırlanma ve yüklenme sürelerinden az olmalıdır (Karpuz ve Hindistan, 2005). Buna göre, senkronizasyon aşağıdaki eşitlikle kontrol edilebilir.

$$T \leq N (t_1 + t_2) \text{ olmalıdır.} \quad (4.1)$$

T: Kamyon devir süresi

t_1 : Kamyon dolma süresi (kamyonun dolması için gerekli kepçe sayısı x kepçe devir süresi)

t_2 : Yükleyici yanında manevra süresi

N: Bir makine için gerekli kamyon sayısı'dır.

Bu çalışmada, Eş. 4.1. eşitliği kullanılarak mevcut ekskavatör kamyon sistemleri için senkronizasyon incelenmiş ve Çizelge 4.9'da yapılan çalışmalar gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Kazı – yükleme ve taşıma sistemlerinin senkronizasyonu

Eks. kepçe hacmi (m ³)	Kam. kasa hacmi (m ³)	Yükleme süresi (t1), sn	Makine yanında manevra süresi (t2), sn	Toplam devir süresi (T), sn	Kamyon sayısı (N), adet	N*(t1+t2)	T (sn)≤ N*(t1+t2)	Kamyonların bekleme süresi, sn [N*(t1+t2)] -T
15,3	40	95	28	933	10	1.230	uyumlu	297
15,3	40	82	28	920	11	1.210	uyumlu	290
6,0	29	102	19	1.374	13	1.573	uyumlu	199
6,0	29	110	19	1.382	13	1.677	uyumlu	295
5,0	30	183	23	933	5	1.030	uyumlu	97
5,0	30	131	23	881	7	1.078	uyumlu	197
5,0	25	90	18	1.242	14	1.512	uyumlu	270
4,8	24	142	18	1.597	11	1.760	uyumlu	163
4,0	24	137	18	1.592	12	1.860	uyumlu	268
4,0	25	131	18	1.283	10	1.490	uyumlu	207
3,8	29	176	19	1.448	8	1.560	uyumlu	112
3,3	24	143	18	1.598	11	1.771	uyumlu	173
2,1	24	203	18	1.658	8	1.768	uyumlu	110

Çizelge 4.9'a göre, incelenen her bir ekskavatör kamyon sisteminde, kamyon devir süreleri, makine ile çalışacak kamyonların tümünün hazırlanma ve yüklenme sürelerinden küçük bulunmuştur. Bu çalışmaya göre, mevcut kazı – yükleme ve kamyon sistemlerinin senkronizasyonu incelendiğinde sistemlerin birbirleriyle uyumlu oldukları görülmektedir. Çizelgede kamyonların ortalama bekleme süreleri ise yaklaşık 3 dakikadır. Bu sürenin en aza inmesi verimliliği artıracaktır.

4.2.4. Uyuşma faktörü (Match Factor, MF)

Ekskavatör kamyon sistemlerinin birlikte çalışmalarındaki uyumu incelemek üzere diğer bir yaklaşım da uyuşma faktörüdür. Ekipmandan faydalanmanın optimizasyonunda sıkça kullanılmaktadır.

Aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$MF = \frac{\text{Kamyon sayısı} \times \text{Ekskavatörün toplam periyod süresi}}{\text{Ekskavatör sayısı} \times \text{Kamyon tur süresi}} \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte ekskavatörün toplam periyod süresi; kepçe periyod süresi ile bir kamyonu yüklemesi için gerekli kepçe sayısının çarpımıdır.

MF şu sınırlar arasında değişmektedir (Kesimal, 1995):

MF= 1 ise; kusursuz uyuşma

MF>1 ise; çok yüksek yükleyici verimi, düşük taşıyıcı verimi

MF< 1 ise düşük yükleyici verimi, yüksek taşıyıcı verimi.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen her bir ekskavatör ve kamyon sistemi için uyuşma faktörleri hesaplanarak Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Çizelge de görüldüğü gibi; 1, 4, 6, 7, 9, ve 10 numaralı ekskavatör-kamyon sistemleri için MF 1'den büyük bulunmuştur. Buna göre bu sistemlerde yükleyici veriminin yüksek, taşıyıcı veriminin düşük olduğu söylenebilir. 2, 3, 5, 8, 11, 12 ve 13 numaralı sistemlerde ise MF 1'den küçük bulunmuştur. Bu da, bu sistemlerde yükleyici veriminin düşük, taşıyıcı veriminin yüksek olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.10. Ekskavatör kamyon sistemlerinin uyuşma faktörleri

Sistem no	Kepçe hacmi (m ³)	Kamyon kasa hacmi (m ³)	Kepçe sayısı (adet)	Kepçe devir süresi (sn)	Bir kamyonun toplam devir süresi (sn)	Bir makine için gerekli kamyon sayısı (adet)	Uyuşma faktörü (MF)
1	15,3	40	2,6	36,40	933	10	1,02
2	15,3	40	2,6	31,30	920	11	0,98
3	6,0	29	4,8	21,13	1.374	13	0,97
4	6,0	29	4,8	22,67	1.382	13	1,03
5	5,0	30	6,0	30,57	933	5	0,98
6	5,0	30	6,0	21,80	881	7	1,04
7	5,0	25	5,0	18,00	1.242	14	1,01
8	4,8	24	5,0	28,44	1.597	11	0,98
9	4,0	24	6,0	22,75	1.592	12	1,03
10	4,0	25	6,3	21,00	1.283	10	1,02
11	3,8	29	7,6	23,00	1.448	8	0,97
12	3,3	24	7,3	19,70	1.598	11	0,99
13	2,1	24	11,4	17,76	1.658	8	0,98

4.3. Ekskavatör ve Kamyonların Verimlilik Analizi

Örtü kazı çalışmalarında iş makinelerinin performansı örtü kazı miktarını doğrudan etkiler. İşletme verimliliğinin artırılması, örtü kazı maliyetlerinin düşürülmesi ve işletmenin daha ekonomik olması için iş makinelerinin verimliliği artırılmalıdır. Bu da ancak iş makinelerinin kullanımlarının ve durma nedenlerinin analizi ile mümkündür.

4.3.1. Makinelerin kullanım oranlarının incelenmesi

Verimlilik analizinde en önemli faktör, makinelerin kullanım oranları ve bu oranların kabul edilebilir sınırlar içinde olmasıdır. Maden makineleri gibi tamir bakımı mümkün olan sistemlerde performans ölçütü olarak en sık kullanılan kavram “kullanım oranı”dır. Kullanım oranları amaca göre; mekanik kullanım oranı, fiziksel kullanım oranı ve etkin kullanım oranı olarak üç grupta incelenebilir. Makinelerin mekanik verimliliği için mekanik kullanım oranı; iş organizasyonu verimliliği için

fiziksel kullanım oranı; iş makinelerinin üretim verimliliği oranı için etkin kullanım oranları hesaplanmalıdır (Erçelebi ve ark., 1999).

Kullanım oranı, bir makine veya ekipmanın bulunduğu çalışma şartlarında kendisinden istenilen işlevi yerine getirebilme olasılığıdır ve şu bağıntıyla verilir:

$$\text{Kullanım oranı (\%)} = \frac{\text{Toplam çalışılabilir süre}}{\text{Toplam çalışılabilir süre} + \text{toplam durma süresi}} \times 100 \quad (4.3)$$

Bu çalışma kapsamında örtü kazıda kullanılan kazı-yükleme-nakliye makinelerinin verimlilik analizleri için; mekanik kullanım oranı, fiziksel kullanım oranı ve etkin kullanım oranları hesaplanmıştır. Verimlilik analizinde kullanılan veriler, iş makinelerinin yıllık çalışma performanslarından faydalanılarak Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çalışılması planlanan toplam süre (mümkün çalışma süresi) 6.818 saat (resmi tatiller hariç çalışma saati) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.11'deki verilerden faydalanılarak, verimlilik analizleri yapılan ekipmanların yıllık program çalışma süreleri içerisinde; fiili çalışma, tamir bakımdan kaynaklanan duruşlar, kontrol edilebilen - kontrol edilemeyen ve diğer nedenlerden kaynaklanan operasyonel duruşların % olarak oranları Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Şekil 4.1'deki grafikte görüldüğü gibi 5 adet elektrikli ekskavatörün yıllık çalışma performansları incelendiğinde; program çalışma süresinin %21'i fiili çalışma saati, %29 tamir bakımdan kaynaklanan duruşlar, %54 ise operasyonel duruşlardır. Operasyonel duruşlardan kaynaklanan kayıp sürede en yüksek pay ise, hava muhalefeti gibi kontrol edilemeyen duruşlara aittir. Kontrol edilemeyen bu duruşlar, sistemin (ekskavatör, kamyon ve yardımcı ekipmanlar) yağış, sis gibi hava muhalefeti nedeniyle durmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.2'deki grafikte ise hidrolik ekskavatörün yıllık çalışma performansı incelendiğinde; program çalışma süresinin %50'si fiili çalışma saati iken, %24 tamir bakımdan kaynaklanan duruşlar, %33 ise operasyonel duruşlardır. Operasyonel duruşlardan kaynaklanan kayıp sürede yine en yüksek pay kontrol edilemeyen duruşlardan kaynaklanmaktadır.

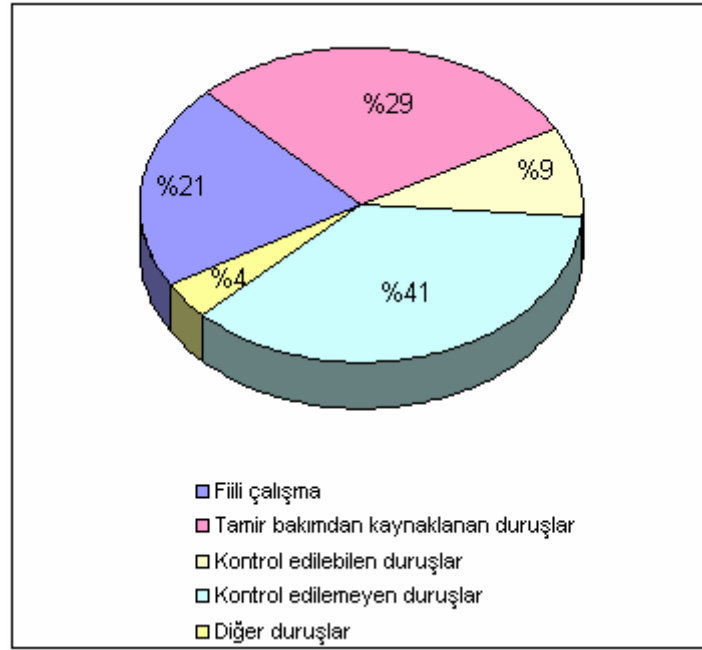
Şekil 4.3'deki grafikte ise kamyonların (48 adet) çalışma performansları görülmektedir. Grafiğe göre, program çalışma süresinin %31'i fiili çalışma saati, %26'sı tamir bakımdan kaynaklanan duruşlar, %33 ise operasyonel duruşlardır. Operasyonel duruşlardan kaynaklanan kayıp sürede yine en yüksek pay kontrol edilemeyen duruşlardan kaynaklanmaktadır. Kamyon performanslarında kontrol edilebilen duruşlar da %10 gibi yüksek bir orana sahiptir. Bunun nedeni ise, grafikte de görüldüğü gibi şoför eksikliği ve kamyonlara iş verilememesi gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.11. İş makinelerinin yıllık performansları

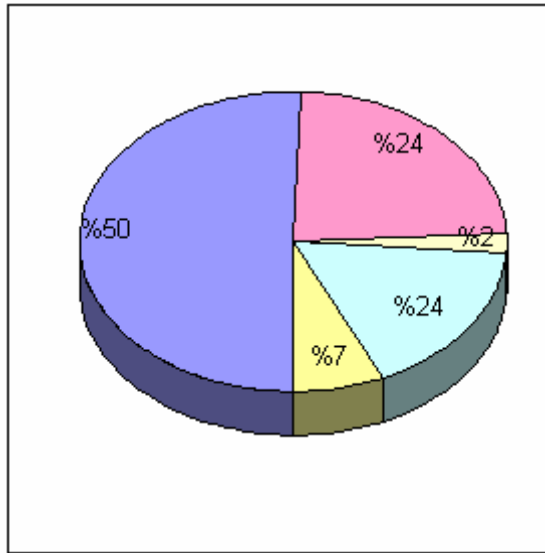
Makine Adı	Çalışma Saati		Tamir Bakımdan Kaynaklanan Duruşlar						Operasyonel Duruşlar										Toplam Durma Süresi
	Prog. saat	Fiili saat	Bakım	Arıza	Revizyon (Şase-Ünite)	Yedek Parça Bekleme	Tamir İçin Sıra Bekleme	Toplam	Kontrol Edilebilen						Kontrol Edilemeyen	Diğer Sebepler	Operasyonel Duruşlar Toplamı		
									Çalışma saati /yıl	Çalışma saati /yıl	Şoför Operatör Yokluğu	Kamyon Yetersizliği	Dinamit Atımı	Temizlik (dozer/ grayder)				Kömür Haz. Tes.Arıza	
Elektrikli ekskavatörler	34.088	7.199	240	2.176	3.328	0	4.170	9.914	558	1.469	160	960	0	0	3.147	12.477 **	1.351	16.975	26.889
Hidrolik ekskavatör	6.818	3.454	115	436	0	180	874	1.605	0	64	77	0	0	0	141	1.147	473	1.761	3.366
Kamyonlar	326.745	90.590	2.973	21.138	10.478	9.686	36.307	80.581	11.366	6.344	2.016	12.082	1.982	15.520	49.309	87.315	18.387	155.011	235.592

* Zaman birimi saat olarak alınmıştır.

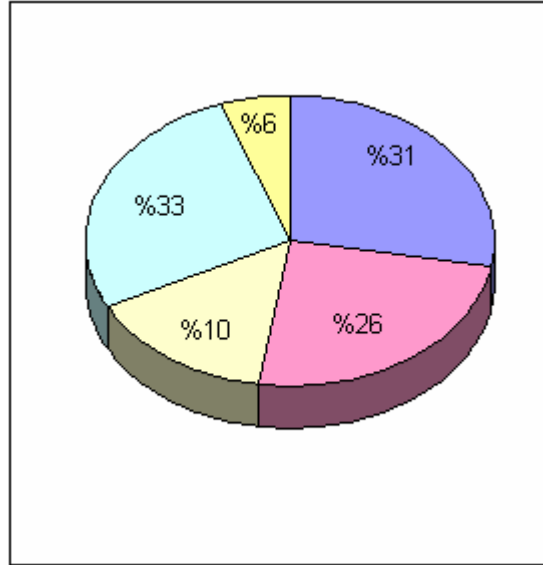
* Bu duruşlar sistem (kamyonlar, ekskavatörler vd.) olarak duruşlardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.1. Elektrikli ekskavatörlerin çalışma performansı



Şekil 4.2. Hidrolik ekskavatörün çalışma performansı



Şekil 4.3. Kamyonların çalışma performansı

4.3.1.1. Makinelerin mekanik kullanım oranı (mekanik mevcudiyet) ve mekanik verimlerinin analizi

Bu çalışmada, işletmede örtü kazı çalışmalarında kullanılmakta olan ekskavatörlerin ve kamyonların bir yıllık zaman dilimi içinde öngörülen çalışma süreleri, “Mekanik Mevcudiyet” (net kullanıma hazır mekanik büyüklük) ile “Mekanik Verim” (makinenin veya sistemin mekanik mevcudiyetinden yararlanma) büyüklükleri açısından ekipmanlar bazında araştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Mekanik mevcudiyet (availability):

Mekanik kullanım oranı, makinenin arıza yapması veya bakım yapılması dışında ne kadar süre kullanılabileceğini gösterir. Bir makinenin eskimeden dolayı azalan performansının bir göstergesidir. Ekipman kullanılabilirliğini, mekanik sebeplerden dolayı durma sürelerine bağlı olarak gösterir (Erçelebi ve ark., 1999).

Literatürde iş makinelerinin verimliliği ile ilgili olarak “kullanıma hazır veya kullanılabilirlik “ aşağıdaki gibi formüle edilmektedir:

$$M_m = \frac{\text{Mümkün saat} - \text{Kullanılmayan saat}}{\text{Mümkün saat}}$$

Kullanılmayan saat (tamir bakım süresi); ekipman bozulduğunda tamir için harcanan süreyi, planlı bakım sürelerini ve parça beklemeden dolayı durma sürelerini kapsar.

Mümkün saat: İşletmenin programlanan yıllık çalışma süresidir.

Bu eşitliğe göre mekanik mevcudiyet, herhangi bir işletmedeki mevcut makinelerin, programlanan yıllık çalışma dilimi içinde arıza ve yıllık periyodik bakımdan oluşacak toplam kayıp sürelerinin çıkarılması ile elde edilecek büyüklüğün, programlanan yıllık çalışma süresine oranının yüzdesi olarak ifade edilebilir.

Mekanik verim (utilization):

Yıl içinde gerçekleştirilen net fiili çalışma süresinin net kullanıma hazır mekanik süreye oranının yüzde olarak ifadesidir.

$$M_v = \frac{\text{Gerçekleşen net çalışma saati}}{\text{Mümkün saat- Kullanılmayan saat}}$$

Mümkün saat- Kullanılmayan saat

Yukarıda verilen açıklamalar ve eşitlikler kullanılarak işletme örtü kazı çalışmalarında kullanılmakta olan ekskavatör ve kamyonların mekanik mevcudiyet ve mekanik kullanım oranları hesaplanmıştır. Çizelge 4.12’de verildiği gibi; makinelerin mümkün yıllık çalışma saatleri 6.818 saat olarak alınmıştır. Kamyonların mekanik mevcudiyet ve mekanik verimlilikleri hesaplanırken İşletmede mevcut 48 adet kamyonun toplam program fiili çalışma saatleri ile toplam durma süreleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.12. İş makinelerinin mekanik mevcudiyet ve mekanik verimlilikleri

Ekipman türü	Program çalışma saati /yıl, (saat)	Fiili çalışma saati /yıl, (saat)	Tamir bakımdan kaynaklanan duruşlar, (saat)	Operasyonel duruşlar, (saat)	Mekanik mevcudiyet, Mm (%)	Mekanik verimlilik, Mv (%)
Elektrikli ekskavatörler	34.088	7.199	9.914	16.975	71	30
Hidrolik ekskavatör	6.818	3.454	1.605	1.761	76	66
Kamyonlar	326.745	90.590	80.581	155.011	75	37
Ortalama					74	44

Çizelge’de görüldüğü gibi, elektrikli ekskavatörlerin mekanik mevcudiyetleri %71, mekanik verimleri %30 olarak gerçekleşmektedir. Hidrolik ters kepçe ekskavatörün mekanik mevcudiyeti %76, mekanik verimi %66 olarak gerçekleşmiştir. Kamyonların ise mekanik mevcudiyetleri %75, mekanik verimleri %37 olarak gerçekleşmiştir.

Tüm ekipmanların ortalama M_m , değeri %74 ortalama M_v değeri %44 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, üretim miktarını ve buna bağlı olarak işletme maliyetini negatif yönde etkileyecektir.

Ekipmanların ortalama M_m değerlerinin yaklaşık olarak birbirlerine yakın olması ve düşük çıkmasının nedeni; söz konusu ekskavatör ve kamyonların ekonomik ömürlerini tamamlamış olmaları nedeniyle, bu makinelere motor revizyonu gerekmesi, mekanik ve elektrik ünitelerinde sık sık arıza meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Bu da, tamir-bakımdan kaynaklanan durma zamanının artmasına neden olmaktadır. Ortalama M_v değerinin çok düşük olması ise, net çalışma sürelerini doğrudan etkileyen faal süredeki kayıpları oluşturan hava muhalefeti gibi sebepler ile operasyonel duruşların büyüklüğünden kaynaklanmaktadır.

Çizelgeye göre, elektrikli ekskavatörler ile kamyonların mekanik verimlilikleri yaklaşık olarak benzerlik göstermektedir. Hidrolik ekskavatörün M_v değerinin %66 gibi elektrikli ekskavatörlere göre oldukça yüksek olmasının nedeni ise, daha hafif tonajlı makinelerin sahaya daha uyumlu olması, hidrolik ekskavatörlerin hareket kabiliyetlerinin ve mobilitelerinin yüksek olması ile açıklanabilir.

İşletmede mevcut kamyon grubu da ekonomik ömrünü tamamlamış durumda olup, sayı bakımından da yetersiz gelmektedir. Kamyon yetersizliği nedeniyle makineye iş verilememesi veya makine – kamyon dengesi kurulamayıp makinenin uzun süre beklemesi ve normal çalışma performansını gerçekleştirememesi iş kaybı ile birlikte maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Makinelerin ekonomik ömrünü tamamlamış ve yetersiz sayıda olması, ayrıca işçi ve kamyon yetersizliği, iklim koşulları, zemin özellikleri gibi nedenlerle ortalama mekanik verimliliğin %44'lere düşmüş olduğu görülmektedir.

Mekanik mevcudiyet ve mekanik verimin sistem için değerlendirmesi:

Buraya kadar İşletme örtü kazı çalışmalarında kullanılan kazı yükleme nakliye ekipmanlarının mekanik mevcudiyetleri, mekanik verimleri; fiili çalışma, bakım, arıza ve diğer işler gibi ekipmanların durma sürelerini etkileyen faktörlerin yıllık mümkün çalışma saati içindeki payları hesaplanarak değerlendirilmiştir.

Bu bölümde ise, hesaplanmış bu iki büyüklüğün (M_m , M_v) değişimleri mevcut sistem bazında araştırılarak analizi gerçekleştirilmiştir. İşletme dekapaj çalışmalarında kullanılmakta olan ekskavatör-kamyon sistemleri ayrı ayrı ele alındığında;

Elektrikli ekskavatör $M_M = \%71$	Kamyon $M_M = \%75$
Elektrikli ekskavatör $M_V = \%30$	Kamyon $M_V = \%37$
Hidrolik ekskavatör $M_M = \%76$	Kamyon $M_M = \%75$
Hidrolik ekskavatör $M_V = \%66$	Kamyon $M_V = \%37$ olmaktadır.

Buna göre; sistem bazında incelendiğinde, kamyon ve ekskavatörlerin mekanik mevcudiyetlerinin yaklaşık olarak birbirleriyle uyumlu, mekanik verimlerinin ise birbirleriyle uyumsuz olduğu söylenebilir. Özellikle hidrolik ekskavatör ile kamyonların verimliliklerinin birbirleriyle oldukça uyumsuz olduğu görülmektedir. Mekanik verimlerindeki bu farklılık şoför operatör eksikliğinden veya kamyon ekskavatör eksikliğinden kaynaklanmakta olup, ekskavatör-kamyon uyumunu ve verimliliğini etkileyecek, kamyonların ve makinelerin fazla beklemlerine neden olacaktır. Bu durumda yedek makine, kamyon, şoför, operatör bulundurulması mekanik ekskavatör-kamyon sistemlerinin mekanik verimliliklerinin uyumunu sağlayabilecektir.

Sistem olarak incelenen bu değerler (M_m , M_v), açık işletmelerde bu tür analizlerin sistem bazında da yapılması gerektiğinin ve sistemin uyumunu incelerken önemli bir analiz yöntemi olduğunu göstermektedir.

4.3.1.2. Fiziksel kullanım oranı

İdari planlamanın ve organizasyonun ne derece iyi olduğunun bir göstergesidir. Bir makinenin ne kadar süre kullanılabileceğini gösterir (Erçelebi ve ark., 1999).

$$\text{Fiziksel kullanım oranı (\%)} = \frac{\text{Çalışılan süre} + \text{Yedek süre}}{\text{Çalışması planlanan süre}} \times 100$$

Çalışılan süre; makinelerin mümkün çalışma süresinden tamir bakımdan kaynaklanan sürelerin çıkartılması ile bulunur.

Çalışması planlanan süre; çalışılan fiili süreyi, tamir-bakım sürelerini ve makinenin yedekte bekletildiği süreyi kapsar.

Eğer fiziksel kullanım oranı, mekanik kullanım oranından çok büyükse bu makinenin tam kapasite kullanılmadığını gösterir.

4.3.1.3. Etkin kullanım oranı

Makinenin gerçekte üretim için kullanıldığı süre, etkin kullanım oranı ile hesaplanır.

$$\text{Etkin kullanım oranı (\%)} = \frac{\text{Fiili iş süresi}}{\text{Toplam süre}} \times 100$$

Bu çalışma kapsamında, yukarıda verilen tanımlar ve eşitliklerden faydalanılarak makinelerin fiziksel kullanım oranları ve etkin kullanım oranları ayrı ayrı hesaplanarak Çizelge 4.13'de gösterilmiştir. Fiziksel kullanım oranı hesaplanırken, makinelere iş verilemeyen süre, yedekte bekleme süresi olarak alınmıştır.

Çizelge 4.13. Makinelerin fiziksel ve etkin kullanım oranları

Ekipman türü	Program çalışma (saat)	Fiili çalışma (saat)	Tamir Bakımdan Kaynaklanan Duruşlar (saat)	Operas. Duruşlar (saat)	Yedek Süre (saat)	Fiziksel Kullanım Oranı (%)	Etkin Kullanım Oranı (%)
Elektrikli eks.	34.088	7.199	9.914	16.975	0	71	21
Hidrolik eks.	6.818	3.454	1.605	1.761	0	76	51
Kamyonlar	326.745	90.590	80.581	139.491	15.520	80	28
Ortalama						76	33

4.3.2. Ekipmanların kullanım oranlarının birlikte değerlendirilmesi

Bu bölümde, makinelerin performans analizleri amacıyla hesaplanmış olan; mekanik mevcudiyet, mekanik verim, fiziksel kullanım oranı ve etkin kullanım oranları birlikte değerlendirilmiştir. Bu amaçla, öncelikle bulunan değerler Çizelge 4.14'de birlikte gösterilmiş olup, ortalama değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14. Makinelerin kullanım oranları

Makine tipi	Mekanik mevcudiyet, (Mm) (%)	Mekanik verimlilik, (Mv) (%)	Fiziksel kullanım oranı, (%)	Etkin kullanım oranı, (%)	Makinelerin ortalama kullanım oranı (%)
Elektrikli ekskavatörler	71	30	71	21	48
Hidrolik ekskavatör	76	66	76	51	67
Kamyonlar	75	37	80	28	55
Ortalama	74	44	76	33	57

Ekipmanların verimlilik analizleri amacıyla bu bölümde yapılan tüm çalışmalara ve elde edilen değerlere göre varılan sonuçlar:

- Ekskavatörlerin mekanik mevcudiyetleri ile fiziksel kullanım oranlarının aynı değeri aldıkları görülmektedir. Bunun nedeni, ekskavatör çalışmalarında yedek süre olmamasından kaynaklanmakta olup, dolayısıyla makinelerin tam kapasite çalıştıklarını göstermektedir. Kamyonlar için ise, iş verilememe sebebi ile yedek süre oluşmakta bu da kamyonların fiziksel kullanım oranlarının mekanik mevcudiyetlerinden düşük olmasına, kamyonların tam kapasite çalışmadığına işaret etmektedir.
- Mekanik mevcudiyet ve fiziksel kullanım oranları düşük olan makinelerin çalışma performansları incelendiğinde, bu düşüşün nedeninin ekipmanların revizyona alınmasından kaynaklandığı görülmektedir.
- Ekipmanların mekanik verim ve etkin kullanım oranları birbirlerine paralel eğilim göstermektedir. Aradaki fark, tamir bakımdan kaynaklanan makinelerin faal olmayan sürelerinden kaynaklanmaktadır.
- Her bir ekipmanın ortalama kullanım oranları incelendiğinde; elektrikli ekskavatörlerin kullanım oranının en düşük olduğu, tüm ekipman bazında ortalama kullanım oranının %57 olduğu görülmektedir. Kullanım oranının düşüklüğü; verimliliğin düşük olmasına dolayısıyla üretim veriminin düşmesine ve maliyetlerin artmasına neden olacaktır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu araştırmada, bir açık işletme linyit ocağında linyit üretimi amacıyla yapılmakta olan örtü kazı çalışmaları incelenmiş ve bu amaç için işletmede kullanılmakta olan ekskavatör ve kamyonların ayrı ayrı verimlilikleri ve birbirleriyle olan uyumları değerlendirilmiştir.

Çan Linyitleri İşletmesi örtü malzemesinin (orta ileri ayrılmış tuf aglomera ar dalanması, kil ve marnlı jeolojik birim) kazılabilirlik zorluğunun ve makinelerin uyumluluklarının belirlenmesi kapsamında yapılan çalışmanın sonuçları aşağıda verilmiştir:

- İşletmede mevcut faal kazı makineleri ile doğrudan ve patlatılarak gevşetme sonrasında yapılan kazı faaliyetlerinde alınan ölçümlerden ortalama kepçe devir süreleri sırasıyla 28,23 saniye ve 21,67 saniye olarak bulunmuştur. Buna göre gevşetilmiş malzemenin kazısında devir süresinin %23 oranında azaldığı görülmüştür.
- Aynı makinelerde kepçe dolma katsayıları izlendiğinde, doğrudan ve gevşek kazılarda bu katsayı sırasıyla 0,86 ve 0,94 olarak bulunmuştur. Beklendiği gibi, gevşek malzemenin kepçe dolma katsayısı %10 daha yüksek hesaplanmıştır.
- Bu çalışma kapsamında, işletmede mevcut kazı makinelerinden alınan ölçümlerden elde edilen uygulama değerleri ile literatürden elde edilen teorik değerlerin karşılaştırılması sonucunda jeolojik birimin kazı zorluğu tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1'de özetlenmiştir. Bu sonuca göre, kazı sınıfı orta-orta zor olarak tespit edilen jeolojik birimin, patlatılarak gevşetilmesi durumunda kazı sınıfı kolay kazı sınıfına dahil olmaktadır. Buna göre jeolojik birimin kazı sınıfı, patlatma ile gevşetme yapıldığında iki kazı sınıfı kolay tarafa kaymaktadır.
- Ayrıca yapılan çalışma sonucunda; hidrolik ekskavatörlerin kazı gücünün elektriklilerden daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.1. Kazı makinelerinin verimliliğine dayalı kazı zorluğu sınıflaması.

	KAZI ZORLUĞU DAĞILIMI (%)									
	Doğrudan kazı					Gevşetme sonrası kazı				
	kolay	orta	orta-zor	zor	çok zor	kolay	orta	orta-zor	zor	çok zor
Kepçe devir süresine göre	-	40	40	20	-	87	13	-	-	-
Kepçe dolma katsayısına göre	20	20	40	-	20	75	12	-	13	-
Saatlik beklemesiz kapasiteye göre	-	40	40	20	-	87	-	13	-	-
Saatlik fiili kapasiteye göre	-	40	40	-	20	87	-	-	13	-
GENEL	5	35	40	10	10	84	6	3	7	-

Ekskavatör kamyon sisteminin uyumu araştırması kapsamında yapılan çalışmaların sonuçları aşağıda verilmiştir:

- Mevcut ekskavatör kamyon sistemlerinde ekskavatör kepçe hacimleri ile kamyon kasa hacimleri incelendiğinde; bazı ekskavatör kamyon sistemlerinde ekskavatör kepçe hacmi ile kamyon kasa hacimlerinin birbirleriyle uyumsuz olduğu görülmektedir. Bu uyumsuzluk kepçe sayılarının kabul edilebilir sınırdan büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda ekskavatörlerin yükleme sürelerinin artması nedeniyle kamyonların tur zamanı uzayacak, dolayısıyla taşıma kapasiteleri düşecektir.
- Yükleme ve taşıma birimlerinin birlikte çalışması (senkronizasyonu) araştırması sonucunda; mevcut ekskavatör kamyon sistemlerinde kamyon tur zamanları, makine ile çalışacak kamyonların tümünün hazırlanma ve yüklenme süresinden küçük bulunmuştur. Bu çalışmaya göre, mevcut kazı – yükleme ve kamyon sistemlerinin senkronizasyonu incelendiğinde sistemlerin birbirleriyle uyumlu oldukları görülmektedir. Kamyonların ortalama bekleme süreleri ise yaklaşık 3 dakika olarak hesaplanmıştır.
- Ekskavatör kamyon sistemleri için uyuşma faktörü çalışması sonucunda; incelenen ekskavatör-kamyon sistemlerinin bir kısmında MF 1'den büyük bulunmuştur. Buna göre bu sistemlerde yükleyici veriminin yüksek, taşıyıcı veriminin düşük olduğu söylenebilir. Bir kısmında ise MF 1'den küçük

bulunmuştur. Bu da, bu sistemlerde yükleyici veriminin düşük, taşıyıcı veriminin yüksek olduğunu göstermektedir.

Örtü kazıda kullanılan kazı-yükleme-nakliye makinelerinin performans analizleri araştırması kapsamında yapılan çalışmalar ve bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Elektrikli ekskavatörlerin mekanik mevcudiyetleri %71, mekanik verimleri %30 olarak gerçekleşmektedir. Hidrolik ters kepçe ekskavatörün mekanik mevcudiyeti %76, mekanik verimi %66 olarak gerçekleşmiştir. Kamyonların ise mekanik mevcudiyetleri %75, mekanik verimleri %37 olarak gerçekleşmiştir.
- Tüm ekipmanların ortalama M_m , değeri %74 ve ortalama M_v değeri %44 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, üretim miktarını ve buna bağlı olarak işletme maliyetini negatif yönde etkileyecektir.
- Ayrıca tüm ekipmanların fiziksel ve etkin kullanım oranları hesaplanmış, ortalama fiziksel kullanım oranları %76, ortalama etkin kullanım oranı %33 olarak bulunmuştur.
- Tüm ekipmanların ortalama kullanım oranı ise, %57 olarak hesaplanmıştır. Kullanım oranının düşüklüğü; verimliliğin düşük olmasına dolayısıyla üretim veriminin düşmesine ve maliyetlerin artmasına neden olacaktır.

5.2. Öneriler

- Kazı performans çalışmaları ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda; söz konusu saha için bu jeolojik birimde ve bu kapasitedeki makinelerle yapılan örtü kazıda, patlatma ile gevşetme yapılması ve hidrolik ekskavatörlerin kullanılması kazı verimliliğini artıracaktır.
- Ekskavatör kepçe hacmi ile kamyon kasa hacminin birbirleriyle uyumu (kamyonu yükleyecek kepçe sayısının kabul edilebilir sınırlar içinde olması); ekskavatör ve kamyonların bekleme sürelerini en aza indirirken verimliliği artıracaktır. Bu nedenle, ekskavatör kamyon seçiminde bu uyuma dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Yükleme ve taşıma birimlerinin birlikte çalışması (senkronizasyonu) araştırması sonucunda, mevcut ekskavatör kamyon sistemlerinde kamyonların ortalama bekleme süreleri yaklaşık 3 dakika olarak hesaplanmıştır. Bu sürenin en aza inmesi verimliliği artıracaktır. Ayrıca, yükleme ve taşıma birimlerinde senkronizasyonu sağlayabilmek için, çeşitli kepçe/kamyonu uyumlu kullanma sistemi (Dispatch) yöntemleri uygulanabilir.
- Ekonomik mr tamamlanmış makinelerin yenilenmesi ve çalışma şartlarını iyileştirici tedbirler olarak faal süredeki kayıpların en aza indirilmesi de örtü kazı verimliliğini artıracaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anonim, 1996, Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu Raporu, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 145s., <http://ekutup.dpt.gov.tr>
- Atkinson, T., 1971, Selection of Open-Pit Excavating and Loading Equipment, Trans. Inst. of Mining and Metallurgy, Vol. 80, pp A101-129.
- Bailey, A.D., 1974, Rock Types and Seismic Velocities Versus Rippability. Highway Geol. Symp. Proc., pp.135-142.
- Balkış, M., 2005, T.K.İ. E.L.İ. Müessesesi Çan Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü 2005 Brifing Raporu, 34s.
- Bilge, F.M., 2002, Tunçbilek Bölgesi Açık İşletme Kamyonlarının Taşıma Parametrelerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Müh. ABD, 111s.
- Ceylanoğlu, A., 1991, Performance Monitoring of Electrical Power Shovels for Diggability Assessment in Surface Coal Mines, Ph.D. Thesis, O.D.T.Ü, Türkiye, 228 pages.
- Erçelebi, S.G., Ergin, H. ve Yılmaz, M., 1999, KBİ Murgul İşletmesinde Kullanılan İş Makinelerinin Performans Analizi ve Optimum Yenilenme Zamanları, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Türkiye 16. Madencilik Kongresi ve Sergisi, s. 65-70, Ankara
- Eskikaya, Ş., 1986, İş Makinelerinin Verimlilik Analizi, İstanbul, 178s.
- Franklin, J.A., Broch, E. and Walton, G., 1971, Logging the Mechanical Character of Rock, Trans. Inst. of Mining and Metallurgy, Vol.80, pp. A1-9.
- ISRM Commission, 1978, Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, Int.J. Rock Mech. And Min. Sci., Vol.15, pp.319-368
- Karpuz, C. ve Hindistan, M. A., 2005, Açık İşletmelerde Üretim Yöntemleri, Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, Bölüm 3, s. 113-207
- Kesimal, A., 1995, Madenlerde Ulaşım Ders Notları, İ.Ü. Müh. Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- Kirsten, H.A.D., 1982, A Classification System for Excavation in Natural Materials, Civil Engineer in South Africa, Vol.24, July, pp.293-308.
- M.T.A., 2002, T.K.İ. Çan Linyitleri İşletmesinde Çanakkale Seramik Fabrikasının Hemen Güneyindeki Kesime Ait Jeoteknik Etüd, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etüdları Dairesi Kaya ve Zemin Mekaniği Birimi, 35s.

- MiningLife, 2006, Mining Engineers Toolbox-Rock Quality Designation (RQD), Miner's toolbox, www.mininglife.com/Miner/rockmech/RQD.htm
- MSW Management, 2000, When Digging Beats Scraping, Landfill Manager's Notebook
- Müftüoğlu, Y.V. ve Scoble, M.J., 1985, Kömür Açık İşletmeciliğinde Kazılabilirliği Belirleme Yöntemleri, Türkiye 9. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, Ankara, s.29-37
- Müftüoğlu, Y.V., 1983, A Study of Factors Affecting Diggability in British Surface Coal Mines, Ph. D. Thesis, Universty of Nottingham, England.
- Parlak, T., 1994, ABC Madenci Rehberi, Bursa, 465s.
- Paşamehmetoğlu, G., Karpuz, C., Müftüoğlu, Y., Özgenoğlu, A., Bilgin, A., Ceylanoğlu, A., Bozdağ, T., Toper, Z., Dinçer, T., 1988a, TKİ Dekapaj İhale Panoları İçin Makine Parkı Seçimi, Maliyet Analizi ve Birim Maliyetin (TL/M³) Saptanması, "Jeoteknik ve Performans Verilerinin Değerlendirilmesi, Kazılabilirlik Sınıflama Sisteminin Önerilmesi", Nihai Rapor, ODTÜ Maden İşletme ABD, Ankara, Cilt 1, 150s.
- Paşamehmetoğlu, G., Karpuz, C., Müftüoğlu, Y., Özgenoğlu, A., Bilgin, A., Ceylanoğlu, A., Bozdağ, T., Toper, Z., Dinçer, T., 1988b, TKİ Dekapaj İhale Panoları İçin Makina Parkı Seçimi, Maliyet Analizi ve Birim Maliyetin (TL/M³) Saptanması, "Ekipman Seçimi, Maliyet Analizi Ve Bilgisayar Modelleri", Nihai Rapor, ODTÜ Maden İşletme ABD, Ankara, Cilt 3, 150s.
- Poole, R.W. ve Farmer, I.W., 1980, Consistency and Repeatability of Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing, Int. Jb. of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol.17, pp.167-171
- Saltoğlu, S., 1992, Ders Notu, Açık İşletmeler, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Scoble, M.J. and Müftüoğlu, Y.V., 1984, Derivation of A Diggability Index for Surface Mine Equipment Selection, Mining Science and Technology, Vol.1, pp.305-322.
- Singh, R.N., Denby, B., Eğretli, İ., 1987, Development of a new rippability index for coal measures excavations. Proc. 28th US Symposium on Rock Mechanics, Tucson, pp.935-943.
- T.K.İ., 1998, Çan Tevsii Projesi, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Ankara
- T.K.İ., 2002, 2.300.000 Ton/Yıl Üretim Kapasiteli Çan Tevsii Projesi, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Ankara, 74s.
- Weaver, J.M., 1975, Geological Factors Significant In The Assessment Of Rippability, Civil Engineer in South Africa, Vol. 17, No.12, pp.313-316.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özgür KOÇAK

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1976

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1992-1994 Ankara Cumhuriyet Lisesi

Lisans : 1994-1999 Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi:

2000-2002 : Gökçe İnşaat -T.K.İ Çan Linyitleri İşletmesi-Şantiye Şefi

2002-2003 : Gökçe İnşaat -T.K.İ Seyitömer Linyitleri İşletmesi-Vardiya Mühendisi

2003-2004 : Gökçe İnşaat -T.K.İ B.A.K.Müdürlüğü-Şantiye Şefi Yrd.

Gökçe İnşaat –Kardemir A.Ş.-Şantiye Şefi

2004-2005 : Gökçe İnşaat -T.K.İ Çan Linyitleri İşletmesi-Vardiya Mühendisi

2005- : T.K.İ Çan Linyitleri İşletmesi- Maden Mühendisi

Staj:

Temmuz 1997-Ağustos 1997: T.K.İ. Ege Linyitleri İşletmesi

Temmuz 1998-Ağustos 1998: Çanakkale Seramik Fabrikaları- Kalemaden