



T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇAYIRHAN YERALTI LİNYİT İŞLETMESİNDE KOLLU GALERİ AÇMA
MAKİNELERİ İÇİN PERFORMANS MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

ERGİN KAHRAMAN

Temmuz 2012

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇAYIRHAN YERALTI LİNYİT İŞLETMESİNDE KOLLU GALERİ AÇMA
MAKİNELERİ İÇİN PERFORMANS MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

ERGİN KAHRAMAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

Temmuz 2012

Ergin KAHRAMAN tarafından hazırlanan **Prof. Dr. Sair KAHRAMAN** danışmanlığında “**Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesinde Kollu Galeri Açma Makineleri İçin Performans Modeli Geliştirilmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği** Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Sair KAHRAMAN (Niğde Üniversitesi)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih BAYRAM (Aksaray Üniversitesi)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ümit ATICI (Niğde Üniversitesi)

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../2012 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/....../2012 tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../2012

Doç. Dr. Osman SİVRİKAYA

Enstitü Müdürü

ÖZET

ÇAYIRHAN YERALTI İŞLETMESİNDE KULLANILAN KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNELERİ İÇİN PERFORMANS MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

KAHRAMAN, Ergin

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

Temmuz 2012, 89 sayfa

Bu çalışmada, ülkemizde tam mekanize kazı ile yeraltından kömür üretiminin gerçekleştirildiği Park Termik Çayırhan Linyit İşletmesinde G ve D sektörlerinde taban yolları açılmasında kullanılan Dosco Mk2B kollu galeri açma makinelerinin kazı performansları yerinde yapılan zaman etüdüleri ile tespit edilmiştir. Kazı arınlarından alınan numuneler üzerinde yapılan kaya mekaniği deney sonuçları, makinenin kazı performansları ile ilişkilendirilmiştir. Deneysel veriler ve performans ölçümlerini kullanarak çoklu regresyon analizi ile kazı performansı tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin güvenilirliği t-testi ve F-testi gibi istatistiksel testler yardımıyla ölçülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Kollu galeri açma makineleri, Performans ölçümleri, Kayaç özellikleri, Performans modelleri

SUMMARY

DEVELOPING A PERFORMANCE MODEL FOR THE ROADHEADERS USED IN CAYIRHAN UNDERGROUND COAL MINE

KAHRAMAN, Ergin

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

July 2012, 89 pages

In this study, excavation performance of the roadheaders Dosco Mk2B, used for advance galleries in the G and D fields of Park Termik Çayırhan Lignite Coal Mine where coal production is carried out from underground by full-mechanized excavations in our country, were determined by in-situ time controls. The data of rock mechanics experiments on the samples taken from face were correlated with the excavation performance of roadheaders. The excavation performance estimation models were developed using the datas obtained from experimental studies and performance measurement by regression analysis. The reliability of developed models were checked controlled by statistical tests such as t-test and F-test.

Keywords: Roadheaders, Performance measurements, Rock Properties, Performance Models

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı yöneten, hazırlanması sırasında görüşlerini esirgemeyen, bilimsel yol ve yöntemleri gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Sair KAHRAMAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarımı gerçekleştirmek için yardımlarını esirgemeyen Park Termik Çayırhan Linyit İşletmesi yöneticileri Maden Yük. Müh. Dr. F.Bülent TAŞKIN, Maden Yük. Müh. Oktay ERARSLAN, Maden Müh. Cemalettin SİĞIRCI, Maden Müh. Oktay YAZICI, Maden Müh. T. Selim SARAL, Sn. Ahmet AKKAYA' ya teşekkür ederim. Özellikle, Osman Emin DOĞAN, Hasan Hakan ERDEM, Semih Burak YEŞİLYURT, Hasan KÖKSAL, Murat ŞAHİN, Hatice İBUK, Şebnem TARHAN, Vedat GÖK, Yusuf VARLIBAŞ, Erkan İLHAN ve Ali HÜR' e destek ve katkılarından ötürü teşekkür ederim. Akademik konularda sağladığı katkıdan ötürü Araş. Gör. İbrahim ÇAVUŞOĞLU' na teşekkür ederim.

Ömrüm boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, duaları ve sevgileriyle bugünlere gelmemi sağlayan annem ve babama, öğrenme ve çaba sarf etme konusunda en büyük destekçim olan kardeşlerime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

| | |
|--|-----|
| ÖZET | iii |
| SUMMARY | iv |
| TEŞEKKÜR | iv |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | x |
| FOTOĞRAFLAR DİZİNİ..... | xi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xii |
| BÖLÜM I GİRİŞ..... | 1 |
| BÖLÜM II YERALTI MADENCİLİĞİNDE MEKANİZE KAZI VE GALERİ | |
| AÇMA MAKİNELERİ | 3 |
| 2.1 Yeraltı Madenciliğinde Kazı Yöntemleri..... | 3 |
| 2.2 Yeraltı Kazı Çalışmalarında Mekanize Kazının Gelişimi..... | 4 |
| 2.3 Kazı Mekaniği..... | 5 |
| 2.3.1 Kesme teorileri | 5 |
| 2.3.1.1 Evans Kesme Teorisi | 5 |
| 2.3.1.2 Merchand-Potts-Shuttleworth Teorisi..... | 5 |
| 2.3.1.3 Nishimatsu Teorisi | 5 |
| 2.3.2 Keskilerin kayaç kesme mekanizması..... | 6 |
| 2.3.3 Spesifik enerji..... | 7 |
| 2.3.4 Kazı makinelerinde kullanılan keski tipleri..... | 7 |
| 2.3.4.1 Kama ve kalem uçlu keski..... | 7 |
| 2.3.4.2 Disk, yıldız ve kabaralı keski..... | 8 |
| 2.3.4.3 Keskilerin uygulama sınırları..... | 9 |
| 2.3.5 Keskilerde aşınmaya etki eden faktörler | 9 |
| 2.4 Yeraltı Kömür Madenciliğinde Mekanize Kazıda Kullanılan Makineler..... | 10 |
| 2.5 Kesici Yükleyici Makineler | 11 |
| 2.6 Galeri Açma Makineleri..... | 12 |
| 2.6.1 Galeri açma makinelerinin sınıflandırılması | 12 |
| 2.6.1.1 Tam kesit kazı yapan galeri açma makinesi (TBM) | 14 |
| 2.6.1.2 Kısmi kesit kazı yapan galeri açma makinesi | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 2.6.2 Kollu galeri açma makineleri | 15 |
| 2.6.2.1 Kollu galeri açma makinesinin sınıflandırılması | 16 |
| 2.6.2.2 Kollu galeri açma makinesinin yapısı | 17 |
| BÖLÜM III GALERİ AÇMA MAKİNELERİ İÇİN PERFORMANS TAHMİNİ.... | 21 |
| 3.1 Kazı Makinelerinin Performansını Etkileyen Faktörler | 21 |
| 3.1.1 Makine ile ilgili faktörler..... | 21 |
| 3.1.2 Kayaçla ilgili faktörler..... | 22 |
| 3.1.3 İşletme faktörleri | 22 |
| 3.2 Performans Tahmin Yöntemleri..... | 23 |
| 3.2.1 Kazı mekaniği deneyleri..... | 24 |
| 3.2.1.1 Tam boyutlu doğrusal kazı seti ile kesme deneyi | 25 |
| 3.2.1.2 Küçük boyutlu doğrusal kazı seti ile kesme deneyi..... | 25 |
| 3.2.2 Ampirik yaklaşımlar | 25 |
| 3.2.3 Yarı teorik performans tahmin yöntemleri | 26 |
| 3.2.4 Gerçek bir makine kullanımı | 26 |
| 3.3 Performans Tahmini Konusunda Önceki Çalışmalar..... | 26 |
| BÖLÜM IV ARAŞTIRMA VE BULGULAR..... | 30 |
| 4.1 Park Termik Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesi..... | 30 |
| 4.1.1 İşletmenin coğrafi konumu..... | 30 |
| 4.1.2 Bölgenin jeolojisi..... | 30 |
| 4.1.3 Kömür damarının özellikleri | 33 |
| 4.1.4 İşletmenin tarihçesi..... | 34 |
| 4.1.5 İşletmede madencilik faaliyetleri | 35 |
| 4.1.5.1 Hazırlık çalışmaları..... | 35 |
| 4.1.5.2 Üretim çalışmaları..... | 41 |
| 4.1.5.3 Ayak söküm-montaj çalışmaları | 44 |
| 4.2 Arazi Çalışmaları | 45 |
| 4.2.1 Kontrol merkezi verilerinin performans açısından değerlendirilmesi..... | 45 |
| 4.2.2 Numune alma çalışmaları | 46 |
| 4.3 Laboratuvar Çalışmaları..... | 47 |
| 4.3.1 Numunelerin temini ve hazırlanması..... | 47 |
| 4.3.2 Kayaçların Fiziksel Özelliklerini Belirleme Deneyleri | 49 |
| 4.3.2.1 Yoğunluk belirleme deneyleri..... | 49 |
| 4.3.2.2 Porozite ve boşluk oranı belirleme deneyleri..... | 50 |

| | |
|--|----|
| 4.3.3 Kayaçların Mekanik Özelliklerini Belirleme Deneyleri..... | 52 |
| 4.3.3.1 Brazilian (dolaylı çekme) deneyi | 52 |
| 4.3.3.2 Nokta yükü dayanım indeksi deneyi | 54 |
| 4.3.3.3 Sonik hız deneyi..... | 56 |
| 4.3.3.4 Disk makaslama dayanım indeksi deneyi | 58 |
| 4.3.4 Deney sonuçlarının karşılaştırılması | 59 |
| 4.4 Performans Tahmin Modelleri Geliştirilmesi | 61 |
| 4.4.1 Basit korelasyon analizi..... | 61 |
| 4.4.2 Basit regresyon analizi | 62 |
| 4.4.3 Çok katlı regresyon..... | 63 |
| 4.4.4 Çoklu regresyon ve korelasyon analizi..... | 63 |
| 4.4.5 GAM performans modeli geliştirmek amacıyla yapılan regresyon analizleri 64 | |
| 4.4.5.1 Basit regresyon analizi uygulamaları..... | 64 |
| 4.4.5.2 Adım adım regresyon analizi | 67 |
| BÖLÜM V SONUÇLAR..... | 72 |
| KAYNAKLAR..... | 74 |
| EKLER | 78 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Çizelge 2.1 Yıllara göre mekanize kazının gelişimi | 4 |
| Çizelge 2.2 Keskilerin uygulama sınırları | 9 |
| Çizelge 2.3 Dünyada galeri açma makinesi üreten firmalar | 13 |
| Çizelge 2.4 Kollu GAM' nın ağırlıklarına göre sınıflandırılmaları | 16 |
| Çizelge 3.1 GAM performansına etki eden makine ile ilgili faktörler | 21 |
| Çizelge 3.2 Makine performansına etki eden kayaçla ilgili faktörler | 22 |
| Çizelge 3.3 Performansı etkileyen işletme faktörleri..... | 23 |
| Çizelge 3.4 Spesifik enerjiye bağlı olarak orta ağırlıktaki galeri açma makinelerinin kazı performans değişimi | 24 |
| Çizelge 4.1 İşletmede kullanılan kollu GAM' nın teknik özellikleri | 36 |
| Çizelge 4.2 GAM ile taban yolları açılmasında performans değerleri | 37 |
| Çizelge 4.3 G ve D sektörleri hazırlık çalışmalarına ait iş-zaman etüdüleri | 46 |
| Çizelge 4.4 Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sonuçları | 51 |
| Çizelge 4.5 Dolaylı çekme dayanımı belirleme deney sonuçları..... | 53 |
| Çizelge 4.6 Nokta yükleme deneylerinde elde edilen ortalama sonuçlar | 55 |
| Çizelge 4.7 Sonik hız deneylerinde elde edilen ortalama sonuçlar | 57 |
| Çizelge 4.8 Disk makaslama deneylerinde elde edilen ortalama sonuçlar | 59 |
| Çizelge 4.9 Laboratuvar ve arazi çalışmalarında elde edilen toplu sonuçlar..... | 60 |
| Çizelge 4.10 Korelasyon katsayısına göre değişkenler arası ilişkinin kuvvet derecesi | 61 |
| Çizelge 4.11 Model 1' in çıktısı..... | 67 |
| Çizelge 4.12 Model 2'nin çıktısı..... | 68 |
| Çizelge 4.13 Model 3' ün çıktısı..... | 69 |
| Çizelge 4.14 Model 4' ün çıktısı..... | 70 |
| Çizelge 4.15 Model 5' in çıktısı..... | 70 |
| Çizelge 4.16 Geliştirilen modellerin F ve t testleri..... | 71 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1 Keskiye etkiyen kuvvetlerin bileşenleri | 6 |
| Şekil 2.2 Disk, yıldız ve kabaralı kesimler | 8 |
| Şekil 2.3 Çift tamburlu kesici yükleyici makine..... | 12 |
| Şekil 2.4 GAM' nın kazı kesimine göre sınıflandırılması | 13 |
| Şekil 2.5 Spiral ve tambur tip kesici kafalar | 17 |
| Şekil 2.6 GAM pasa yükleme ünitelerinin türleri | 19 |
| Şekil 4.1 Park Termik Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesi yer bulduru haritası..... | 30 |
| Şekil 4.2 Genelleştirilmiş stratigrafik kesit | 31 |
| Şekil 4.3 Jeolojik formasyonların kesit görünüşü..... | 32 |
| Şekil 4.4 Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesi üretim planı (01.05.2012 tarihi itibarıyla) ... | 33 |
| Şekil 4.5 Sert formasyonda kollu GAM ile kazı şekli | 37 |
| Şekil 4.6 Galeride yapılan tahkimatın şematik görünüşü | 40 |
| Şekil 4.7 G 310 taban yolunun en-kesit görünüşü | 41 |
| Şekil 4.8 B sahası ayak üretimi kesit görünüşü | 42 |
| Şekil 4.9 B sahası ayak üretimi genel görünüşü | 43 |
| Şekil 4.10 C ve G sahası ayak üretimi kesit görünüşü..... | 44 |
| Şekil 4.11 Yüksek arınlı bir ayağın söküm-montaj planı | 44 |
| Şekil 4.12 Söküm ayak iş akış şeması | 45 |
| Şekil 4.13 En küçük kareler doğrusu | 62 |
| Şekil 4.14 Net kazı hızı ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki | 64 |
| Şekil 4.15 Net kazı hızı ile nokta yük dayanım indeksi arasındaki ilişki | 64 |
| Şekil 4.16 Net kazı hızı ile P dalga hızı arasındaki ilişki | 65 |
| Şekil 4.17 Net kazı hızı ile disk makaslama dayanımı arasındaki ilişki..... | 65 |
| Şekil 4.18 Net kazı hızı ile yoğunluk arasındaki ilişki | 66 |
| Şekil 4.19 Net kazı hızı ile porozite arasındaki ilişki | 66 |

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Fotoğraf 2.1 Kalem uçlu keskiler | 8 |
| Fotoğraf 2.2 İşletmede kullanılan Eickhoff SL-500 tipi kesici yükleyici makine..... | 11 |
| Fotoğraf 2.3 Sert kayada kullanılan bir TBM modeli..... | 14 |
| Fotoğraf 2.4 Dosco Mk2B kollu galeri açma makinesi | 17 |
| Fotoğraf 4.1 Taban yolundan bir görünüm | 35 |
| Fotoğraf 4.2 Hazırlık galerilerine elektrikli monoray ile insan nakliyatı | 39 |
| Fotoğraf 4.3 Dosco Mk2B kollu GAM' nın kullanıldığı tahkimat çalışması..... | 41 |
| Fotoğraf 4.4 Streçle sarılarak isimlendirilen deney numuneleri..... | 47 |
| Fotoğraf 4.5 Karot numunelerin alınmasında kullanılan karot alma makinesi..... | 48 |
| Fotoğraf 4.6 Kullanılan karot kesme makinesi | 48 |
| Fotoğraf 4.7 Yoğunluk için numunelerin tartımı..... | 49 |
| Fotoğraf 4.8 Dijital kumpas ile ölçüm | 49 |
| Fotoğraf 4.9 Numune kurutma işleminde kullanılan etüv | 50 |
| Fotoğraf 4.10 Numunelerin suya doyurulması işlemi | 51 |
| Fotoğraf 4.11 (a) Dolaylı çekme deneyinin yapılışı | 52 |
| Fotoğraf 4.11 (b) Dolaylı çekme deneyi sırasında kırılan numuneler | 53 |
| Fotoğraf 4.12 (a) Nokta yük dayanım testinin yapıldığı deney aleti | 54 |
| Fotoğraf 4.12 (b) Nokta yük dayanım testinde kırılan numuneler | 55 |
| Fotoğraf 4.13 (a) Sonik hız deneyi uygulanan numuneler..... | 56 |
| Fotoğraf 4.13 (b) Sonik hız deneyinin uygulanışı | 57 |
| Fotoğraf 4.14 Disk makaslama deney düzeneği | 58 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|------------------|--|
| η | Toplam sistem verimliliği |
| BÇD | Brazilian çekme dayanımı (MPa) |
| BPI _c | Düzeltilmiş disk makaslama dayanım indeksi (MPa) |
| BTS | Çekme dayanımı (MPa) |
| D | Numunenin çapı (mm) |
| D _e | Eşdeğer çap (mm) |
| DMD | Disk makaslama dayanım indeksi (MPa) |
| F | Numunenin kırılma anındaki yenilme yükü (kN) |
| f | Boyut düzeltme faktörü (nokta yük deneyi) |
| F _c | Kesme kuvveti (kN) |
| F _{t,d} | Disk makaslama deneyinde numune yenilme yükü (MPa) |
| GAM | Galeri açma makinesi |
| HP | Kesici kafa motor gücü (kW) |
| I _s | Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi (MPa) |
| I _{s50} | Düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi (MPa) |
| ISRM | Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği |
| İH | İlerleme hızı (m/dak) |
| KGAM | Kollu galeri açma makinesi |
| L | Kesme uzunluğu (m) |
| L _s | Sonik hız deneyinde numunenin boyu (mm) |
| n | Porozite (%) |
| NKH | Net kazı hızı (m ³ /h) |
| P | Makine gücü (kW) |
| P _c | Kesme derinliği (m) |
| RMCI | Kaya kütle kazılabilirlik indeksi |
| RMR | Kaya kütle sınıflama sistemi |
| RQD | Kayaç kalite değeri (%) |

| | |
|-----------------|---|
| s | Keskiler arası mesafe (m) |
| S | Kazı kesiti (m ²) |
| SE | Spesifik enerji (kWh/m ³ , MJ/m ³) |
| t | Numunenin kalınlığı (mm) |
| TBM | Tunnel boring machine (tünel açma makinesi) |
| t _p | P dalgasının ölçüm yayılma zamanı (μ s) |
| UCS | Tek eksenli basınç dayanımı (MPa) |
| ÜTY | Üst taban yolu (hazırlık galerisi) |
| V | Hacim (m ³) |
| V _p | P dalga hızı (km/s) |
| W | Örnek ağırlığı (g) |
| W _d | Kuru ağırlık (g) |
| W _{ph} | Üretim miktarı (ton/h) |
| W _s | Doygun ağırlık (g) |
| γ | Birim hacim ağırlık (kN/m ³) |
| ρ | Yoğunluk (g/cm ³) |
| P _w | Suyun yoğunluğu (g/cm ³) |

BÖLÜM I

GİRİŞ

Kazı çalışmalarına yönelik faaliyetler, madencilik ve inşaat sektörlerinin en önemli işlemlerindedir. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak hem inşaat (metro, tünel, vb.) hem de madencilik (hazırlık ve üretim kazıları) sektöründe kullanılan klasik kazı yöntemlerinin yerine makine ile kazı kullanılmaya başlanmıştır. Uygun koşullarda gerçekleştirilen makine ile kazı çalışmaları birim zamandaki kazı miktarını artırarak, işlerin daha düşük maliyetlerle gerçekleştirilmesini sağlamıştır/sağlamaktadır.

Mekanize kazı, kayacı kazı makineleri ile çeşitli keskiner yardımıyla mekanik olarak kesip parçalama esasına dayanan bir kazı yöntemidir. Mevcut mekanize kazı araçlarında kullanılan ileri teknoloji sayesinde mekanik kazıcılar, çok aşındırıcı formasyonlar dışında hemen hemen tüm formasyonlarda kazı yapabilecek modellere sahiptir ve bu modellerin geliştirilmesi konusunda özellikle son 40 yılda önemli ilerlemeler sağlanmıştır [1].

Mekanize kazıda kullanılan galeri açma makineleri inşaat ve madencilik sektörlerinde yaygın kullanımı olan ekipmanlardır. Galeri açma makinesinin farklı sınıflandırma türleri bulunmaktadır. Açılan kazı kesitine göre sınıflandırma daha çok kabul görmektedir. Kollu (bomlu) galeri açma makineleri madencilikte hazırlık kazılarında yaygın kullanıma sahiptir. Kollu galeri açma makineleri;

- manevra kabiliyetlerinin yüksek olması,
- çalışma şartlarına kolay uyum sağlayabilmeleri,
- montaj-sökme ve işletme kolaylıkları,

gibi avantajlarından dolayı yeraltı kazılarında (madencilikte hazırlık kazıları) çok tercih edilmektedir.

Kollu galeri açma makineleri kazı işlemini keskiner yardımıyla gerçekleştirmektedir. Makinelerle çalışmada makinenin gücü, kesici kafa tasarımı, kayacın bazı mekanik özellikleri, işletme parametreleri gibi birçok faktör kazı verimini etkilemektedir.

Makinenin kazı performansından başka işyeri ortamında diğer yapılan çalışmalar da (tahkimat, nakliyat, vb.) galeri açma süresini ve hızını etkilemektedir.

Mekanize kazı, ilk yatırım maliyeti yüksek olan bir kazı sistemidir. Bu yüzden ekipman seçiminde çok itinalı davranılması gerekmektedir. Yanlış kazıcı seçimi düşük verimliliğe yol açabilir. Kazıcı makine seçiminin iyi yapılması performans tahmini ile ilgilidir. Performans tahmini yapabilmek için makinenin yerinde çalışması sırasında yapılan etüd ve gözlemlerin (spesifik enerji, net kazı hızı vb.) göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Yeraltından kömür üretiminin tam mekanize kazı çalışmaları ile yürütüldüğü Çayırhan Linyit İşletmesi' nde hazırlık kazılarında kullanılan Dosco Mk2B kollu galeri açma makinelerinin net kazı hızlarının yerinde yapılacak ölçüm ve gözlemlerle performanslarının belirlenmesi, kazı çalışmalarında geçilen formasyonların fiziki ve mekanik özelliklerinin laboratuvar çalışmaları ile belirlenmesi, arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak GAM' nın performanslarının tahminine yönelik model/modeller oluşturulması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesi G ve D sahalarında hazırlık çalışmalarında kullanılan Dosco Mk2B galeri açma makinelerinin performansları kazı sırasında yerinde yapılan zaman etüdüleri ile belirlenmiştir. Makine ile kazı işleminin gerçekleştirildiği kazı arınlarından blok numuneler alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Arazide yapılan performans ölçümleri ve laboratuvar deney verileri kullanılarak net kazı hızının tespitine yönelik modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller istatistiksel olarak güvenilirlikleri F ve t testleri kullanılarak test edilmiştir.

BÖLÜM II

YERALTI MADENCİLİĞİNDE MEKANİZE KAZI VE GALERİ AÇMA MAKİNELERİ

2.1 Yeraltı Madenciliğinde Kazı Yöntemleri

Kazı işleri, yeraltından maden yatağındaki değerli mineralleri koparmak amacıyla belli ekipman ve yöntemlerle yapılan çalışmalardır. Belli başlı kazı yöntemleri delme-patlatma ile kazı ve mekanize kazıdır. Geliştirilme aşamasında olan diğer kazı yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [2,3]:

- Hidromekanik kazı
- Isıtma ile kazı
- Gazlaştırma yoluyla kazı
- Ergitme yoluyla kazı
- Suda eritme yoluyla kazı
- Lazer plazma jetleri
- Kıvılcım erozyonu
- Termal kazı

Kömür madenciliği için kazı yöntemleri, kullanılan makinelere göre 4 başlık altında incelenebilir [4]:

- Elle yapılan kazı
- Yarı-mekanize kazı
- Mekanize kazı
- Tam mekanize kazı

Yarı mekanize kazı, kazı makinesi olarak potkabaç makinesinin kullanıldığı, yüklemenin elle yapıldığı ve tahkimat sisteminin çelik sarma+hidrolik direkten oluştuğu kazı türüdür. Mekanize kazı, ayak tahkimatının hidrolik direk+çelik sarmadan oluşturulduğu, kazı ve yükleme işinin makine ile yapıldığı kazı sistemidir. Tam

mekanize kazıda hem kazı hem yükleme makine ile sağlanmakta, ayak tahkimatında ise yürüyen tahkimatlar kullanılmaktadır [5].

2.2 Yeraltı Kazı Çalışmalarında Mekanize Kazının Gelişimi

Kronolojik sıralamaya göre dünyada ve ülkemizde mekanize kazının gelişimi Çizelge 2.1’ de sunulmuştur.

Çizelge 2.1 Yıllara göre mekanize kazının gelişimi

| Yıllar | Gelişme |
|--------|---|
| 1818 | Brunel Thomas Nehrinin altından tünel açmak için tahkimat görevi gören kalkan geliştirmiştir [1]. |
| 1850 | İskoçya Kömür Ocaklarında dökme demir kesici uç ve basınçlı hava beraber kullanılmıştır [1]. |
| 1865 | Diskli ve zincirli potkabaç makineleri İngiltere’ de kullanılmıştır [1]. |
| 1881 | İngiltere Folkstone’ de kaya ortamında tünel açmak için dönen iki kola ve kollar üzerinde disklere sahip makine geliştirildi [1]. |
| 1884 | Albay Beamount tarafından Manş Denizi’nin Fransız tarafında 2,14 m tam kazı cepheli tünel açma makinesi ile pilot tünel açılmıştır [1]. |
| 1900 | Elektrik enerjisi yeraltı alanlarında kullanılmaya başlanılmıştır [1]. |
| 1955 | Goodman Manufacturing Company J.S. Robbins serbest dönen keskiyle donatılan 3 adet GAM Oache Barajında kullanıldı [1]. |
| 1957 | Tunçbilek de alın mekanizasyonu (pulluk) kullanıldı |
| 1970 | Ülkemizde GAP çerçevesinde sulama tünellerinin açımı mekanize kazı ile gerçekleştirildi [1]. |
| 1977 | Ülkemizde Çayırhan’ da hazırlık çalışmalarında Galeri Açma Makinesi kullanıldı [6]. |
| 1982 | Ülkemizde Çayırhan’ da saban kullanılarak bir panodan yarı mekanize kömür üretimine başlandı [2]. |
| 1986 | Ülkemizde Çayırhan’ da tamburlu kesici yükleyici-yürüyen tahkimat kullanılarak bir panodan tam mekanize kömür üretimine başlandı [6]. |
| 2002 | Ülkemizde, Ankara Metrosu’ nda TBM’ ler kullanıldı [7]. |
| 2007 | Ülkemize, İstanbul Marmaray Projesi’ nde TBM’ ler kullanıldı [8]. |

2.3 Kazı Mekaniği

2.3.1 Kesme teorileri

Keskilere kazı sırasında etki eden kuvvetleri belirlemek amacıyla kesme teorileri geliştirilmiştir. Bunlar: Evans Kesme Teorisi, Merchand-Potts-Shuttleworth Teorisi, Nishimatsu Teorisi.

2.3.1.1 Evans Kesme Teorisi

1984 yılında İngiliz Kömür İdaresinde, Evans tarafından geliştirilen teoriye göre; kesme kayacın çekme dayanımının yenilmesiyle gerçekleşen bir olaydır.

Ayrıca keskinin konik kafası etrafında oluşan gerilmelerden dolayı keski kayaç içerisinde ilerlemeye başladığı andan itibaren kırılmaların başladığını kabul etmektedir. Daha sonra yapılan çalışmalar, kayaç ile keski arasındaki sürtünme katsayısı dikkate alınmadığında, bu teorinin kömür ve orta sert kayaçlarda gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini göstermiştir. Evans, kömür veya kayaca saplanan keskinin çekme dayanımını yenerek dairesel bir kırılma yüzeyi oluşturduğunu ifade etmiştir. [2].

2.3.1.2 Merchand-Potts-Shuttleworth Teorisi

Radyal ve ileri atımlı keskilerle ilgili ilk teori Merchand (1945) tarafından geliştirilmiştir. Bu teori metallerin kesme teorisi esasına dayanmaktadır. Potts ve Shuttleworth (1959) bu teoriyi kömür kesme için değiştirmişlerdir. Roxborough ve Rispin (1973) ise bu yaklaşımın, tebeşir taşı gibi su aldığında plastik özellik gösteren kayaçlarda daha doğru sonuçlar verdiğini iddia etmişlerdir [2].

2.3.1.3 Nishimatsu Teorisi

Nishimatsu (1972) Mohr kırılma prensibini göz önüne alarak Merchand (1945) metal kesme teorisine benzer bir teori geliştirmiştir. Bu teori, kazı sırasında kopan parçaların oluşmasında kayacın kesme dayanımının etkin olduğunu belirtmektedir. Ayrıca bu teori sert kayaçlarda daha iyi sonuçlar vermektedir [2].

2.3.2 Keskinlerin kayaç kesme mekanizması

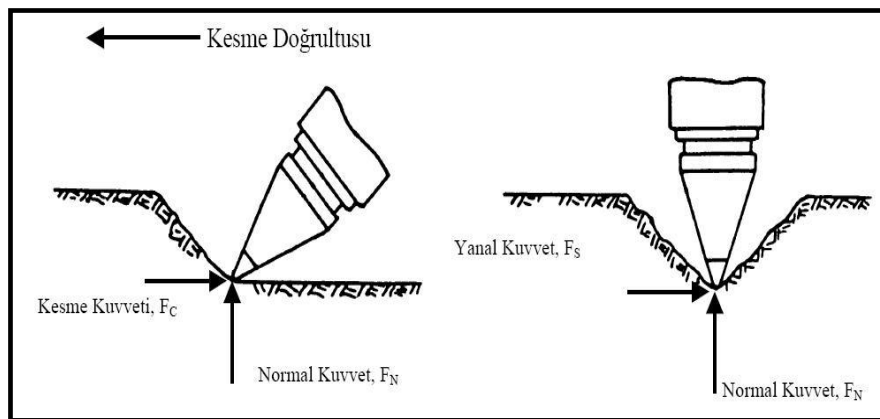
Mekanize kazı sistemlerinde kazı işlemi makine tarafından sağlanan itme ve dönme kuvvetlerinin keskinler tarafından kayaca iletilmesi ile sağlanmaktadır. Keskinin kayaç içerisinde hareketini açıklamak için Hurt tarafından ortaya atılan hipoteze göre, keskinin kayaçta ilerlemesi iki aşamada gerçekleşmektedir:

- Önce keskinin ucundaki kayaç kırılmaya başlar. Oluşan çatlaklar keskinin iki yanından ve önünden parçaların kopmasını sağlar.
- İkinci aşama ise, kesilen parçaların temizlenmesidir. Bu şekilde açılan kanalın yan yüzeyleri bir eğime sahip olup bu açıya kırılma açısı adı verilir [9].

Genel prensip bu şekilde olmasına karşın, farklı keski türleri için kesme teorisi ile ilgili farklı görüşler mevcuttur. Bir keski, kesme yaparken üç kuvvet bileşeninin etkisine uğramaktadır. Bunlar:

- Kesme doğrultusuna etkiyen kesme kuvveti (F_C),
- Kesme doğrultusuna dik yönde etkiyen normal kuvvet (F_N),
- F_C ve F_N ' in bulunduğu düzleme dik olarak etkiyen yan kuvvet (F_S)

dir. Yanal kuvvet (F_S) genellikle küçüktür. Küçük keski aralığı/kesme derinliği oranlarında yanal kuvvet keskiyi yana doğru itecek şekilde gelişir. Normal kuvvet keskiyi istenilen derinlikte tutmak için gerekli itme kuvvetine karşılık gelmektedir [10]. Keski kuvvet bileşenleri Şekil 2.1' de sunulmuştur.



Şekil 2.1 Keskiye etkiyen kuvvetin bileşenleri [10]

2.3.3 Spesifik enerji

Kesme verimliliğinin belirlenmesinde önemli ölçütlerden bir tanesi de spesifik enerjidir. Spesifik enerji ile makine performansı tahmini yapılabilmektedir. Spesifik enerji birim hacim kayacı kesmek için gerekli olan enerji miktarıdır. Spesifik enerji ortalama kesme kuvvetinden elde edilen kayacın miktarına bağlıdır ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır [9].

$$S.E. = F_c \cdot \frac{L}{V} = \frac{F_c}{s \cdot P_c} \quad (2.1)$$

Burada,

F_c =Kesme kuvveti, kN

L =Kesme uzunluğu, m

V =Kesilen kayacın hacmi, m^3

s =Keskiler arası mesafe, m

P_c =Kesme derinliği, m

SE =Spesifik enerji, kWh/m^3 veya Mj/m^3

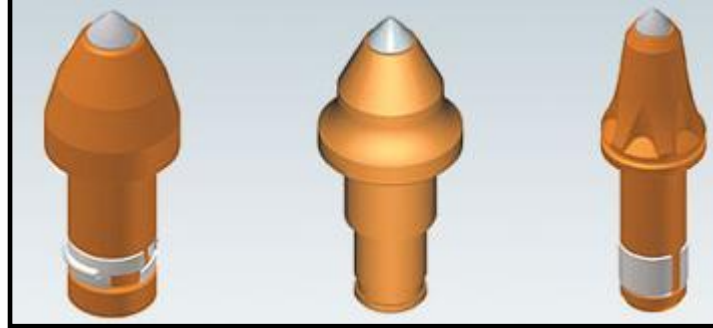
2.3.4 Kazı makinelerinde kullanılan keski türleri

2.3.4.1 Kama ve kalem uçlu keski

Tungsten karbit ve kobaltdan yapılan bu keski türleri ucuz olduklarından ve bazı şartlarda verimli kazı yaptıklarından dolayı tercih edilmektedirler. Bu keski türleri genellikle kömürün ve yumuşak formasyonların kesiminde kullanılmaktadırlar (Fotoğraf 2.1). Kama uçlu keski türleri yumuşak formasyonlar için, kalem uçlu keski türleri sert ve aşındırıcı formasyonlar için uygundur.

Radyal tipli kama keski türlerinin diğer keski türlerine kıyasla verimleri düşüktür. Ayrıca körlendikçe avantajları azalır. Çoğu zaman radyal keski türleri yerine kalem uçlu keski türleri tercih edilirler. Çünkü kalem uçlu keski türleri kendi kendilerini bileyebilme özelliklerine sahiptirler. Böylece hem daha az körlenirler hem de ömürleri daha uzun olmaktadır. Bu

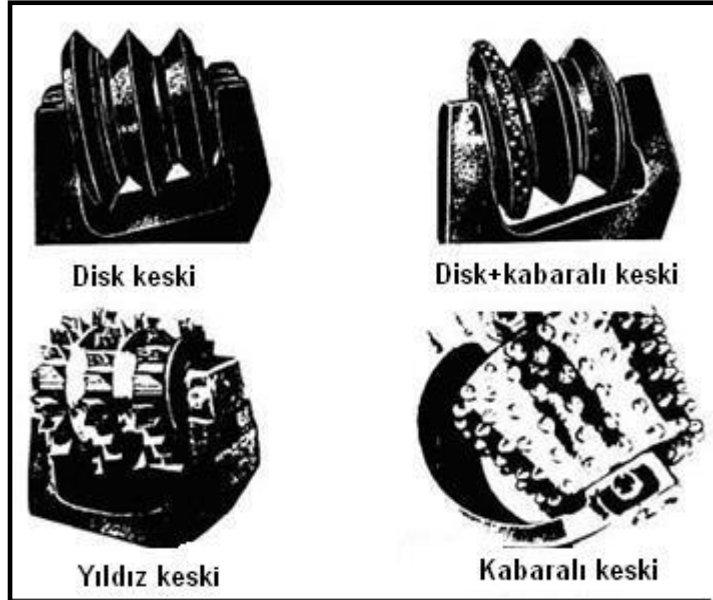
tür keskiiler genellikle, kesici-yükleyicilerde, kömür sabanlarında ve kollu galeri açma makinelerinde kullanılmaktadır [2]. Ayrıca, kama ve kalem uçlu keskiiler, kırılmamaları için kesici kafa üzerinde öne eğimli şekilde dizayn edilmektedirler.



Fotoğraf 2.1 Kalem uçlu keskiiler [11]

2.3.4.2 Disk, yıldız ve kabaralı keskiiler

Disk, yıldız ve kabaralı keskiiler Şekil 2.2’ de görülmektedir. Disk keski, ucu sivriltilmiş serbest dönen bir disk şeklindedir. Kayaca batmaları için yüksek bir dikey kuvvete ihtiyaç gösterirler. Aşınmaları çok azdır ve kayacı öğütmek yerine keserek kazı yaptıkları için daha verimlidirler. Daha çok TBM’ lerde kullanılırlar.



Şekil 2.2 Disk, yıldız ve kabaralı keskiiler [3]

Yıldız keskiler, ilk olarak petrol sondaj matkaplarında kullanılmıştır. Bazı tünel açma makinelerinde de uygulama alanı bulmuşlardır.

Kabaralı keskiler, bir diske veya tambura serpiştirilmiş kabaralar şeklindedir. Genellikle çok sert formasyonların kazısı için kullanılır. Kabaralı keskiler kayacı kesmeden çok kayacı öğüterek kazı işlemini gerçekleştirirler [2].

2.3.4.3 Keskilerin uygulama sınırları

Diğer faktörler de etkili olmasına karşın kazılacak formasyonun basınç dayanımı keskinin kullanımında önemli faktörlerden biridir. Keskilerin uygulama sınırları, basınç dayanımına bağlı olarak Bilgin [3] tarafından sınıflandırılmıştır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 Keskilerin uygulama sınırları [3]

| Formasyon | Basınç Dayanımı (MPa) | Tipik Kayaç | Keski Tipleri | | | |
|-----------|-----------------------|----------------------|--------------------------|--------------|------------|----------------|
| Yumuşak | <50 | Şeyl, Kömür, Kumtaşı | Kama ve Kalem Uçlu Keski | Yıldız Keski | | |
| Orta Sert | 50-100 | Kireçtaşı, Gnays | | | Disk Keski | Kabaralı Keski |
| Sert | 100-200 | Granit, Kuvarsit | | | | |
| Çok sert | >200 | Hornblent | | | | |

2.3.5 Keskilerde aşınmaya etki eden faktörler

Kazı verimliliği açısından keski aşınmaları oldukça önemli bir konudur. Keskiler aşınınca kesme derinlikleri azalacak dolayısıyla keski kuvvetleri ve harcanan enerji artacaktır. Bu nedenle kayaç türüne uygun keski seçimi kazı verimliliği açısından önem taşımaktadır [2].

Keskilerde birkaç çeşit aşınma mekanizması görülebilir: Sürtünme, sıcaklık, darbe ve titreşim aşınması gibi. Daha çok aşınma sürtünmesi görülmesine karşın değişik tipte aşınma sürtünmeleri ile de karşılaşılabilir [12].

Tunçdemir [12] tarafından belirtilen keskinde aşınmaya etki eden temel etkenler şunlardır:

- Tungsten karbürün bileşimi
- Keski geometrisi
- Kazı hızı
- Kazı şartları ve işletme faktörleri
- Kazılan kayacın özellikleri
- Diğer faktörler

Kazı şartları ve işletme faktörleri, kesme hızı, kesme derinliği, kesme uzunluğu ve uçların soğutulması gibi faktörlerden oluşmaktadır.

Diğer faktörler ise; kesici kafa üzerindeki uçların dizaynı ve operatörün tecrübesi gibi faktörlerden oluşmaktadır.

2.4 Yeraltı Kömür Madenciliğinde Mekanize Kazıda Kullanılan Makineler

Mekanize kazıda kullanılan kazı makineleri;

- potkabaç makineleri,
- saban,
- kesici-yükleyici makine,
- galeri açma makineleri,
- sürekli kazıcılar

dır. Günümüzde daha çok tam mekanize kazı tercih edildiğinden dolayı potkabaç makineleri tercih edilmemektedir. Saban ise ince damar kazısında kullanılabilir.

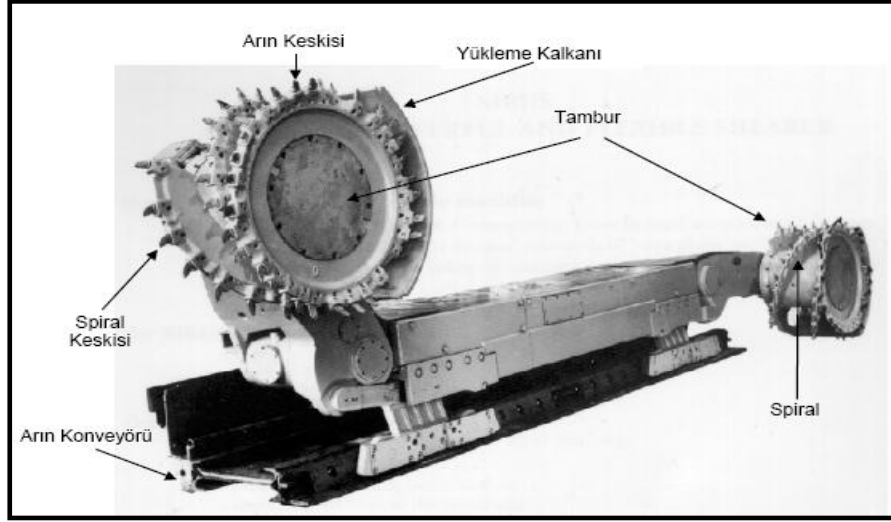
Tam mekanize kazı yapılan bir yeraltı kömür işletmesinde, ayak üretim kazısında kesici yükleyici makine, hazırlık çalışmalarının gerçekleştirilmesinde ise kollu galeri açma makineleri kullanılmaktadır.

2.5 Kesici Yükleyici Makineler

Tamburlu kesici-yükleyici makineler, üzerlerinde bulunan tamburlar ile kazı yapan ve sonra, aynı tamburlar ile kazılmış malzemeyi zincirli konveyörlere yükleyen makinelerdir. Arından kestiği kömürü zincirli bir konveyöre yüklemesi nedeniyle bu tip makinelere “kesici-yükleyici” kazı makineleri adı verilmiştir [2]. Bu makineler, üzerlerinde taşıdıkları tambur sayılarına göre tek tamburlu ya da çift tamburlu kazı makineleri olarak adlandırılmaktadırlar. Bu makineler tambur kolunun hareketine göre sınıflanacak olursa “sabit tamburlu” ve “hareketli tamburlu” kesici-yükleyiciler olarak sınıflanabilir. Kazı yönüne göre sınıflanırsa, tek veya çift yönlü kazıcı makineler olarak ayırmak mümkündür. Günümüzde bu makineler üzerindeki gelişmeler genelde, L tipi çift tamburlu, çift yönlü kazı yapabilen tamburlu kesici yükleyici makineler yönünde olmaktadır [2]. Çift tamburlu kesici yükleyici makinenin şematik gösterimi Şekil 2.3’ de sunulmuştur. Çayırhan Linyit İşletmesinde G sahasında kullanılan Eichkoff SL-500 kesici yükleyici makine Fotoğraf 2.2’ de sunulmuştur.



Fotoğraf 2.2 İşletmede kullanılan Eickhoff SL-500 tipi kesici yükleyici makine [13]



Şekil 2.3 Çift tamburlu kesici yükleyici makine [14]

2.6 Galeri Açma Makineleri

2.6.1 Galeri açma makinelerinin sınıflandırılması

Galeri açma makineleri değişik kıstaslara göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır.

Bunlar:

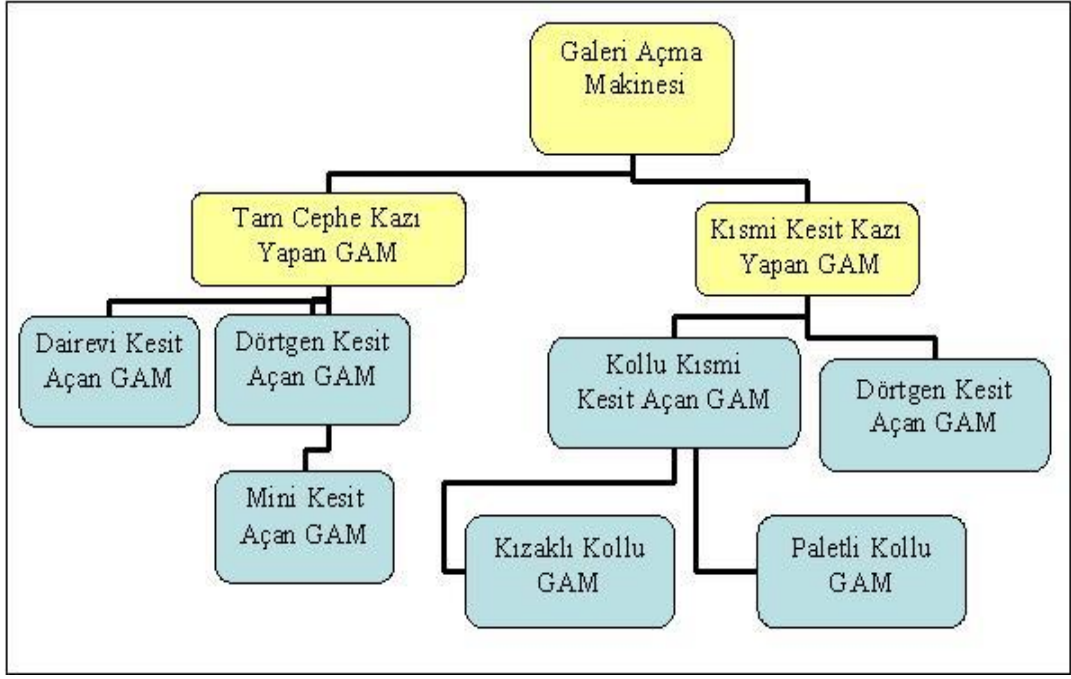
- i. Makinelerin kazı yaptığı kayacın sertliğine göre
- ii. Makinelerin açtığı kesitin şekline ve bu kesiti açış durumlarına bağlı olarak yapılan sınıflandırmalardır.

Makinenin kazı yaptığı kayacın sertliğine göre;

- i. Sert kayaç kazısı yapabilen galeri açma makineleri
- ii. Yumuşak kayaç kazısı yapabilen galeri açma makineleri

olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir. Fakat, makine ile kazı performansı keski türü, kesici kafa dizaynı ve kayacın yapısal özelliklerine bağlı olarak değişebildiğinden dolayı bu sınıflandırma çok kabul görmemektedir. Makinelerin açtığı kesitin şekline ve bu kesiti açış durumlarına bağlı olarak galeri açma makinelerinin sınıflandırılması Şekil 2.4' de görülmektedir.

Bu makinelerden günümüzde en yaygın olarak kullanılan tipleri, galeri açma makinesi ve tamburlu kesici yükleyicilerdir. Bilim [2], Keleş [15] ve Çopur [16]' da belirtilen ve eklentilerle güncel halde dünyada galeri açma makinesi üreten firmalar genel olarak Çizelge 2.3' de sunulmuştur.



Şekil 2.4 GAM' nın kazı kesitine göre sınıflandırılması [13]

Çizelge 2.3 Dünyada galeri açma makinesi üreten firmalar

| Tam Cephe Kazı Makinesi (TBM) | Kollu Galer Açma Makinesi (KGAM) | |
|--|---|---|
| Robbins (A.B.D.) | Joy (A.B.D.) | Paurat (Almanya) |
| Mitsubishi (Japonya) | DBT (Almanya) | Mindev (İngiltere) |
| Komatsu (Japonya) | Eickhoff (Almanya) | IBS (Almanya) |
| Lovat (Kanada)Ankara Metro | Anderson Strathclyde Plc. (İskoçya) | Mitsui Mieke (Japonya) |
| Kawasaki | Sandvik (İsveç) | Aker Wirth (Almanya) |
| Dosco (İngiltere) | Dosco (İngiltere) | IB-A (Almanya) |
| Atlas Copco | Marietta (A.B.D.) | Jimasu (Çin) |
| Herrenknecht (Almanya)(İzmir Metro) | Edeco (İngiltere) | Costruzione Machine Marconi (İtalya) |
| Voest-Alpine Bergtechnik(Avusturya) | Voest-Alpine Bergtechnik (Avusturya) | Westfalia (Almanya) |
| A. E. Yates Microtunnelling Ltd (İngiltere) | Machine Export (Rusya) | Mannesman-Demag (Almanya) |

2.6.1.1 Tam kesit kazı yapan galeri açma makinesi (TBM)

Tam kesit galeri açma makineleri prensip olarak bütün aynayı kesikleri ile kavrayıp aynı anda kazı yapmaktadırlar. Bu esnada bütün makine veya onun ileri doğru kayabilen kafası devamlı olarak öne doğru hareket halindedir [5].

Tam cephe kazı yapan makineler, galeri kesitini tamamen kapladıkları için kazılan cepheye yaklaşmak, bu arada kesiklerin değiştirilmesi, vb. işler zorlaşmıştır. Ayrıca tahkimat işlemi ancak makine arkasından gerçekleştirilebilmektedir. Tam cephe kazı makinelerinde toz ile mücadele daha kolay olmaktadır. Kazı cephesinin makine çevresine çekilen bir perde ile ayrılabilmesi ve meydana gelen bu kapalı odadan tozun kolayca galeri içerisine emilebilmesi gibi nedenlerle tam kesit kazı yapan makinelerde toz ile mücadele etmek daha kolay olmaktadır [13].

Bu makinelerin ilk yatırım maliyetleri yüksek olduğu için kısa galerin açılmasında çok fazla tercih edilmezler. Yumuşak kayalardan sert kayalara kadar geniş bir kullanım aralığına sahip olan bu makineler daha çok metro, uzun tünellerin açımı gibi işlerde kullanılmaktadır (Fotoğraf 2.3).



Fotoğraf 2.3 Sert kayada kullanılan bir TBM modeli [7]

Tam kesit galeri açma makineleri açtıkları kesitlere göre;

- Dairesel kesit açan tam kesit galeri açma makineleri
- Dörtgen kesit açan tam kesit galeri açma makineleri
- Mini kesit açan tam kesit galeri açma makineleri

olmak üzere 3 sınıfta incelenebilir.

Dairesel kesit açan tam kesit makinelerinin ön kısmında disk şeklinde büyük bir döner kafa bulunmaktadır. Keski bu disk üzerindedir ve diskin çapı, sürülmesi arzu edilen galeri çapıyla belirlenmektedir. Tam kesit makineler aynı zamanda “yumuşak taş” ve “sert taş” makineleri diye iki grupta sınıflandırılmaktadırlar [5].

Mini kesit açan tam cephe galeri açma makineleri, daha küçük kesitli tam kesit galeri açma makineleridir. Kesici kafa bir disk şeklindedir. Disk aşağıdan yukarı tarar ve yukarıda durur. Kazılan pasa kesici kafa yardımı ile makinenin ortasına yerleştirilmiş zincirli oluğa yüklenir. Zincirli oluk makine gerisindeki diğer bir nakliyat aracına pasayı nakleder. Makinenin ilerlemesi 4 adet hidrolik silindir ile sağlanmaktadır [4].

2.6.1.2 Kısmi kesit kazı yapan galeri açma makinesi

Kısmi kesit kazı yapan GAM' nın en belirgin özellikleri, kazı esnasında bizzat makinenin hareketsiz kalışı ve galeri kesitinin, kesme kafasının hareketi vasıtasıyla kısım kısım kazılmasıdır. Bu makineler dörtgen kesit açan makineler, tarama makineleri ve kollu galeri açma makineleridir [5].

2.6.2 Kollu galeri açma makinesi

Kesme kafaları hareketli bir kol üzerinde olan bu makineler, kollu galeri açma makineleri, galeri açma makineleri, kısmi cepheli galeri açma makineleri, bomlu galeri açma makineleri ve seçimli kazı makineleri gibi adlarda anılmaktadır.

Kollu galeri açma makineleri,

- İstenilen kesit şeklini kolayca teşkil edebilmeleri,
- Asgari ve azami sınırlar içinde her türlü kesiti açabilmeleri,
- Kolun serbest hareket edebilme imkanı,
- Kesme kafasının aynada kazıya en uygun yerden başlayabilmesi
- Tahkimatın makine önünde yapılabilmesi ve kolun tahkimatta kullanımı,
- Formasyona göre keski değiştirilerek kazının etkinliğinin artırılabilmesi

gibi avantajlara sahiptir. Dairesel kesiti düzgün bir şekilde açamamaları, sert kayalar kesilirken makinede meydana gelen titreşim ve kazı sırasında oluşan toz miktarının fazlalığı kollu makinelerin dezavantajlarından [13].

2.6.2.1 Kollu galeri açma makinelerinin sınıflandırılması

Fausser [5], Bilim [2], Tunçdemir [12] ve Keleş [15]' in çalışmaları incelendiğinde kollu galeri açma makineleri, makine ağırlığına göre ve kesici kafa tiplerine göre sınıflandırıldığı görülmektedir.

Makine ağırlığına göre sınıflandırma makinenin fiyatı, boyutu ve uygulama alanı hakkında fikir verdiğinden en çok kullanılan sınıflandırma sistemidir. Ağırlığına göre sınıflandırma Çizelge 2.4' de sunulmuştur [12].

Çizelge 2.4 Kollu GAM' nın ağırlıklarına göre sınıflandırılmaları

| Sınıf | Ağırlık (ton) | |
|-------|---------------|-------|
| 0 | 20 | Hafif |
| 1 | 20-30 | |
| 2 | 30-50 | Orta |
| 3 | 50-75 | |
| 4 | 75+ | Ağır |

Diğer sınıflandırma, kesici kafaların bom eksenine göre dönüş yönleri temel alınarak yapılan sınıflandırma türüdür. Bunlar;

- Spiral tip (Arına paralel)
- Tambur tip (Arına dik)

olmak üzere iki tiptir.

Arına paralel tip kesici kafalar, dönme eksenini bom eksenine paralel olan ve bom ucunda 2 adet kesici kafa bulunan makinelerdir. Arına dik kazı yapabilen kesici kafalarda, dönme eksenini bom eksenine dik olan bir adet kesici kafa bulunmaktadır. Arına dik ve paralel kazı yapabilen kesici kafa türleri Şekil 2.5' de sunulmuştur.



Şekil 2.5 Spiral ve tambur tip kesici kafalar [12, 17]

2.6.2.2. Kollu galeri açma makinesinin yapısı

Kollu galeri açma makinelerine örnek olarak Dosco Mk2B kollu galeri açma makinesi Fotoğraf 2.4’ de verilmiştir. Kollu galeri açma makineleri temel olarak 7 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar:

- Kol (Boom) ve kesici kafa
- Malzeme yükleme ünitesi (Besleyici tabla ve toplayıcılar)
- Yürüyüş ünitesi
- Toz bastırma sistemi
- Malzeme aktarma ünitesi (zincirli ve köprü konveyör)
- Hidrolik ve elektriksel aksamlar



Fotoğraf 2.4 Dosco Mk2B kollu galeri açma makinesi[17]

- **Kol ve kesici kafa**

Kol, ucunda kesici kafayı ve kesici kafanın tahrik ünitesini taşıyan gövdedir. Yürüyüş ünitesi üzerindeki ana gövdede bulunan bir platforma bağlanan kol gövdesi, gövde üzerine sabitlendirilmiş olan hidrolik silindirlere aşağı-yukarı ve sağa-sola hareket edebilmektedir. Kol gövdesi içinde kesici kafayı tahrik eden elektrik motoru bulunur. Elektrik motorundan elde edilen güç bir dişli kutusuna, oradan bir mil vasıtasıyla kesici kafaya iletilir [18].

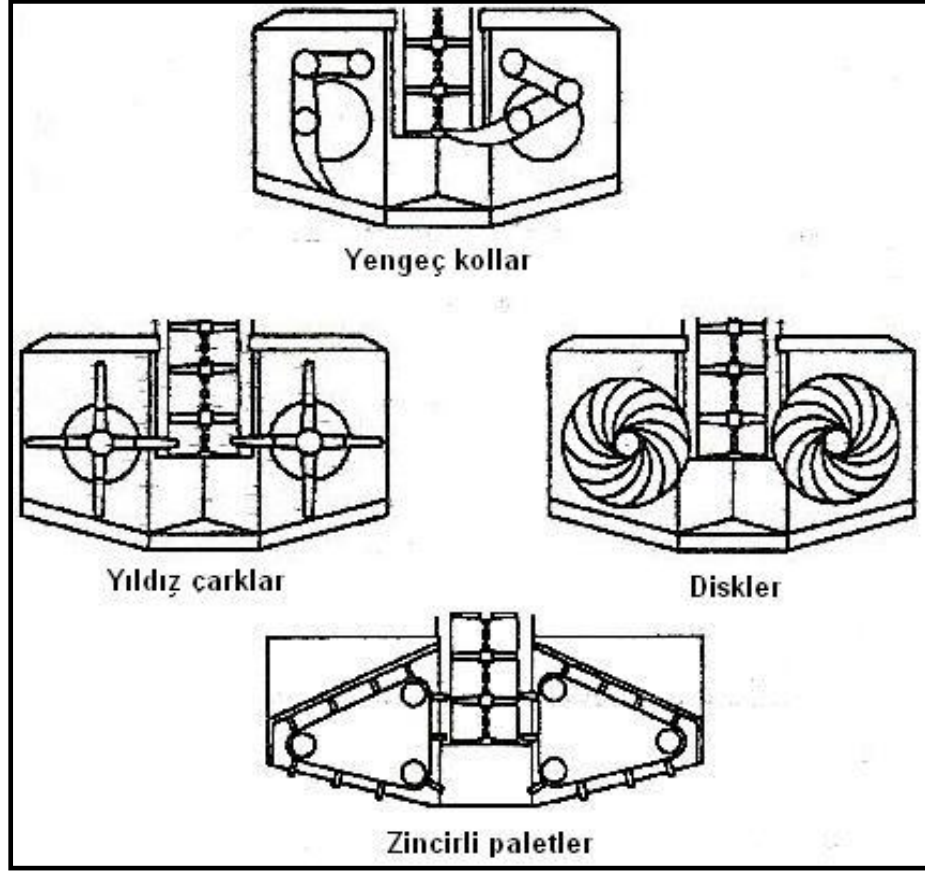
Kol gövdesi, kesici kafanın hareketini ve bu hareketten doğan kuvvetleri karşılayan bölümdür. Kol elemanlarının yerleşim düzeni, makinenin yumuşak veya sert kayaç uygulamasına göre değişmektedir. Yumuşak kayaç uygulaması için dizayn edilen kol gövdesinde bütün üniteler birbiri ile temas halindedir. Bu nedenle, kazı sırasında oluşan kuvvetler makine gövdesine aktarılırken, kol üniteleri ve elektrik motoru bu yüklerin dolaysız etkisi altındadır. Bu tip kol üniteleri ucuzdur ve yumuşak kayaçlar için uygundur. Orta sertlikteki kayaçların kazısında titreşim fazla ve uç sarfiyatı normalin üzerindedir [4].

- **Malzeme yükleme ünitesi**

Makinenin en ön kısmında bulunur. Tek bir parçadan oluşabildiği gibi galerilerde yükleme kapasitesini artırmak için yan taraflara bağlanan ek parçalarla genişlikleri artırılabilir. Malzeme yükleme ünitesi tabla ve toplayıcı elemanlardan oluşmaktadır. Toplayıcı elemanlar 4 farklı türde bulunmaktadır. Bunlar:

- Yengeç kollar
- Yıldız çarklar
- Diskler
- Zincirli paletler

Yengeç kollar iri malzeme için, yıldız çarklar ve diskler ince malzeme için, zincirli paletler ise; iri ve ince malzeme için kullanılabilir. Toplayıcı elemanlar Şekil 2.6' da sunulmuştur.



Şekil 2.6 GAM pasa yükleme ünitelerinin türleri [13]

- **Yürüyüş ünitesi**

Kollu galeri açma makineleri, paletli ve kızaklı olmak üzere iki farklı yürüyüş dizaynına sahiptir. Kızaklı kollu galeri açma makineleri, paletlilere göre daha yüksek eğimlerde çalışabilse de uygulamada sıklıkla paletli kollu galeri açma makineleri tercih edilmektedir.

- **Toz bastırma ünitesi**

Kollu galeri açma makinesinin kullanıldığı kazılarda kazı sırasında arına su püskürtülerek hem keski aşınmaları azaltılmakta, hem de toz oluşumu engellenmeye çalışılmaktadır. Bunun yanında kollu galeri açma makineleri ile beraber özel toz bastırma ekipmanları kullanılmaktadır. Kullanılan toz bastırma ekipmanları yağ tip ve kuru tip olmak üzere iki çeşittir.

Kuru tip toz bastırıcılarda, emilen tozlu hava kuru tip filtrelerden geçirilir. Toplanan toz torbalarla sistemden uzaklaştırılır. Filtre olarak poliamid esaslı malzemeler kullanılır ve filtreler periyodik olarak basınçlı hava yardımıyla temizlenir. Verimleri daha yüksek, motor güçleri daha düşük olmakla birlikte büyük boyuta sahiptirler [19].

Yaş tip toz bastırıcılarda, emilen tozlu hava içerisine basınçlı su püskürtülür ve havadaki toz partikülleri su zerrecikleri tarafından ıslatılarak çöktürülür. Mekanize galeri sürme işlerinde sadece su zerrecikleri ile toz bastırma yetersiz kalır. Bu nedenle ince metal tellerden örülerek yapılan filtreler geliştirilmiştir. Su jetleri vasıtasıyla sürekli su püskürtülen bu filtreye gelen toz partikülleri, su zerrecikleri tarafından yakalanarak filtrenin tabanına, buradan da su tankına gelir. Tanktaki su tekrar sisteme pompalanır. Dibe çöken çamur periyodik olarak tanktan boşaltılır [19].

- **Malzeme aktarma ünitesi**

Malzeme aktarma ünitesi; zincirli konveyör ve köprü bandından oluşmaktadır. Pasa yükleme ünitesi ile yüklenen kazı malzemesinin arından nakliyat sistemine aktarılarak uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.

Köprü konveyörün konumu ana taşıyıcı sisteme bağlıdır. Eğer arın gerisindeki ana taşıyıcı bir bant konveyör ise köprü konveyör bu bantlı taşıyıcı üzerinde hareket edecek şekilde dizayn edilir. Bu durumda ya tavanda bulunan bir monoraya ya da ana taşıyıcı üzerindeki bir platform üzerinde kayacak şekilde yerleştirilir [18].

- **Hidrolik ve Elektriksel Üniteler**

Kesici kafa elektrik gücü (alternatif akım motoru) ile, bom ise hidrolik güçle tahrik edilmektedir. Makinedeki gücün büyük bir kısmı kesme (kazı) işine harcandığından kesici kafanın motor gücü en büyük olarak seçilir. Yükleme ve aktarma üniteleri hidrolik yada elektriksel tahriklidir [18].

BÖLÜM III

GALERİ AÇMA MAKİNELERİ İÇİN PERFORMANS TAHMİNİ

Kazı işlemini verimli ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirebilmek için ilk koşul uygun makine seçiminin iyi yapılabilmesidir. Bunu gerçekleştirebilmek için öncelikle kazı performansına etki eden faktörler belirlenmelidir.

Kazı performansının tahmini; kazının teknik, ekonomik olarak uygulanabilirliğinin ve kazı hızlarının önceden kestirimi olarak tanımlanır ve kazı işlerinin ekonomikliğini hayati derecede etkilemektedir [20].

3.1 Kazı Performansını Etkileyen Faktörler

Kollu galeri açma makineleri ile kazı esnasında makineye birçok faktör etki etmekle beraber bu faktörler;

- Makine ile ilgili faktörler,
- Kayaçla ilgili faktörler
- İşletme faktörleri

olmak üzere üç ana başlıkta incelenebilir [21].

3.1.1 Makine İle İlgili Faktörler

Galeri açma makinelerinin performansına etki eden makine ile ilgili faktörler Çizelge 3.1’ de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 GAM performansına etki eden makine ile ilgili faktörler

| | |
|-------------------------|---------------------------------|
| Makine Özellikleri | Makinenin tipi |
| | Makinenin ağırlığı ve boyutları |
| | Pasa toplama ve taşıma hacmi |
| | Makinenin yaşı |
| | Makinenin kurulu toplam gücü |
| Kesici Kafa Özellikleri | Kesici kafanın tipi ve boyutu |
| | Kesici kafanın gücü |
| | Keskilerin dağılımı ve sayısı |
| | Keski tipi ve özellikleri |

3.1.2 Kayaçla İlgili Faktörler

Kayaçların tek eksenli basma ve çekme dayanımlarının makine performansı üzerinde önemli etkileri vardır. Bununla birlikte, kaya malzemesi ve kaya kütlelerinin birçok özelliği de makine performansını etkilemektedir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Makine performansına etki eden kayaçla ilgili faktörler [1]

| | |
|---|---|
| Kaya kütle özellikleri | Kaya kalite değeri (RQD) |
| | Kaya kütle sınıflama sistemi (RMR) |
| | Jeolojik süreksizlikler |
| | Hidrojeolojik durum |
| Kayacın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri | Kaya kesme parametreleri (Spesifik enerji, kesme kuvvetleri) |
| | Dayanım özellikleri (Basınç ve çekme dayanımı, Kohezyon, elastik değer) |
| | Yüzey sertliği (Shore ve Schmidt çekici değeri) |
| | Kaya dokusu (Porozite, kuvars içeriği, mikro çatlaklar, tane boyutu) |
| | Aşındırıcılığı (Cerchar değeri) |
| | Sismik özellikler (P ve S Dalgası) |
| | Diğer özellikler (Yoğunluk, nem oranı) |

3.1.3 İşletme Faktörleri

Galerilerde yapılan tahkimat çalışması, kazılan malzemenin nakliyat seçenekleri, kullanılan yardımcı ekipmanlar, kazı çalışmalarında görevli ekip, vardiya düzeni, galeri eğimi, su geliri gibi birçok faktör de GAM performansına etki etmektedir. Galeri açma makinelerinin performansına etki eden işletme ile ilgili faktörler Çizelge 3.3' de sunulmuştur.

Çizelge 3.3 Performansı etkileyen işletme faktörleri [22]

| | | | | |
|------------------------------|--------------------|--------------------------------|--|--|
| Tahkimat | Tipi, miktarı | | | |
| | Bağ atım şekli | | | |
| | Mekanizasyon | | | |
| | Diğer | Çimentolama Kamalama | | |
| Kazılan Malzemenin Nakliyatı | Arında | Makine önünde | | |
| | | Makine çevresinde | | |
| | | İkincil kırma | | |
| | Arın Gerisinde | Konveyör | | |
| | | Kamyon Vagon | | |
| Yardımcı Ekipmanlar | Havalandırma | | | |
| | Toz Bastırma | Su/pompa Vantüp, Vantilatör | | |
| | | Hat ve Kablo Uzatımı | Enerji kablosu Haberleşme kablosu Konveyör (Nakliyat) Ray | |
| | İşçilik | | Bulunabilirlik | |
| | | | Deneyim, yetenek | |
| | | | Arına Ulaşım | Arına uzaklık, ulaşım süresi Ulaşım yöntemi |
| Organizasyon | Yönetim | Prim sistemi İletişim | | |
| | | Vardiya | Toplam süre Verimli süre | |
| | Son Kullanım | | Mühendislik Toleransı | Galeri eğimi Galeri istikameti |
| | | İş Önceliği | Kazının ortamdaki diğer işlerle ilişkisi | |
| Su | Su atımı ve drenaj | | | |

3.2 Performans Tahmin Yöntemleri

Herhangi bir formasyonu kazmak için kullanılacak bir mekanik kazıcının performans tahmini kazının ekonomikliğinin belirlenmesinde ana faktörlerden birisidir. Makinenin kazı ortamında performansının belirlenmesinde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için kestirim birkaç metot uygulanarak yapılmalıdır.

Performans tahmininde kullanılan metotlar:

- kazı mekaniği (kesme) deneyleri
- ampirik yaklaşımlar
- yarı teorik yaklaşımlar
- arazide gerçek bir makine kullanımı

Bilim [2], yaptığı çalışmada literatürde 23 adet makaleyi analiz ederek araştırmacıların mekanik kazıcıların performans tahmininde kullandığı parametrelerin sıklıklarını belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada kazıcı makine performans tahmininde en fazla kullanılan parametre yaklaşık % 85 ile kafa geometrisi olduğu tespitini yapmıştır. Bunu yaklaşık % 74 ile keski dizaynı, yaklaşık % 68 ile spesifik enerji, yaklaşık % 57 ile tek eksenli basma dayanımı ve RQD parametreleri takip etmektedir.

3.2.1 Kazı mekaniği deneyleri

Kazı performans tahmininde en çok üzerinde tartışılan ve kabul gören kavram birim hacim kayacı kesmek için gerekli olan enerji, spesifik enerjidir. Spesifik enerji kazı mekaniği deneylerinden ve arazide galeri açma makinesinin kazı sırasındaki hızı ve bu sırada çektiği akım değerlerinden elde edilmektedir.

Elde edilen spesifik enerji değerlerinden galeri açma makinelerinin uygulanabilirlikleri (performansları) yorumları yapılabilir. Çizelge 3.4’ de orta ağırlıktaki galeri açma makinelerinin performans yorumları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Kazı mekaniği deneyleri, tam boyutlu kesme deneyleri ve küçük boyutlu kesme deneyleri (karot kesme) olarak iki şekilde gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 3.4 Spesifik enerjiye bağlı olarak orta ağırlıktaki galeri açma makinelerinin kazı performanslarının değişimi [23]

| Spesifik Enerji (MJ/m ³) | Orta Ağırlıktaki Kısmi Cepheli Galeri Açma Makinelerinin Uygulanabilirlikleri |
|--------------------------------------|---|
| 20 | Makine verimli çalışmaz, ancak bu özelliği gösteren kayaç arında 0,3 m ³ den ince bantlar halinde ise ekonomik ilerleme beklenebilir. Aşırı titreşimden dolayı makinenin bazı parçaları çok çabuk bozulur. |
| 15 | Kesme verimi düşüktür. Saatte 5m ³ kazı yapılabilir. Keski uçları sık sık kırılıp parçalanabilir. Aşınmaya başlayan keskinin hemen değiştirilmesi enerji gereksinimini azaltacaktır. Düşük hızlı kesme motorları ve kalem ucu tipindeki keskiner uygundur. |
| 12 | Makine ile ilerleme hızı 9-10 m ³ /h arasında, kesme verimi ortadır. Keski uçlarının kırılıp parçalanmasına az rastlanır. Aşındırıcı kayaçlarda keski uçları sık sık kontrol edilip değiştirilmelidir. |
| 8 | İlerleme hızı 10-12 m ³ /h arasında değişir. Verim ortadan iyiye doğru değişim gösterir. Özellikle aşındırıcı kayaçlarda keskiner devamlı gözlemlenerek gerektiğinde değiştirilmelidir. |
| 5 | Uygulama alanı çok iyi, ilerleme hızları 20 m ³ /h bulur. Zayıflık düzlemlerinin çok olduğu çamurtaşında makine kesmenin ötesinde ripperleme yapmaktadır ve çok yüksek ilerleme hızına ulaşılabilir. |

3.2.1.1 Tam boyutlu doğrusal kazı seti ile kesme deneyi

Bu tahmin yöntemi; kaya ortamını temsil eden 70*50*50 cm boyutlarındaki bir kayaç numunesinin, gerçek boyuttaki konik, kama ya da disk keskiyle laboratuvar ortamında kesilerek elde edilen verilerden kestirimin yapılabildiği, oldukça hassas bir yöntemdir. Doğrusal kazı seti ile bir kayaç numunesi kesilirken pratikte kullanılan bir keskiye etkiyen tam boyutlu keski kuvvetleri ölçülür. Tam boyutlu testler, boyuttan ve bilinmeyen kayaç davranışlarından kaynaklanan belirsizlikleri en aza indirir. Ölçülen kuvvetler, mekanize kazıcı ve keski seçiminde, kesme geometrisinin belirlenmesinde, performans ve maliyet tayininde kullanılır [12].

Bulunan net kazı hızı hesabında galeride yapılan diğer çalışmaların da (tahkimat, havalandırma, nakliyat üniteleri uzatımı, vd.) göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

3.2.1.2 Küçük boyutlu doğrusal kazı seti ile kesme deneyi

Oldukça yaygın olarak kullanılan bu yöntemde, 7,6 cm çapında bir karot ya da 20*10*10 cm boyutlarında küçük kaya numuneleri bir planya makinesinde tablaya oturtulur ve uç açısı (-5°), keski genişliği 12,5 mm, temizleme açısı (5°), kesme derinliği 9 mm olan bir kama uçlu keski ile kesilir. Üç yönde kesme, dikey ve yanal kuvvetler bir dinamometre kullanılarak kaydedilir ve ortalama kesme kuvvetlerinin birim mesafede kesilen pasa hacmine bölünmesi ile spesifik enerji MJ/m³ veya kWh/m³ olarak bulunur. İndeks değerler olarak sınıflandırılan test sonuçları daha önceden toplanmış arazi performans verilerine göre değerlendirilir [12].

3.2.2 Ampirik yaklaşımlar

Ampirik performans tahmin modelleri, Çizelge 3.1, Çizelge 3.2. ve Çizelge 3.3' de verilen, performansa etki eden faktörler göz önünde bulundurularak, geçmiş deneyimlere ve daha önce bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen istatistiki analizlerin yorumlanmasına dayanır. Çok yaygın bir şekilde kullanılan bu yöntem, birçok tünelde veri toplama çalışmalarına dayandırılan bu yaklaşım ile tamburlu, spiral tipli kollu makine ve hidrolik kırıcıların anlık kazı hızlarının tahmininde

kullanılmaktadır. Bu yöntemde, kazıcı makinelerin performansının basınç dayanımına ve RQD' ye bağılı olarak değiştiği anlaşılmıştır.

3.2.3 Yarı teorik performans tahmin yöntemleri

Bu yöntemlerde bilgisayarla tasarlanarak oluşturulmuş bir model kullanılır. Birçok makine üreticisi, araştırma enstitüsü ve danışman firmalar bu amaç için geliştirilen kendi bilgisayar modellerini geliştirmişlerdir.

3.2.4 Gerçek bir makine kullanımı

Gerçek bir makine ile performans tahmininde, kullanılmış ya da yeni bir makine kiralanır ve kullanılması düşünölen arazide test edilir. Bu, çok pahalı ve zaman alıcı bir yöntem olmakla beraber, en doğru performans tahmini yapılabilen bir yöntemdir. Bu çalışmada da kazının yapıldığı formasyonda performans tahmini, en güvenilir yöntem olan gerçek makine kullanımı ile gerçekleştirilmiştir.

3.3. Performans Tahmini Konusunda Önceki Çalışmalar

Sanayileşme ve kentleşmenin artması beraberinde inşaat yapılarına ve hammaddelere duyulan gereksinimleri artırmıştır. Bu ihtiyaçları karşılama gereksinimi özellikle madencilik ve inşaat alanlarında kazı çalışmalarında makine ile kazıya olan ilgiyi artırmıştır. Uygun planlandığında performansı ciddi düzeylerde artıran ve daha güvenli çalışma koşulları sağlayan mekanize kazı, uygun planlanmadığında çok ciddi problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu yüzden daha kazı çalışmasına başlamadan performansa etki edecek koşulların iyi irdelenmesi gerekmektedir. Bu amaçlarla farklı araştırmacılar tarafından performans tahmin modelleri geliştirme çalışmaları yapılmıştır.

Acaroğlu [9] tarafından bomlu kazı makinelerinde kesici kafa tasarım parametreleri incelenmiş ve performans tahmini ile ilgili açıklayıcı bilgiler sunulmuştur. Çalışmada, geliştirilen bir bilgisayar modeli yardımıyla kesici kafa kazı performans analizi gerçekleştirilmiştir. Performansı olumsuz etkileyen kesici kafa titreşiminin, kayaç ile temas halindeki keski sayısının sabit olmadığından kaynaklandığı öngörölerek,

titreşimin azaltılması için keskiler arası çevresel uzaklığın ve her bir keskiye gelen yükün eşit dağıtılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tunçdemir [12] tarafından kollu galeri açma makinelerinin cevher kazısında kullanımı ile ilgili araştırma yapılmış ve performans tahminleri ile ilgili modeller geliştirilmiştir. Çalışmada, cevher kazısı için sarf edilen spesifik enerjinin kayaç mekanik özellikleri ve pasa irilik katsayısı ile kestirilebileceği ortaya konulmuştur.

Gehring [24], yaptığı çalışmada mekanik kazıcının kazı hızını arına dik ve arına paralel kazılar için aşağıda belirtilen formülleri önermiştir:

$$NKH = \frac{719}{UCS \times 0,78} \quad (\text{Arına dik}) \quad (3.1)$$

$$NKH = \frac{1739}{UCS \times 1,13} \quad (\text{Arına paralel}) \quad (3.2)$$

Burada,

NKH=Net kazı hızı (m³/h)

UCS=Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

Thuro [25], yaptığı çalışmada kazı hızının tahmini için aşağıdaki formülü önermiştir:

$$NKH = 75,7 - 14,3 \times \ln(UCS) \quad (3.3)$$

Burada,

NKH= Net kazı hızı (m³/h)

UCS=Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

Rostami ve Özdemir [26], spesifik enerji değerini kullanarak kollu galeri açma makineleri için 3.4' de belirtilen formülü kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

$$NKH = \frac{HP \times \eta}{SE} \quad (3.4)$$

$$W_{ph}=V_{ph}\times\rho \quad (3.5)$$

Burada,

NKH: Üretim miktarı (m³/h)

HP: Kesici kafa motor gücü (kW veya HP)

η : Toplam sistem verimliliği (kollu kazıcılar için genellikle 0,45-0,55)

SE: Spesifik enerji (kWh/m³)

W_{ph}: Üretim miktarı (ton/h)

ρ : Kazılacak malzemenin yoğunluğu (ton/m³)

Bilgin ve diğ. [27], yaptıkları çalışmada kollu galeri açma makinelerinin performans tahmini için aşağıdaki formülü önermiştir. Aşağıda belirtilen formüller yardımıyla kaya kütle kazılabilirlik indeksi yardımıyla galeri açma makinelerinin kazı hızı tahmin edilebilir.

$$NKH=0,28\times P\times (0,974)^{RMCI} \quad (3.6)$$

$$RMCI=UCS\times\left(\frac{RQD}{100}\right)^{2/3} \quad (3.7)$$

Burada,

NKH = Kazı hızı, m³/h

RMCI = Kaya kütle kazılabilirlik indeksi

UCS = Tek eksenli basınç dayanımı, MPa

RQD = Kaya kütle sayısı, %

P = Makine gücü, kW

Balcı ve diğ. [28], yaptıkları çalışmada jeolojik süreksizliklerin ve arazideki yanıl basınçların kazıya etkisini incelemiştir. Metredeki süreksizlik sayısının arttıkça birim hacmi kesmek için gerekli olan spesifik enerjinin azalacağını dolayısıyla makine performansının artacağını bildirmişlerdir.

Bilim [2], yaptığı çalışmada Çayırhan Linyit İşletmesi' nde kullanılan kazıcı makinelerin performansları incelenerek kayaç özelliklerinin kazıya etkilerini belirlemiş ve kazı performans tahmini ile ilgili model sunulmuştur. Çalışma kapsamında, literatürde 23 adet makale analiz edilerek mekanik kazıcıların tahmininde en sık kullanılan parametreler tespit edilmiştir. Buna göre 26 adet parametrenin performans tahmininde parametre olarak kullanıldığı ve en fazla kafa geometrisinin değerlendirildiği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, taban yollarında kullanılan Dosco Mk2B tipi galeri açma makinelerinin (arına paralel kazı yapan, kısmi cepheli ve orta ağırlıktaki) performans tahmini ile ilgili olarak aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

$$NKH = \frac{HP}{SE + 1} \quad (3.8)$$

$$\dot{I}H = \frac{NKH}{S \times 60} \quad (3.9)$$

Burada,

NKH = Net kazı hızı (m^3/h)

HP = Makine kesici kafa motor gücü (kW)

SE = Spesifik enerji (kWh/m^3)

$\dot{I}H$ = İlerleme hızı (m/dak)

S = Kazı kesiti (m^2)

Çomaklı [1], yaptığı çalışmada Niğde ve Kayseri civarında bulunan cevherlerin makine ile kazılarının yapılan deney sonuçlarına göre mümkün olduğunu belirtmiştir.

Kahraman ve Erarslan [29], Çayırhan Linyit İşletmesi G Sahası hazırlık çalışmalarının değerlendirilmesi amacı ile yapılan çalışmada hazırlık kazısında kullanılan galeri açma makinelerinin yerinde yapılan gözlemlerle net kazı hızı tespiti yapılmıştır. Yapılan çalışmada en iyi makineden faydalanma oranı % 49 olarak belirlenmiştir. Su gelirinin ve jeolojik süreksizliklerin fazla olduğu G 410 galeride makinenin kazı hızının yüksek olmasına karşın, galeri ilerlemesini etkileyen diğer faktörlerin (tahkimat, nakliyat ünitelerinin uzatımı, vb.) uzun sürdüğü (makineden faydalanma oranının azaldığını) tespit etmişlerdir.

BÖLÜM IV

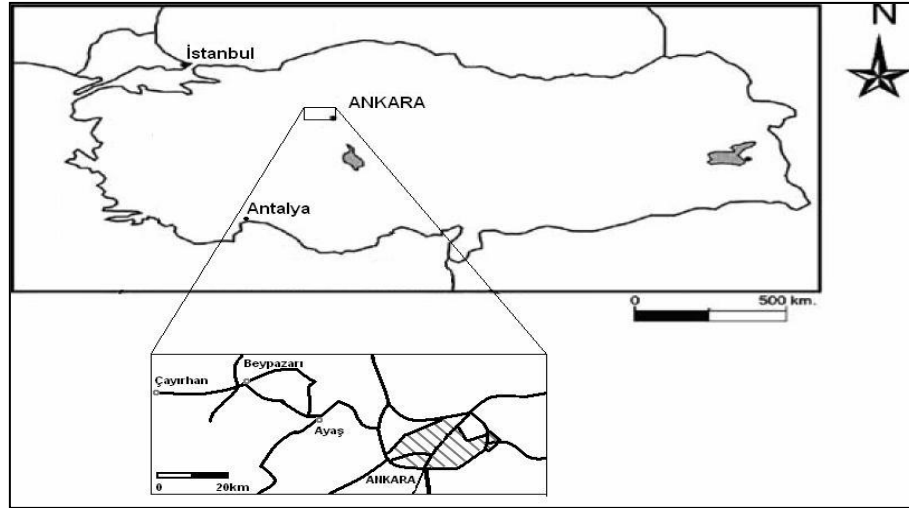
ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1 Park Termik Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesi

Arazi çalışmaları, Park Termik Çayırhan Linyit İşletmesinde gerçekleştirilmiştir. İşletmeye ait ocaklardan tam mekanize üretim yöntemi ile yılda ortalama 5,0-5,5 milyon ton tüvenan kömür üretimi yapılmaktadır. Üretilen linyit kalitesindeki kömür Park Grubu tarafından işletilen 620 MW gücündeki Çayırhan Termik Santrali'nin kömür ihtiyacını karşılamaktadır. Termik santralde 1. ve 2. üniteler 150 MW, 3. ve 4. üniteler 160 MW olmak üzere toplam 4 ünite bulunmaktadır.

4.1.1 İşletmenin coğrafi konumu

Çayırhan Linyit İşletmesi, Ankara İlinin Nallıhan İlçesine bağlı Çayırhan Beldesi'nde faaliyet göstermektedir (Şekil 4.1). İşletme, Ankara'ya 122 km mesafede olup Ankara-Nallıhan yolu üzerinde bulunmaktadır.



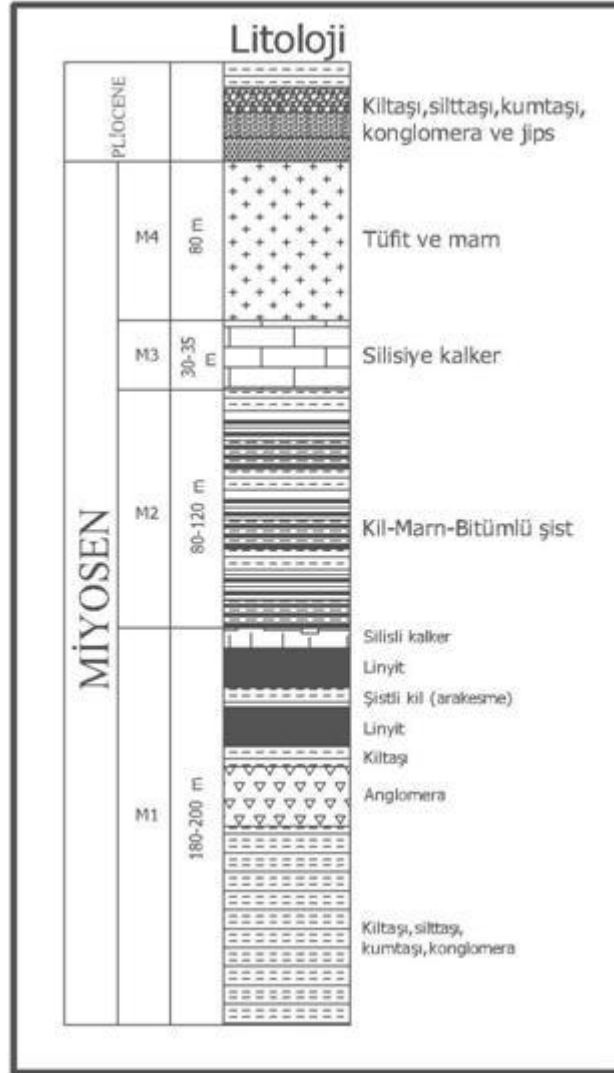
Şekil 4.1 Park Termik Çayırhan yeraltı linyit işletmesi yer bulduru haritası

4.1.2 Bölgenin Jeolojisi

Beypazarı'ndan Nallıhan'a kadar uzanan Neojen Havzası, kuzey tarafından Batı Pontidleri oluşturan dağ kuşağı ile çevrilidir. Beypazarı-Nallıhan arasında bulunan

Neojen tortulları orta-üst miyosen zaman aralığında oluşmuş olup toplam 1200 m' ye ulaşmaktadır. Havzadaki miyosen tortulların yaşları Paleozoyik ve Eosen arasında değişmektedir [30].

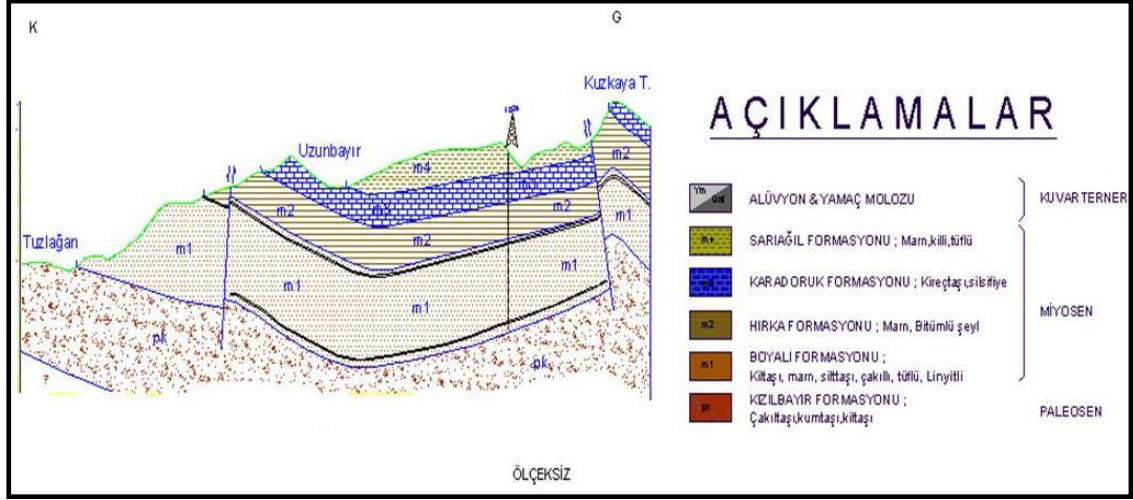
Çayırhan linyit havzası miyosen yaşlı seriler içinde oluşmuştur. Havzanın genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2 Genelleştirilmiş stratigrafik kesit [31]

M4 serisi, büyük bölümü formasyonla kaplı olan saha gri, yeşil, kırmızı ve bej renkli tüfitlerden meydana gelmektedir. İstifin kalınlığı yaklaşık olarak 80 m' dir. Silis kalkerlerinden oluşan en sert formasyon M3 serisidir. Kalınlığı 30-35 m arasında değişmektedir. Alt seviyelerde yer alan çok sayıda çatlakta su depolanmıştır. M2 Serisi, kil ve marnlardan oluşan tabakanın kalınlığı 80-120 m' dir. Alt ve üst

seviyelerde 20 şer metre kalınlığında iki adet bitümlü şist tabakası yer almaktadır. M1 serisi, kömür formasyonu, bu tabakada bulunmaktadır. Üst kısımlarda yer alan ve kalınlığı yaklaşık olarak 5–6 m olan silisli kalker tabakasından sonra, ara kesme ile birbirinden ayrılan iki adet kömür damarı bulunmaktadır. Formasyonların kesit görünüşü Şekil 4.3’ te sunulmuştur.



Şekil 4.3 Jeolojik formasyonların kesit görünüşü [32]

Bölge bir bütün olarak ele alındığında etkin bir tektonizma ve epirojenik hareketlerinin sonuçları gözlenmektedir. Bölgenin genel yapısı KD-GB doğrultusunda uzanan kıvrım eksenleri (antiklinal, senklinal) ve yine aynı doğrultulu faylarla karakteristiktir.

Bölgedeki kıvrımlar eski temel topoğrafyasına ve orojenik hareketlere bağlı olarak gelişmiştir. Nedeni, Neojen birimlerinin killi ve yarı plastik özellikli litolojilerden oluşmasıdır. Bunun sonucu olarak kırılmalardan (faylardan) daha çok, kıvrımlar gelişmiştir. Ancak çalışma alanı içine düşen önemli büyüklükte faylar da vardır. Davutoğlan Fayı C-B Sektörleri ile A-F sektörleri arasından geçmektedir.

Çayırhan havzasında bulunan ana faylar (Kuzey Fayı, Davutoğlan Fayı, Nalçabayır Fayı ve Doğan Dede Fayı) ve arazinin senklinal yapısı dikkate alınarak havza sektörlerine ayrılmıştır. İşletme üretim sahaları Şekil 4.4’ de sunulmuştur.

Doğandede Fayı, G Sektörü ile D Sektörü arasından geçmektedir. G-C-B Sektörlerinin kuzey sınırında ise Kuzey Fayı bulunmaktadır. Davutoğlan Fayı ayrıca E Sahasının

doğusunda 0,5-0,8 m arasında değişmektedir. Tavan kömürünün kalınlığı 1,52 m civarında, taban kömürünün kalınlığı 1,72 m civarındadır. Hem tavan hem de taban kömüründe üç türlü çatlak sistemi bulunmaktadır [2].

Havzada bulunan kömür genellikle koyu kahve veya siyah renge sahiptir. Kömür düzensiz bantlı, yarı parlak ve parlak cinstedir. Sertliği orta sert kömür sınıfına girmektedir. Yeryüzüne çıkarıldığında su kaybı nedeniyle kısa zamanda çatlamakta ve donuk bir hal almaktadır. Kalori değeri 2700-3000 kcal/kg arasında değişmektedir. Tavan damarının ortalama yoğunluğu $1,4 \text{ g/cm}^3$, taban kömürünün yoğunluğu $1,5 \text{ g/cm}^3$ civarındadır.

4.1.4 İşletmenin tarihçesi

Ülkemizde, Orta Anadolu Linyit Projesi ile yeraltı “Tam Mekanize” linyit üretimi ilk defa Çayırhan kömür havzasında gerçekleştirilmiştir. Bu projenin mali kaynaklarını, Avrupa Ekonomik Topluluğu’ndan (AET) sağlanan kredi ve öz kaynaklarımız oluşturmuş, bu kaynaklardan yararlanılarak ocak için gerekli olan makine ve ekipmanlar ithal edilmiştir. Ekipmanların uyum içinde çalışması ve üretimin en yüksek seviyede tutulması için gerekli kontrol ve sinyalizasyon ağı kurularak, sistemin tek merkezden idaresi sağlanmıştır.

Bölgede bulunan linyit ocakları ilk olarak Başyurt Kolektif Şirketi tarafından işletilmiştir. Bölgedeki kömür ocakları, 1966 yılında Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) tarafından devralınmış, 1977 yılında Orta Anadolu İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü kurulmuş, 1985 yılında işletme müdürlüğü, bölge müdürlüğüne dönüştürülmüş ve tam mekanize üretime geçilmiştir. 1987 yılında 2x150 MW gücüyle iki üniteden oluşan termik santral faaliyete geçmiştir. 1996 yılında açılan ihale ile 2000 yılında 620 MW gücüyle dört üniteden oluşan Çayırhan Termik Santrali ve bu santrale kömür veren maden sahasının 20 yıllığına işletme hakkı 3096 Sayılı Yap İşlet Devret Yasası’na göre, Park Teknik Elektrik Madencilik Sanayi Anonim Şirketi’ne devredilmiştir. Park Grubu, 1996 yılında B ve C sahalarının üretim projesini, yatırımlarını ve işletmeciliğini almış, daha sonra A ve F sahalarının rehabilite edilerek işletilmesini, 2004 yılında da G sahasının proje ve yatırım safhalarını takiben üretim çalışmalarını üstlenmiştir. 2011 yılı itibarıyla de D, E ve H sahalarının proje ve yatırım safhalarına başlanılmıştır.

4.1.5 İşletmede madencilik faaliyetleri

İşletme ocaklarında gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri;

- hazırlık,
- üretim,
- ayak söküm-montaj,

çalışmalarından oluşmaktadır.

Çayırhan Linyit İşletmesinde üretim, geri dönümlü-göçertmeli tam mekanize uzun ayak sistemi ile gerçekleştirilmektedir.

4.1.5.1 Hazırlık çalışmaları

Mayıs 2012 itibarıyla, işletme sahası içerisinde B, G, D, E ve H sektörlerinde hazırlık çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalarda her sektörde bir ana nakliye galerisi yardımıyla üretim panoları oluşturulmaktadır. Ana nakliye galerileri taşa ve kömürde sürülmektedir. Üretim panolarını birbirinden ayıran galerilere “taban yolu” adı verilmektedir (Fotoğraf 4.1). Taban yolları (baca), kömür damarının yüksekliğine eşit olarak kömür içerisinde yapılan hazırlık çalışmalarıdır. Ayak kurulması amacı ile, alt taban yolunu üst taban yolu ile birleştiren ayak montaj kılavuzları açılmaktadır [29].



Fotoğraf 4.1 Taban yolundan bir görünüm

- **Galeri Açma Makineleri**

İşletmede gerçekleştirilen hazırlık çalışmalarında üç farklı tipte, 8 adet GAM (2 adet Dosco Mk2A, 5 adet Dosco Mk2B ve 1 adet Pk9r) kullanılmaktadır. Bu makineler kömürde ve basınç dayanımı düşük olan (50 MPa' dan küçük) kayalarda verimli çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. İşletmede kullanılan galeri açma makinelerine ait bazı teknik özellikler Çizelge 4.1' de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 İşletmede kullanılan kollu GAM' nın teknik özellikleri [29]

| Makine Özellikleri | Dosco Mk2A | Dosco Mk 2B | Pk9r |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|
| Makine boyutları(Uz*yük*en)(m) | 7,17*1,64*2,8 | 10,2*2*3 | 7,2*1,85*2,8 |
| Maksimum kazı kesiti(yük*gen)(m) | 4,09*5,76 | 5,4*5,76 | 3,9*6,28 |
| Toplam güç (kW) | 150 | 224 | 186 |
| GAM toplam ağırlığı (ton) | 23,4 | 44 | 32 |
| Kesici kafanın motor gücü (kW) | 67 | 112 | 93 |
| Kafanın dönme sayısı (dev/dak) | 68 | 58 | 61-99 |
| Makinenin yürüme hızı (m/dak) | 7,2 | 8,4 | 2 |
| Çıkabileceği maksimum eğim | 14°-35° | 14° | 10° |
| Nominal çarpma basıncı (bar) | 105-140 | 140 | - |
| Hidrolik sistem motoru (kW) | 56 | 112 | 15 |
| Zemin basıncı (kg/cm ²) | 1,5 | 1,19 | 0,96 |
| Yükleme sistemi | Sıyırıcı konveyör | Toplayıcı kol/yıldız | Toplayıcı kol |

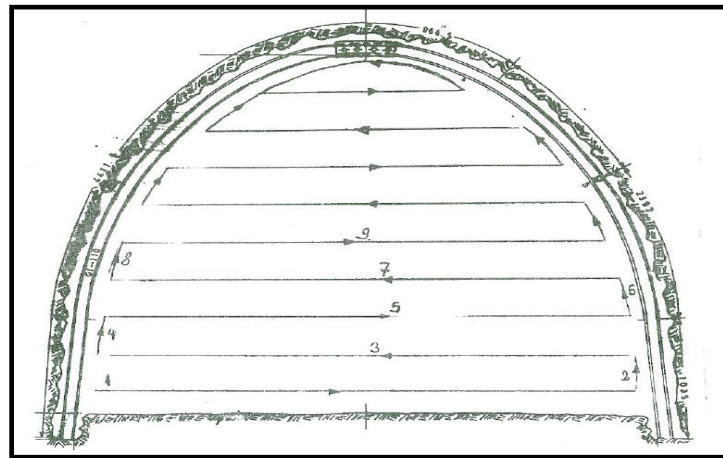
Yeraltında ana nakliyat galerilerinin, taban yollarının ve ayak montaj kılavuzlarının açılması kısmi cepheli orta ağırlıkta kollu galeri açma makineleri ile yapılmaktadır. Sadece, ayak montaj kılavuzlarının genişletme kazılarında ve makine ile kazının imkansız hale geldiği jeolojik süreksizliklerde delme-patlatma kazısı kullanılmaktadır.

Kahraman ve Erarslan [29] tarafından Çayırhan Linyit İşletmesinde kollu galeri açma makinelerinin arazide kullanımında performanslarının tespiti amacıyla yapılan çalışmada elde edilen veriler Çizelge 4.2' de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 GAM ile taban yolları açılmasında performans değerleri

| Açıklama/Galeri Adı | G 210 Baca | G 310 Baca | G 410 Baca | |
|-------------------------------------|---|--------------------|--------------------|-------|
| Tarih | 10/2006 4/2008 | 01/2008 09/2009 | 04/2009 12/2010 | |
| Kullanılan Makine | Dosco Mk 2b | Dosco Mk 2b | Dosco Mk 2b | |
| Galeri uzunluğu (m) | 3.123 | 3.110 | 2.294 | |
| Fiili Çalışma Günü | 474 | 428 | 396 | |
| Kesit(m ²) | 25 | 25 | 25 | |
| Ortalama aylık ilerleme(m) | 197,66 | 222,14 | 173,79 | |
| İşçilik performansı (cm/yevmiye) | 16 | 18 | 17 | |
| Net kazı zamanı (%) | 31,65 | 39,31 | 37,8 | |
| Toplam duruşlar (%) | 68,35 | 60,69 | 62,2 | |
| Galeri kazı hızı(m ³ /h) | 6,86 | 7,57 | 6,04 | |
| Keski sarfiyatı (keski/1000ton) | 2,00 | 2,64 | 5,76 | |
| (% Duraklamalar | Tahkimat çalışması (%) | 24,89 | 26,41 | 24,64 |
| | Vardiya değişimi (%) | 15,38 | 12,23 | 14,77 |
| | Bakım (%) | 3,94 | 3,38 | 3,5 |
| | Mekanik arıza (%) | 4,24 | 2,11 | 2,58 |
| | Elektrik arıza (%) | 1,79 | 0,56 | 1,04 |
| | Nakl. üniteleri uzatımı (%) | 4,71 | 3,99 | 3,95 |
| | Kazı malzemesini konveyöre yükleme (%) | 0,72 | 1,5 | 1,95 |
| | Genel yan işler (%) | 8,44 | 10,03 | 9,32 |
| | Diğer işler (%) | 4,24 | 0,48 | 1,13 |

GAM ile kazı sırasında arakesme, tavan taşı, taban taşı ve kömür damarları olmak üzere farklı birimler kesilmektedir. Galerî açma makinesi ile farklı birimlerin kazılması sırasında kazı arının sertliğine göre 3 değişik şekilde kazı işlemi gerçekleştirilmektedir. GAM ile sert kazı arını için yapılan kazı şematik olarak Şekil 4.5’ de sunulmuştur [34].



Şekil 4.5 Sert formasyonda kollu GAM ile kazı şekli

Ayak montaj kılavuzlarının açılmasında hem GAM ile kazı hem de klasik (delme-patlatma yöntemi) kazı yapılmaktadır. Ayak montaj kılavuzlarının açılması iki veya üç kademeli olarak gerçekleştirilmektedir. Kılavuzlar başyukarı olarak GAM ile taban yolu kesitinde açılmakta daha sonra delme-patlatma kazısı ile ayağın kurulabileceği genişliğe getirilmektedir (Kılavuz genişletmesi). Delme-patlatma ile yapılan kazılarda anti-grizu özellikli patlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Patlatma işlemi manyeto yardımıyla elektrikli kapsül kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Patlatma işleminde kullanılan su dolu kartuşlar sıkılama görevini yapmakla beraber, toz oluşumunun kaynağında bastırılmasına katkıda bulunmaktadır [29].

- **Kazılan Malzemenin Nakliyatı**

Galeri girişlerinde genellikle GAM ünitesinin montajı yapılacak kadar alan (yaklaşık 20 m) delme-patlatma ile yapılmaktadır. Bu sırada kazı nakliyatında zincirli konveyör kullanılmaktadır. Galeri uzunluğu 20 m' ye ulaşıncaya GAM' nin montajı yapılır. Makine ile kazı çalışmasında yaklaşık 100 m galeri uzunluğuna kadar malzeme nakliyatı yine zincirli konveyör kullanılmaktadır. Galeri uzunluğu 100 m' yi geçtikten sonra galeriye bant konveyör kurulmaktadır. Böylece arından kazılan malzeme, makinenin yükleme ünitesi vasıtasıyla makine içerisindeki zincirli konveyörden makine arkasındaki 25-30 m uzunluğundaki bant konveyöre, buradan da galeri bandına aktarılmaktadır.

Makinenin kazı yapması ile galeri ilerlemesine bağlı olarak nakliyat ekipmanının uzatımı işlemi (kuyruk çekimi) gerçekleştirilmektedir. Kuyruk çekimi sırasında GAM ile kazı çalışması yapılamamaktadır.

Kılavuz genişletme kazılarında patlatma sonrası kazı malzemesinin zincirli konveyöre yüklenmesinde yandan boşaltmalı elektrikli hidrolik yükleyici (Enka Eico firması 12 B, 21, 24 modelleri) kullanılmaktadır [35].

- **Havalandırma**

Açılan hazırlık galerisinin havalandırması, tali vantilatörlerle üfleyici sistem şeklinde yapılmaktadır. Bu sistemde vantüpler döşenmekte ve üfleyici vantilatör vasıtasıyla kazı

arınına temiz hava üflenmektedir. Bu yöntemle kazı arınına galerinin 0-700 m arasındaki ilerlemeleri için yaklaşık 400 m³/dak hava 30 kW gücündeki üfleyici vantilatörlerle basılmaktadır. Galeri uzunluğu 700 m' yi geçtiği durumlarda 2 adet 30 kW' lık aspiratörün paralel bağlanması suretiyle kazı arınına yaklaşık olarak 500-550 m³/dak hava üflenmektedir [36].

Ayrıca, tozu kaynağında bastırmak amacıyla yaş tip toz bastırma ekipmanı kullanılmaktadır. İşletmenin ocaklarında mekanize galeri sürmede İngiliz yapımı, Engart Fans şirketi tarafından üretilen 24 MRDE yaş tip toz bastırma üniteleri kullanılmaktadır [19]. Bu toz bastırma ünitesi makinenin ilerlemesine (galeri ilerlemesine) bağlı olarak uygun düzenek sayesinde ilerlemektedir.

- **İnsan ve Malzeme Nakliyatı**

Galeri açma çalışmalarında, insan ve malzeme nakliyatında tekkars (elektrikli monoray) kullanılmaktadır (Fotoğraf 4.2). Elektrikli monoray hatları galerilerde arına yaklaşık olarak 100 m uzaklıkta monte edilmektedir. Elektrikli monoraylar ile 12 ton' a kadar malzeme nakliyatı yapılabilmektedir. Halat hızı 2 m/s, halat çapı 16/19 mm' dir. Kullanılan raylar I 140E profilde ve 3m uzunluğundadır. Galeri ilerlemesine bağlı olarak, elektrikli monoray hatları uzatılmaktadır. Elektrikli monoray kuyruğu ile kazı arınında malzeme nakliyatını sağlamak üzere, havalı monoraylar kullanılmaktadır. Basınçlı hava ile çalışan monoraylar da 12 ton taşıma kapasitesine sahip olup kısa mesafelerde taşıma amacıyla kullanılmaktadır [37].



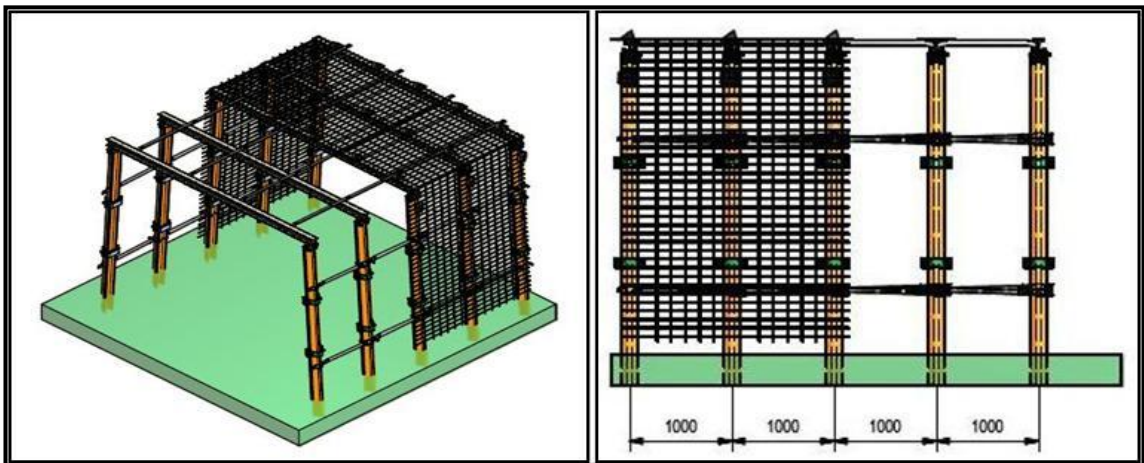
Fotoğraf 4.2 Hazırlık galerilerine elektrikli monoray ile insan nakliyatı

- **Galeri Tahkimatı**

G sahasında sadece 4007 ana nakliyat galerisi kavisli geçmeli bağlar şeklinde uygulanmıştır. Bunun dışında kalan bütün hazırlık galerileri trapez (dörtgen) şekilde uygulanmaktadır. Trapez tahkimat, tavanda I profil ve yan direk olarak TH profillerin kullanımı ile gerçekleştirilmektedir. G sahasında hazırlık galerileri 5×5 (25 m²) kesitinde makine ile açılmaktadır. Sadece ayak genişletme kılavuzları 35 m² olarak uygulanmaktadır.

Kazı çalışmalarında yaklaşık 1,2 m' lik ilerlemeden sonra maksimum 1 m aralıklarla tahkimat çalışması yapılmaktadır (Şekil 4.6). Yardımcı tahkimat elemanı olarak çelik fırçalar, oynar başlıklar, ağaç malzemeler ve 0,5×1 m boyutlarında çelik hasırlar kullanılmaktadır. Tahkimat çalışması sırasında GAM ile kazı çalışması yapılamamaktadır. Tahkimat çalışmasında bağın tavana kaldırılmasında galeri açma makinesinden faydalanılmaktadır (Fotoğraf 4.3).

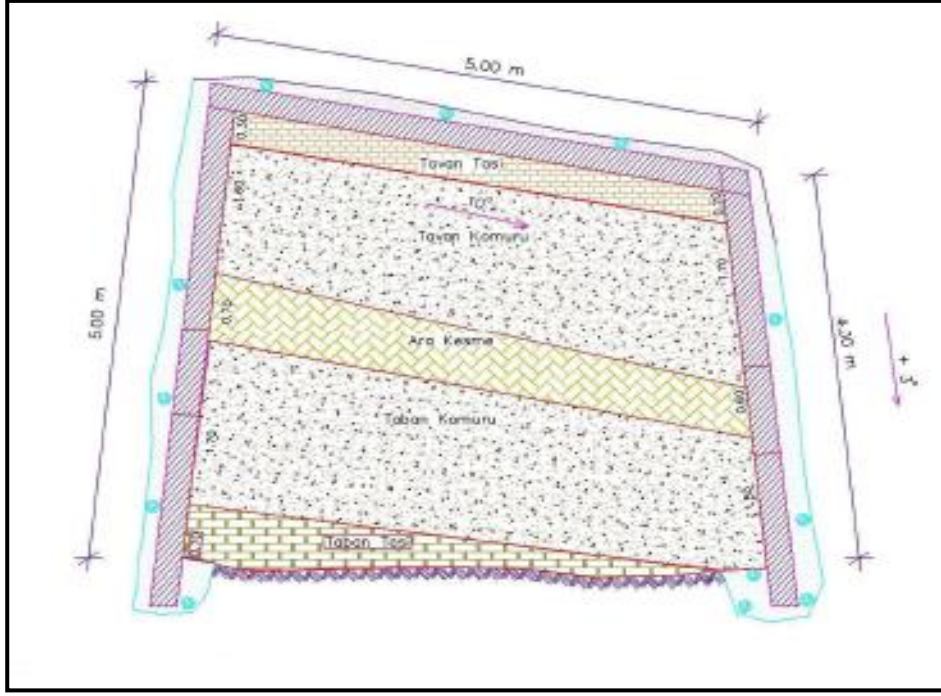
Taban yollarının boyutları ve taban yolu açılması sırasında kesilen kayaç birimleri tipik olarak G-310 taban yolu için Şekil 4.7' de sunulmuştur. Taban taşı yeşil marndan (kiltaşı) oluşmaktadır. Arakesme adı verilen yapı tüfitik kumtaşından oluşmaktadır. Tavan taşı ise ince kumtaşı, kalker bantları ve kiltaşından (linyit boyamalı açık kahve kiltası) oluşmaktadır [29].



Şekil 4.6 Galeride yapılan tahkimatın şematik görünüşü



Fotoğraf 4.3 Dosco Mk2B kollu GAM' ın kullanıldığı tahkimat çalışması



Şekil 4.7 G 310 taban yolunun en-kesit görünüşü

4.1.5.2 Üretim çalışmaları

Mayıs 2012 tarihi itibarıyla G ve B sektörlerinde üretim çalışmaları devam etmektedir. Mevcut sektörlerde, ayak uzunlukları 220 m civarında, pano boyları ise 1100-3200 m arasında değişmektedir. Üretim yöntemi olarak, geri dönüşlü göçertmeli tam mekanize uzun ayak yöntemi uygulanmaktadır.

Uygulanan üretim yönteminde;

- taban yolu ihtiyacını en aza indirmek,
- rezervlerin daha etkin kullanılmasını sağlamak,
- kömürün kendiliğinde yanma riskini azaltmak

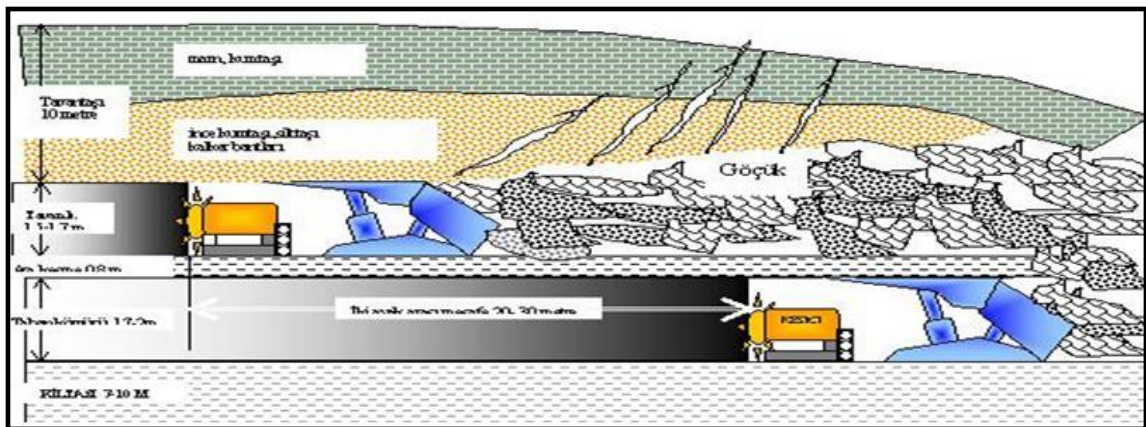
amaçlarıyla her sahada panoların alt taban yolları bir sonraki pano için üst taban yolu olacak şekilde planlanmıştır [38].

Kömürün damarları arasında bulunan arakesme malzemenin kalınlığı sahanın doğusundan batısına doğru artmaktadır. Bu durum batı kısmında bulunan sahanın çok dilimli kazı (B sahası), sahanın doğu kısmında bulunan sahalarda tek ayak kazısı şeklinde üretim çalışmalarının sürdürülmesi sonucunu doğurmuştur.

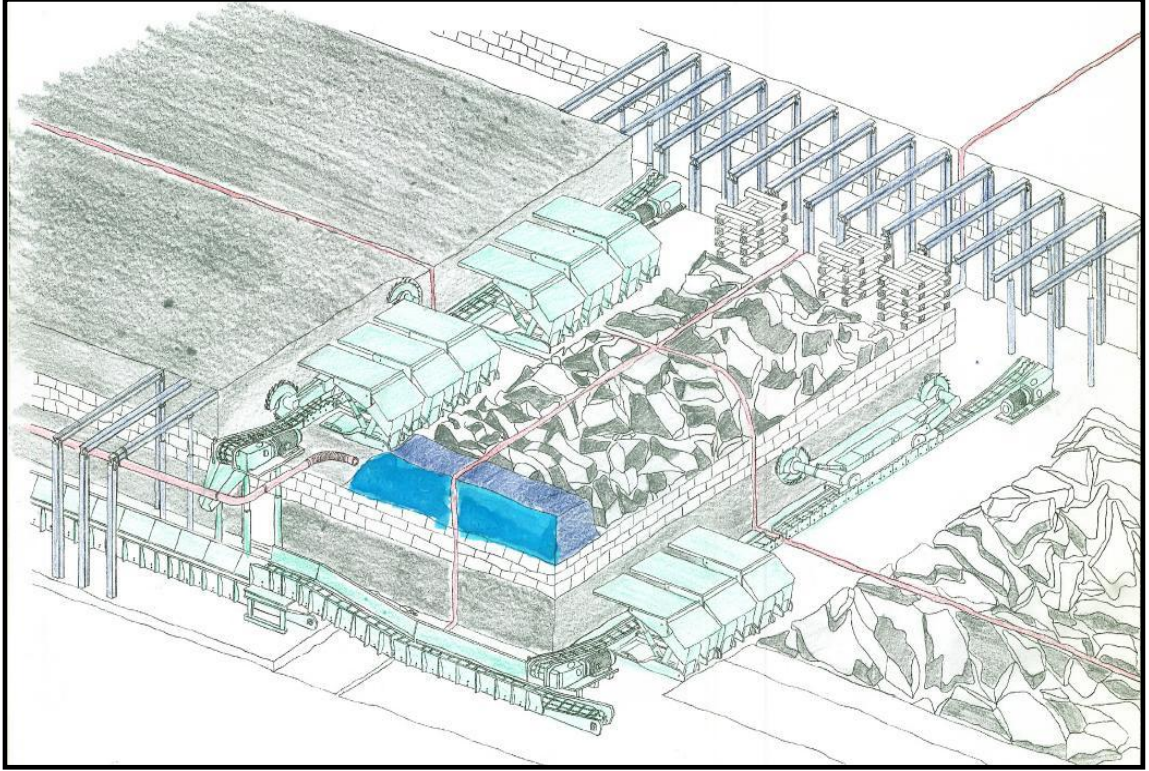
• B Sektörü üretim çalışmaları

B sektörünün bulunduğu sahada, damarlar arasında bulunan ara kesme kalınlığı 1,3–2 m olduğu için taban ve tavan ayaklar oluşturulmakta ve üretime tavan ayaktan başlanılmaktadır (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9). Üretim işlemi devam ettikçe tavan ayak, taban ayağın önüne geçmektedir. Ayak yüksekliği ort. tavan ayakta 1,60 m, taban ayakta ort. 1,90 m' dir.

Tavan ve taban ayağa gelen basıncı dengelemek ve yangın riskini en aza indirmek amacıyla tavan ve taban ayaklar arasında 15–30 m mesafe bırakılmaktadır. B sahasında tavan ve taban ayaklarda Eickhoff SL-300 çift tamburlu kesici yükleyici makine kullanılmaktadır.



Şekil 4.8 B sahası ayak üretimi kesit görünüşü [35]

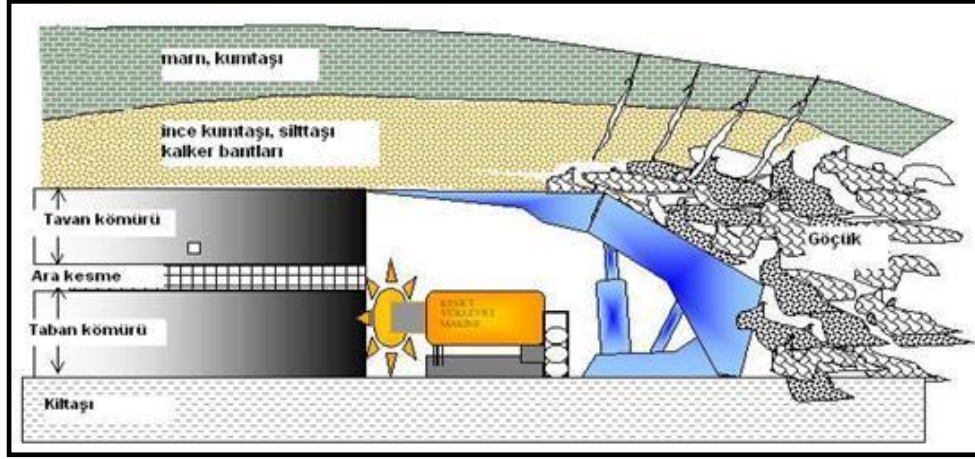


Şekil 4.9 B sahası ayak üretimi genel görünüşü [35]

- **G Sektörü üretim çalışmaları**

G sektöründe G1 ve G2 olmak üzere iki farklı ayak üretim gerçekleştirilmektedir. Sektörde, ara kesme kalınlığının 0,5–0,8 m arasında değişmesinden dolayı tavan kömürü, taban kömürü ve ara kesmenin tek ayak olarak çalışması projelendirilmiştir (Şekil 4.10). Pano boyları 3200 m ve ayak boyu 220 m olarak planlanmıştır.. G sahasında planlama aşamasında tespit edilemeyen faylardan dolayı kazı çalışmaları sırasında “fay atlama” adı verilen özel işlem uygulanmıştır. Fay atlama işlemi hem üretim hem kazı çalışmalarını olumsuz etkilemiştir.

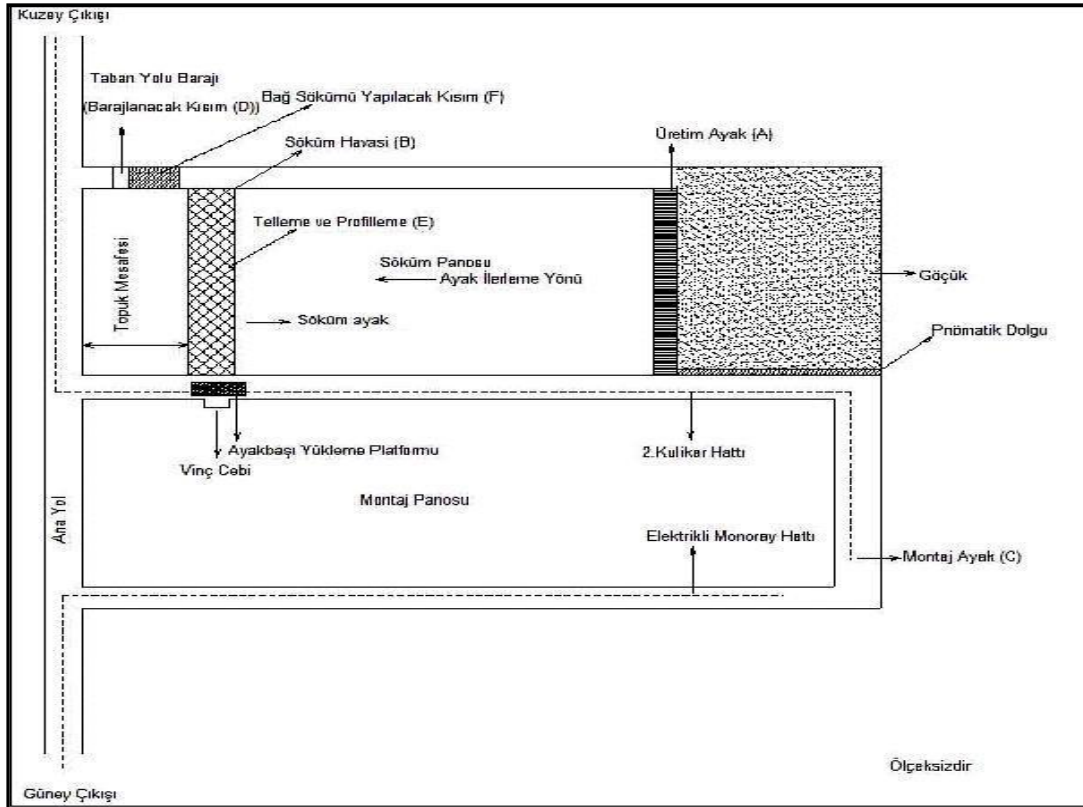
G sahası üretim ayağında Eickhoff SL-500 tipi çift tamburlu kesici yükleyici makine kullanılmaktadır. Ayak tahkimatı kalkan tipi yürüyen tahkimatlarla sağlanmaktadır. Çift tamburlu kesici–yükleyicilerle kazılan kömür arındaki zincirli konveyörler ile taban yoluna taşınmaktadır.



Şekil 4.10 C ve G sahası ayak üretimi kesit görünüşü [33]

4.1.5.3 Ayak söküm-montaj çalışmaları

Ayak sökümü panolarda üretim yapılacak kömürün bitmesi sonucu ayağın mekanik donanımının sökülüp önceden planlanan üretim yapılacak yeni bir ayağa taşınması işlemidir. Söküm-montaj işlemleri ocakta yapılan önemli çalışmalardandır. Yüksek arınlı bir ocak için örnek bir söküm-montaj planı Şekil 4.11’ de sunulmuştur [39].



Şekil 4.11 Yüksek arınlı bir ayağın söküm-montaj planı [39]

Pano söküm çalışmaları ayak içi söküm çalışması ve taban yollarında yapılan söküm çalışmalarından oluşmaktadır. Söküm çalışmalarında yapılan işlemler sırasıyla Şekil 4.12’de sunulmuştur.



Şekil 4.12 Söküm ayak iş akış şeması [39]

4.2 Arazi Çalışmaları

Galeri açma makinelerinin ilerleme hızlarını belirlemek amacıyla yerinde kazı çalışmaları ve bu kapsamda yapılan çalışmalar incelenmiş, işletmeye ait kontrol merkezi verileri performans açısından değerlendirilmiş ve aynı zamanda laboratuvar deneyleri için kazı arınlarından blok numuneler alınmıştır.

4.2.1 Kontrol merkezi verilerinin performans açısından değerlendirilmesi

İşletmede vardiyalarda yapılan bütün çalışmalar düzenli olarak yerüstü kontrol merkezinden takip edilmekte ve kayıtları tutulmaktadır. G ve D sahalarında hazırlık çalışmalarına yapılan faaliyetlere ait günlük kontrol merkezi verileri detaylı olarak incelenmiştir. İnceleme sonrası elde edilen veriler Çizelge 4.3’ de sunulmuştur. Her bir galerideki faaliyetlerin detaylı analizleri de Ek-A, Ek-B, Ek-C, Ek-D ve Ek-E’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3 G ve D sektörleri hazırlık çalışmalarına ait iş-zaman etüdüleri

| Açıklama/Galeri Adı | | G 710 | G 809 | G 810 | G 4007 AD | D 110 |
|--|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| Kullanılan galeri açma makinesi | | Dosco Mk2B | Dosco Mk2B | Dosco Mk2B | Dosco Mk2B | Dosco Mk2B |
| Galeri uzunluğu (m) | | 1678 | 3188 | 2913 | 498 | 532 |
| Fiili Çalışma Zamanı (gün) | | 228,26 | 470,80 | 394,54 | 130,93 | 79,92 |
| Galeride aktif çalışma süresi (dak) | | 328700 | 677950 | 568140 | 188535 | 115080 |
| Aktif tarama süresi (dak) | | 117825 | 250865 | 220640 | 89270 | 64695 |
| Kesit (m ²) | | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Ortalama aylık ilerleme (m/ay) | | 220,53 | 203,14 | 221,50 | 114,11 | 199,71 |
| İşçilik performansı (cm/yevmiye) | | 21,46 | 20,15 | 21,79 | 13,53 | 18,65 |
| GAM net kazı hızı (m ³ /h) | | 21,36 | 19,06 | 19,80 | 8,37 | 12,33 |
| Toplam duruşlar (%) | | 63,16 | 61,43 | 58,47 | 52,04 | 43,78 |
| Galeri ilerleme hızı (m ³ /h) | | 7,66 | 7,05 | 7,69 | 3,96 | 6,93 |
| GAM net kazı süresi (%) | | 35,85 | 37,00 | 38,84 | 47,35 | 56,22 |
| Galeride toplam kazı süresi (%) | | 36,84 | 38,57 | 41,53 | 47,96 | 56,22 |
| (%) Duraklamalar | Tahkimat çalışması (%) | 21,49 | 22,83 | 26,73 | 21,57 | 25,36 |
| | Vardiya değişimi (%) | 9,40 | 10,93 | 12,85 | 8,94 | 6,02 |
| | Bakım (%) | 3,81 | 3,42 | 4,00 | 4,25 | 5,20 |
| | Mekanik arıza (%) | 3,86 | 4,24 | 2,66 | 4,50 | 2,04 |
| | Elektrik arıza (%) | 0,66 | 1,71 | 0,90 | 1,30 | 0,54 |
| | Nakliyat üniteleri uzatımı (%) | 3,68 | 4,38 | 3,74 | 3,53 | 3,16 |
| | Kazı malzemesini konveyöre yükleme (%) | 0,45 | 1,33 | 1,78 | 0,23 | 0,00 |
| | Genel yan işler (%) | 18,95 | 11,85 | 4,99 | 7,04 | 1,01 |
| | Diğer işler (%) | 0,85 | 0,74 | 0,83 | 0,68 | 0,45 |

4.2.2 Numune alma çalışmaları

Numune alma işlemleri, D 110 ve G 4007-2-1 galerilerinde gerçekleştirilmiştir. Taşta ilerleme yapılan bu galerilerde numune alımı temiz kazı yüzeylerinden yapılmıştır.

Alınan bu numuneler esnek filmlere sarılarak numune kodlamaları yapılmış, yeraltından maden karo sahasına çıkarılmış ve buradan da Park Termik A.Ş. maden laboratuvarına nakledilmiştir (Fotoğraf 4.4). Buradan Park Termik A.Ş. Maden Laboratuvarında biriktirilen numuneler belli zamanlarda ilgili deneylerin gerçekleştirilmesi amacıyla Niğde Üniversitesi-Maden Mühendisliği laboratuvarına getirilmiştir.



Fotoğraf 4.4 Streçle sarılarak isimlendirilen deney numuneler

4.3 Laboratuvar Çalışmaları

4.3.1 Numune temini ve hazırlanması

Yeraltı işletmesinden temin edilerek biriktirilen numuneler uygun koşullarda Niğde Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilmiştir.

Belirtilen kaya mekaniği deneylerini sağlıklı bir şekilde yapabilmek amacıyla öncelikle numunelerin belli standartlara getirilmesi gerekmektedir. Bu işlem silindirik karot numunelerin alınması, bunların kesilmesi ve yüzeylerinin düzeltilmesiyle mümkün olmaktadır. Karot numunenin alınması işlemi karot alma makinesi ile yapılmaktadır. Karot alımından sonra karotların istenilen uzunlukta kesilerek, kesilen yüzeylerin düzeltilmesi gerekmektedir. Bu işlem karot kesme ve düzeltme makinesi yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Uygun koşullarda laboratuvara getirilen blok numunelerden Fotoğraf 4.5’ de görülen karot alma makinesi yardımıyla 37,7 mm ve 42 mm çaplarında karotiyerler kullanılarak karotlar alınmıştır.



Fotoğraf 4.5 Karot numunelerin alınmasında kullanılan karot alma makinesi

Alınan karot numuneler daha sonra deneylerde kullanılabilecek (standarta uygun) uzunluğa getirilmek amacıyla Fotoğraf 4.6’ da sunulan karot kesme ve düzeltme makinesi ile kesilmiştir. Kesilen yüzeyler yine bu makine yardımıyla düzeltilmiştir.



Fotoğraf 4.6 Kullanılan karot kesme makinesi

4.3.2 Kayaçların fiziksel özelliklerini belirleme deneyleri

4.3.2.1 Yoğunluk belirleme deneyleri

Deney, karot şekline getirilmiş numunelerin kütleli birim hacim ağırlıklarını tespit etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk belirleme deneyleri, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem ilkeleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yoğunluklarını belirlemek üzere her bir numune örneğinden genellikle 37,7 mm çapında ve 40 mm uzunluğunda 3' er adet karot numune hazırlanmıştır. Deneyler laboratuvar ortamında kurumuş numuneler üzerinde yapılmıştır. Laboratuvarda kurutulmuş karot numuneler tartılarak ağırlıkları bulunmuştur (Fotoğraf 4.7). Daha sonra bu numunelerin boy ve çapları dijital kumpas ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır (Fotoğraf 4.8).



Fotoğraf 4.7 Yoğunluk için numunelerin tartımı



Fotoğraf 4.8 Dijital kumpas ile ölçüm

Bulunan hacim ve ağırlık değerleri Eşitlik 4.1 ve Eşitlik 4.2' de verilen formüller yardımıyla kullanılarak yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 4.7). Deney sonuçları ile ilgili daha detaylı bilgi Ek-F' de verilmiştir.

$$\text{Yoğunluk (g/cm}^3\text{); } \rho = \frac{W}{V} \quad (4.1)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık (kN/m}^3\text{); } \gamma = 0,981 \times \rho \quad (4.2)$$

Burada,

$$P = \text{Yoğunluk (g/cm}^3\text{)}$$

$$W = \text{Örnek ağırlığı (g)}$$

$$V = \text{Hacim (cm}^3\text{)}$$

$$\gamma = \text{Birim hacim ağırlık (kN/m}^3\text{)}$$

4.3.2.2 Porozite ve boşluk oranı belirleme deneyleri

Karot numunelerin gözenekliliğinin (porozitesinin) ve boşluk oranının tayini amacıyla yapılmıştır. Deney, ISRM (1981) tarafından önerilen şekilde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin porozite ve boşluk oranını belirlemek üzere her bir numune örneğinden genellikle 37,7 mm çapında ve 40 mm uzunluğunda 3' er adet karot numune hazırlanmıştır. Deneyi gerçekleştirmek için, öncelikle numuneler 24 saat boyunca 105-110°C' de etüvde bekletilmiştir (Fotoğraf 4.9).



Fotoğraf 4.9 Numune kurutma işleminde kullanılan etüv

Etüvde bekletilen numuneler çıkartıldıktan sonra, hassas terazide tartılmış ve numunelerin kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Daha sonra bu numuneler su dolu bir kap içerisinde 48 saat bekletilmiştir (Fotoğraf 4.10). Sudan çıkarılan numuneler hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları tespit edilmiştir. Eşitlik 4.3, Eşitlik 4.4 ve Eşitlik 4.5'

de verilen formüller kullanılarak kayaçların fiziksel özelliklerine ilişkin veriler Çizelge 4.4’ de sunulmuştur. Porozite ve gözeneklilik belirleme deneyleri ile ilgili detaylı veriler Ek-G’ de sunulmuştur.



Fotoğraf 4.10. Numunelerin suya doyurulması işlemi

Çizelge 4.4 Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sonuçları

| No | Galeri /Numune Adı | Doğal Yoğunluk (g/cm ³) | Porozite (%) | Boşluk oranı (n) |
|----|--------------------|--|-----------------|---------------------|
| 1 | G 4007-2 (356.m) | 2,20 | 20,46 | 0,26 |
| 2 | D 110 (512.m) | 2,11 | 16,79 | 0,20 |
| 3 | D 110 (80.m) | 2,22 | 12,00 | 0,14 |
| 4 | D 110 (538.m) | 1,69 | 25,39 | 0,34 |
| 5 | D 110 (570.m) | 1,70 | 27,21 | 0,37 |
| 6 | D 110 (525.m) | 2,01 | 24,30 | 0,32 |
| 7 | D 110 (548.m) | 2,33 | 7,57 | 0,08 |
| 8 | D 110 (323.m) | 2,22 | 16,82 | 0,20 |

$$\text{Boşluk hacmi (cm}^3\text{); } V_v = \frac{W_s - W_d}{\rho_s} \quad (4.3)$$

$$\text{Gözeneklilik (porozite) (%); } n = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (4.4)$$

$$\text{Boşluk oranı; } e = \frac{n}{100 - n} \quad (4.5)$$

Burada,

W_d = Kuru ağırlık (g)

W_s = Doygun ağırlık (g)

ρ_w =Suyun yoğunluğu (g/cm³)

4.3.3 Kayaçların mekanik özelliklerini belirleme deneyleri

4.3.3.1 Brazilian (dolaylı çekme) deneyi

Disk şeklinde hazırlanarak laboratuvar ortamında kurutulmuş kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarını tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Deneyde, genellikle çapı 37,7 mm ve boyu 20 mm olarak hazırlanmış karot örnekleri kullanılmıştır. Örnek, yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde deney aletine yerleştirilmiştir. Yükleme ekipmanı olarak nokta yük aleti kullanılmıştır. Numuneler 15-30 sn' de kırılacak bir hızla yüklenmiştir [Fotoğraf 4.11 (a)]. Deneyde yükleme hızı 200 N/s olarak uygulanmıştır. Daha sonra çekilme dayanımı Eşitlik 4.6 yardımıyla bulunmuştur. Örneğin yenildiği andaki yük (F) presin göstergesinden okunmuştur. Deneyde kırılan numuneler Fotoğraf 4.11 (b)' de gösterilmiştir. Deney sonucu bulunan değerlerin ortalaması Çizelge 4.5' de verilmiştir. Deney sonuçları ilgili detaylı veriler Ek-H' da verilmiştir.



Fotoğraf 4.11 (a) Dolaylı çekme deneyinin yapılışı



Fotoğraf 4.11 (b) Dolaylı çekme deneyi sırasında kırılan numuneler

$$\sigma_{\phi} = \frac{0,636 \times F}{D \times t} \quad (4.6)$$

Burada,

σ_{ϕ} = Numunenin çekme dayanımı (MPa)

F = Numunenin yenildiği andaki yük değeri (kN)

D = Numunenin çapı (mm)

t = Numunenin kalınlığı (mm)

Çizelge 4.5 Dolaylı çekme dayanımı belirleme deney sonuçları

| No | Galeri/ Numune Adı | Numune çapı (mm) | Numune boyu (mm) | Çekme dayanımı (MPa) |
|----|-----------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| 1 | G 4007-2 (356.m) | 39,28 | 19,65 | 1,67 |
| 2 | D 110 (512.m) | 37,7 | 20 | 2,92 |
| 3 | D 110 (80.m) | 37,7 | 20 | 10,85 |
| 4 | D 110 (538.m) | 37,7 | 20 | 2,94 |
| 5 | D 110 (570.m) | 37,7 | 20 | 2,01 |
| 6 | D 110 (525.m) | 37,7 | 20 | 2,05 |
| 7 | D 110 (548.m) | 37,7 | 20 | 9,39 |
| 8 | D 110 (323.m) | 37,7 | 20 | 6,22 |

4.3.3.2 Nokta yükü dayanım indeksi deneyi

Nokta yük dayanım indeksi belirleme deneyleri, basınç ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Deney ISRM (1985)' de önerilen yönteme uygun olarak yapılmıştır. Deney, şekilsiz numuneler ve genellikle çapı 37,7 mm, boyu 15 mm olarak ayarlanmış karot numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çapsal olarak yapılan deneyde numuneler 10-60 sn arasında bir hızla yüklenmiştir [Fotoğraf 4.12 (a)]. Deneyde yükleme hızı 200 N/s olarak uygulanmıştır. Elde edilen verilerle aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi tespiti yapılmıştır. Deneyde kırılan numunelere örnek Fotoğraf 4.12 (b)' de gösterilmiştir. Deney sonucunda bulunan değerlerin ortalaması Çizelge 4.6' da verilmiştir. Deney sonuçları ile ilgili kapsamlı bilgi ise Ek-I' da sunulmuştur.



Fotoğraf 4.12 (a) Nokta yük dayanım testinin yapıldığı deney aleti

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (4.7)$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (4.8)$$

$$I_{s(50)} = f \times I_s \quad (4.9)$$

Burada,

I_s = Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi (MPa)

P = Numunenin yenilme yükü (N)

D_e =Eşdeğer çap (mm)

f =Boyut düzeltme faktörü



Fotoğraf 4.12 (b) Nokta yük dayanım testinde kırılan numuneler

Çizelge 4.6. Nokta yükleme deneylerinde elde edilen ortalama sonuçlar

| No | Galeri / Numune Adı | Eşdeğer çap (mm) | Yenilme Yükü (N) | Ortalama Nokta Yük İndeksi (MPa) |
|----|---------------------|------------------|------------------|----------------------------------|
| 1 | G 4007-2 (356.m) | 37,7 | 1309,47 | 0,81 |
| 2 | D 110 (512.m) | 37,7 | 2189,33 | 1,36 |
| 3 | D 110 (80.m) | 37,7 | 5446,78 | 3,38 |
| 4 | D 110 (538.m) | 37,7 | 1455,47 | 0,90 |
| 5 | D 110 (570.m) | 37,7 | 1111,42 | 0,69 |
| 6 | D 110 (525.m) | 37,7 | 1008,45 | 0,62 |
| 7 | D 110 (548.m) | 37,7 | 4205,42 | 2,61 |
| 8 | D 110 (323.m) | 37,7 | 3393,10 | 2,10 |

4.3.3.3 Sonik hız deneyi

Deney, numunelerin içerisinde geçiren sıkışma (P) dalgalarının yayılma hızını tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Deneyin yapılışında ISRM (1981) tarafından önerilen hususlar dikkate alınmıştır. Deneyi gerçekleştirmek için genellikle çapı 37,7 mm ve boyu 21-40 mm arasında değişen karot numuneler hazırlanmıştır [Fotoğraf 4.13(a)]. Deneyin yapımına başlamadan önce karotlar düzeltme makinesinde düzeltilmiştir. Daha sonra bu karot numunelerinin alt ve üst yüzeylerine, sağlıklı ölçüm yapılması amacıyla gres sürülmüştür. Deneyin yapılışı Fotoğraf 4.13(b)' de verilmiştir. Deneyde 1MHz'lik transdüserler kullanılmış ve kullanılan numune ölçümlerinin ortalamaları alınmıştır. Bu deneyde P dalga hızı ölçülmüştür. Eşitlik 4.10' da verilen bağıntı kullanılarak P dalga hızı tespiti yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen değerlerin ortalaması Çizelge 4.7' de sunulmuştur. Deney sonuçları hakkında detaylı bilgi Ek-J' de sunulmuştur.

$$V_p = \frac{L_s}{T_p} \quad (4.10)$$

Burada,

V_p =P dalgasının yayılma hızı (m/s)

L =Silindirik deney örneğinin boyu (sinyalin katettiği mesafe, mm)

$T_p=(t_p-t_0)$; P dalgasının etkin ilerleme zamanı (μs)

t_p = P dalgasının ölçülen yayılma zamanı (μs)



Fotoğraf 4.13 (a) Sonik hız deneyi uygulanan numuneler



Fotoğraf 4.13 (b) Sonik hız deneyinin uygulanışı

Çizelge 4.7 Sonik hız deneylerinde elde edilen ortalama sonuçlar

| No | Galeri /Numune Adı | Numune çapı (mm) | Numune Boyu (mm) | Ortalama V _p (km/s) |
|----|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | G 4007-2 (356.m) | 41,22 | 21,57 | 1,69 |
| 2 | D 110 (512.m) | 37,7 | 40 | 2,22 |
| 3 | D 110 (80.m) | 37,7 | 40 | 2,52 |
| 4 | D 110 (538.m) | 37,7 | 40 | 2,02 |
| 5 | D 110 (570.m) | 37,7 | 40 | 1,81 |
| 6 | D 110 (525.m) | 37,7 | 40 | 2,01 |
| 7 | D 110 (548.m) | 37,7 | 40 | 2,68 |
| 8 | D 110 (323.m) | 37,7 | 40 | 2,59 |

4.3.3.4 Disk makaslama dayanım indeksi deneyi

Bu deney; disk şeklinde hazırlanmış örneklerin disk makaslama dayanım indekslerinin tespiti amacıyla gerçekleştirilmiştir. Deney, ISRM (2004)' e uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneyi gerçekleştirmek için genellikle çapı 41,45 mm ve boyu 5-10 mm arasında değişen karot numuneler hazırlanmıştır. Deneyin yapılışı Fotoğraf 4.14' de verilmiştir. Deney sonuçlarının belirlenmesinde kullanılan formüller Eşitlik 4.11, Eşitlik 4.12 ve Eşitlik 4.13' de sunulmuştur. Deney sonucunda elde edilen değerlerin ortalaması Çizelge 4.8' de sunulmuştur. Deney sonuçları hakkında detaylı bilgi Ek-K' da sunulmuştur.



Fotoğraf 4.14 Disk makaslama deney düzeneği

$$BPI_c = \frac{F_{t,D} \times K_t \times K_D}{(921 \times 10^{-3})} \quad (4.11)$$

$$K_t = 13,7 \times t^{-1,1265} \quad (4.12)$$

$$K_D = 234,53 \times D^{-1,3926} \quad (4.13)$$

Burada,

BPI_c =Çap ve kalınlık düzeltmesi yapılarak hesaplanmış disk makaslama dayanım indeksi (MPa)

t = Numune kalınlığı (mm)

D =Numune çapı (mm)

$F_{t,D}$ = Yenilme anında t kalınlığında ve D çapındaki örneğe uygulanan kuvvet (kN)

Çizelge 4.8 Disk makaslama deneylerinde elde edilen ortalama sonuçlar

| No | Galeri /Numune Adı | Numune çapı (mm) | Numune Kalınlığı (mm) | Disk Makaslama Dayanım İndeks Değeri (MPa) |
|----|--------------------|------------------|-----------------------|--|
| 1 | G 4007-2 (356.m) | 41,45 | 6,76 | 3,11 |
| 2 | D 110 (512.m) | 41,45 | 10 | 5,91 |
| 3 | D 110 (80.m) | 41,45 | 10 | 9,21 |
| 4 | D 110 (538.m) | 41,45 | 10 | 4,01 |
| 5 | D 110 (570.m) | 41,45 | 10 | 2,55 |
| 6 | D 110 (525.m) | 41,45 | 10 | 4,52 |
| 7 | D 110 (548.m) | 41,45 | 10 | 10,52 |
| 8 | D 110 (323.m) | 41,45 | 10 | 6,37 |

4.3.4 Deney sonuçlarının karşılaştırılması

Gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler Ulusay ve diğ. [40]' da belirtilen tablolarla hesaplanarak ekler kısmında verilmiştir. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden ve arazi çalışmalarından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9' da sunulmuştur.

Çizelge 4.9 Laboratuvar ve arazi çalışmalarından elde edilen toplu sonuçlar

| Num. No | Galeri Adı | Metraj | Net Kazı Hızı (m ³ /h) | Brazilian Çekme Dayanımı (MPa) | Nokta Yük Dayanım İndeksi (MPa) | Sonik (P Dalga) Hız Değeri (km/s) | Disk Makaslama Dayanım İndeksi (MPa) | Yoğunluk (g/cm ³) | Porozite (%) |
|---------|-------------------------|--------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------|
| 1 | G 4007-2.1 Ana Desandre | 356 | 12,5 | 1,67 | 0,81 | 1,69 | 3,11 | 2,2 | 20,46 |
| 2 | D 110 Alt Taban Yolu | 512 | 12,93 | 2,92 | 1,36 | 2,22 | 5,91 | 2,11 | 16,79 |
| 3 | D 110 Alt Taban Yolu | 80 | 8,62 | 10,85 | 3,38 | 2,52 | 9,21 | 2,22 | 12 |
| 4 | D 110 Alt Taban Yolu | 538 | 10,26 | 2,94 | 0,9 | 2,02 | 4,01 | 1,69 | 25,39 |
| 5 | D 110 Alt Taban Yolu | 570 | 6,47 | 2,01 | 0,69 | 1,81 | 2,55 | 1,7 | 27,21 |
| 6 | D 110 Alt Taban Yolu | 525 | 10,49 | 2,05 | 0,62 | 2,01 | 4,52 | 2,01 | 24,3 |
| 7 | D 110 Alt Taban Yolu | 548 | 12,58 | 9,39 | 2,61 | 2,68 | 10,52 | 2,33 | 7,57 |
| 8 | D 110 Alt Taban Yolu | 323 | 10,94 | 6,22 | 2,1 | 2,59 | 6,37 | 2,22 | 16,82 |

4.4 Performans Tahmin Modelleri Geliştirilmesi

4.4.1 Basit korelasyon analizi

İki değişken arasındaki ilişkinin ya da korelasyonun derecesini belirlemek için kullanılan istatistiksel yöntemdir.

Basit korelasyonlar aşağıdaki durumlarda ortaya çıkmaktadır:

- Değişkenlerden biri çoğalıyorken diğeri azalıyorsa, bunların arasında negatif korelasyon vardır.
- Değişkenlerden biri çoğalıyorken diğeri de çoğalıyorsa bunların arasında pozitif korelasyon vardır.
- Değişkenlerin birinin çoğalıp azalmasından diğeri etkilenmiyorsa veya serpilme diyagramında noktalar daire benzeri bir alanda toplanıyorsa iki değişkenin arasında korelasyon yoktur [41].

Korelasyon kuvvet derecesi korelasyon katsayısı (r) ile ölçülür. Çizelge 4.10'da korelasyon katsayısına göre iki değişken arasındaki korelasyonun değerlendirilmesi verilmiştir.

Çizelge 4.10 Korelasyon katsayısına göre değişkenler arası ilişkinin kuvvet derecesi [41].

| Korelasyon Katsayısı | Değişkenler arasındaki ilişkinin kuvvet derecesi |
|----------------------|--|
| -1.000- 0.850 | Çok kuvvetli negatif korelasyon |
| -0.849-0.600 | Kuvvetli negatif korelasyon |
| -0.599-0.450 | Zayıf negatif korelasyon |
| -0.449-0.300 | Çok zayıf negatif korelasyon |
| -0.299-0.300 | Korelasyon ilişkisi yok |
| 0.301-0.450 | Çok zayıf pozitif korelasyon |
| 0.451-0.600 | Zayıf pozitif korelasyon |
| 0.601-0.850 | Kuvvetli pozitif korelasyon |
| 0.851-1.000 | Çok kuvvetli pozitif korelasyon |

4.4.2 Basit regresyon analizi

İki değişken arasındaki korelasyonun matematiksel ifadesini tespit etmek için yapılan analizdir. Bu matematiksel ifadeye de “regresyon denklemi” adı verilmektedir.

Regresyon denkleminin genel formülü bir doğruya karşılık gelen,

$$Y = a + bX \quad (4.14)$$

şeklindedir.

Burada,

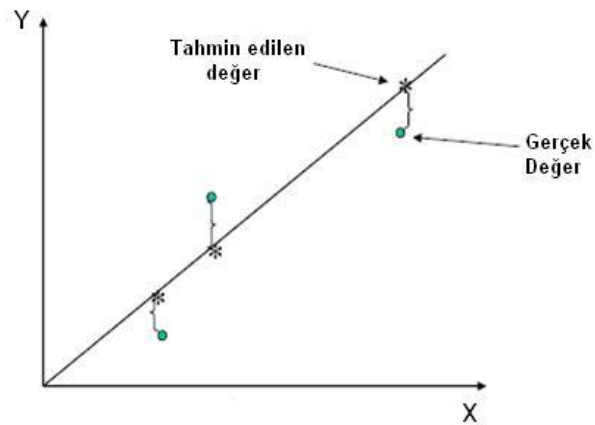
X = bağımsız değişkenin değeri,

Y = bağımlı değişkenin değeri

a= regresyon doğrusunun y eksenini kestiği değer,

b= regresyon doğrusunun eğimi

Hazırlanan bir serpilme diyagramında göz kararı ile, noktaları temsil eden çeşitli doğrular çizilebilir. Ancak değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi ifade eden denklem en küçük kareler metodu ile bulunan denklemdir. Buna göre, serpilme diyagramındaki noktaların doğruya olan dik uzaklıklarının karelerinin toplamı minimumdur ve buna “en küçük kareler doğrusu” denir [41]. En küçük kareler doğrusu Şekil 4.13’ de görülmektedir.



Şekil 4.13 En küçük kareler doğrusu

4.4.3 Çok katlı regresyon

Bir bağımlı değişkene karşılık bir bağımsız değişkenin iki veya daha fazla dereceden ilişkisine “çok katlı regresyon” ve korelasyon analizi” denir. Serpilme diyagramında noktalar bir parabol veya daha kompleks denklemlerle ifade edilecek eğri etrafında toplanmaktadır. Genel formülü,

$$Y = a + b_1X + b_2 X^2 + b_3 X^3 + \dots + b_n X^n \quad (4.15)$$

şeklindedir. Bilgisayar yardımı olmadan iki değişkenin üç veya daha fazla dereceden ilişkisini bulmak oldukça zordur ve uzun işlemler gerektirir.

İki değişkenin ikinci dereceden ilişkisinin incelenmesi genellikle yeterli olmaktadır. Fakat daha üst dereceden ilişkilerin daha uygun olup olmadığının araştırılmasının en kolay yolu tahmin edilen bütün derecelerden regresyon denklemlerinin bulunması ve her birinin ‘b’ katsayılarının toplam hatalarının hesaplanmasıdır. En az hatalı denklem noktaları en iyi temsil ettiğinden, regresyon analizi bu dereceden yapılmalıdır [41].

4.4.4 Çoklu regresyon ve korelasyon analizi

Bir bağımlı değişkene karşılık birden fazla bağımsız değişkenin ilişkisini inceleyen işleme “çoklu regresyon ve korelasyon analizi” denir. Dağılım diyagramında yüzey, hacim veya daha çok boyutlu şekiller oluşur. Çünkü dağılım diyagramında yatay düzlem üzerinde bağımsız değişken sayısı kadar eksen yerleştirmek gerekir. Genel formülü;

$$Y = a + b_1X + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_n X_n \quad (4.16)$$

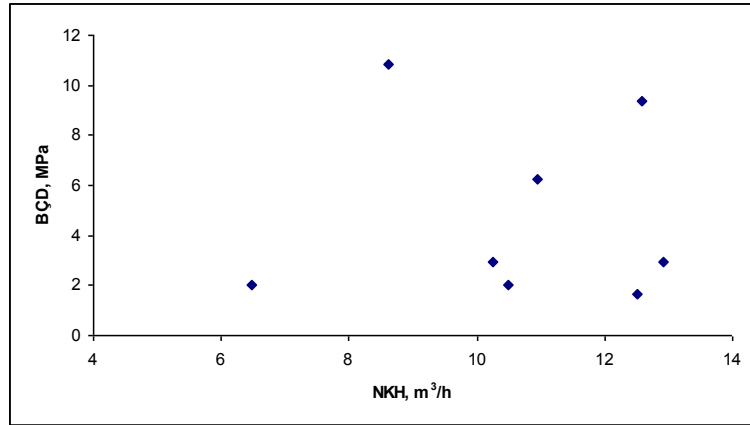
şeklindedir [41].

4.4.5 GAM performans modeli geliştirmek amacıyla yapılan regresyon analizleri

4.4.5.1 Basit regresyon analizi uygulamaları

- **Net kazı hızı-Brazilian çekme dayanımı arasındaki ilişki**

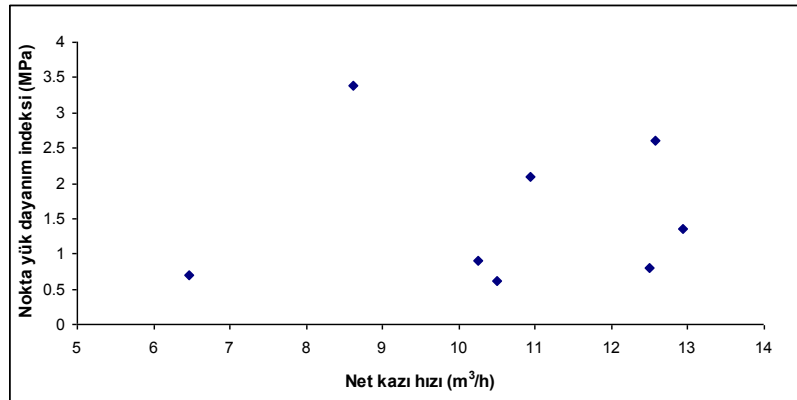
Galeri açma makinesinin net kazı hızının kazı malzemesinin dolaylı çekme dayanımına göre değişimi incelenmiştir. İnceleme sonucunda bu iki parametre arasında bir ilişki bulunamamıştır. Değerlendirmede elde edilen grafik Şekil 4.14' de verilmiştir.



Şekil 4.14 Net kazı hızı ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki

- **Net kazı hızı-Nokta yüklenme dayanım indeksi arasındaki ilişki**

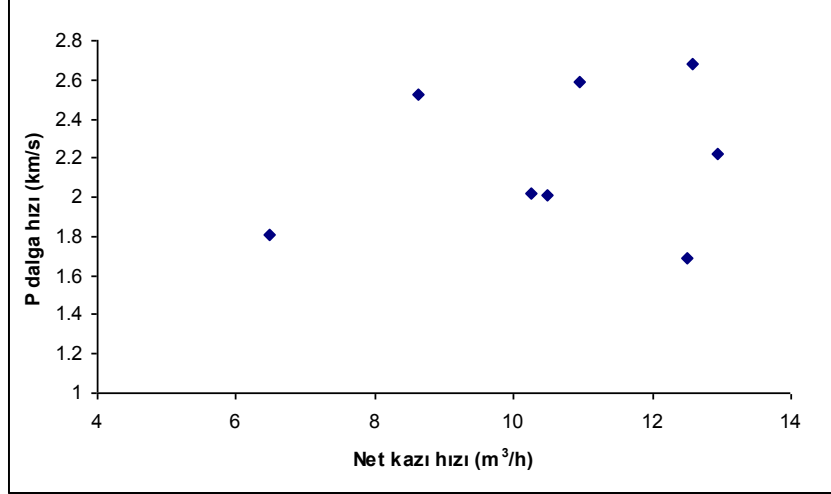
Galeri açma makinesinin net kazı hızının kazı malzemesinin nokta yük dayanım indeksi ile değişimi incelenmiştir. İnceleme sonunda bu iki parametre arasında ilişki bulunamamıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.15' de verilmiştir.



Şekil 4.15 Net kazı hızı ile nokta yük dayanım indeksi arasındaki ilişki

- **Net kazı hızı-P dalga hızları arasındaki ilişki**

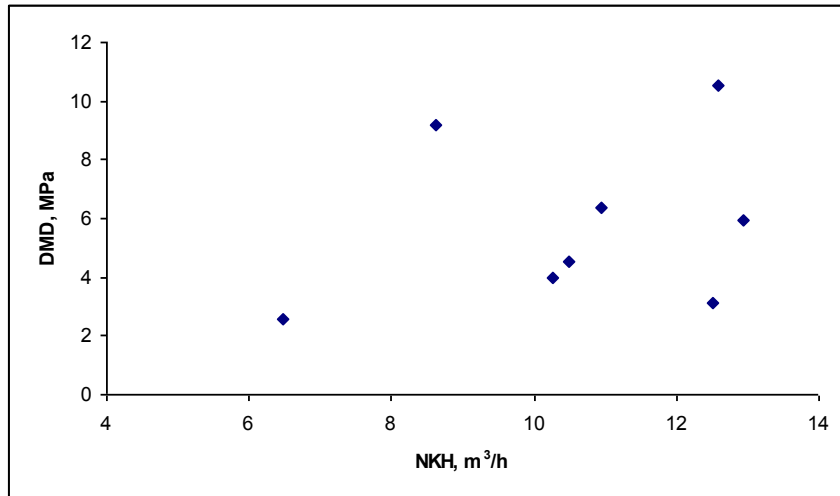
Makinenin net kazı hızı ile kazı sırasında geçilen formasyonda P dalgası yayılma hızı arasındaki ilişki incelenmiştir. İnceleme sonunda net kazı hızı ile P dalga hızı arasında ilişki bulunamamıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.16' da verilmiştir.



Şekil 4.16 Net kazı hızı ile P dalga hızı arasındaki ilişki

- **Net kazı hızı-Disk makaslama dayanımı arasındaki ilişki**

Galeri açma makinesinin net kazı ile kazılan formasyonun disk makaslama dayanım değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. İnceleme sonunda bu iki parametre arasında ilişki bulunamamıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.17' de verilmiştir.



Şekil 4.17 Net kazı hızı ile disk makaslama dayanımı arasındaki ilişki

- **Net kazı hızı-yoğunluk arasındaki ilişki**

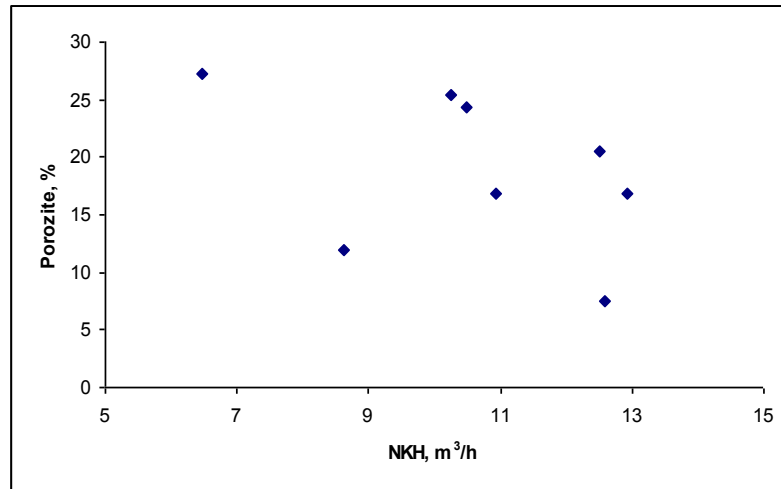
Makinenin net kazı hızı ile kazılan formasyonun yoğunluğu arasında ilişki incelenmiştir. İnceleme sonunda bu iki parametre arasında ilişki bulunamamıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.18’ de verilmiştir.



Şekil 4.18 Net kazı hızı ile yoğunluk arasındaki ilişki

- **Net kazı hızı-porozite arasındaki ilişki**

Galeri açma makinesinin net kazı hızı ile kazılan formasyonun porozite değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. İncelenme sonunda bu iki parametre arasında ilişki bulunamamıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.19’ da verilmiştir.



Şekil 4.19 Net kazı hızı ile porozite arasındaki ilişki

4.4.5.2 Adım adım regresyon analizi

Regresyon analizi, biri bağımlı diğeri bağımsız değişkenler olmak üzere; değişkenler arasındaki ilişkinin matematiksel olarak ifadesidir. Bağımlı değişken, bulunmak istenen değişkendir. Bağımsız değişkenler ise, bağımlı değişkenin tespitinde kullanılırlar. Bu çalışma kapsamında net kazı hızı bağımlı değişkeni ifade etmektedir. Bağımsız değişkenler ise BÇD, I_{s50} , V_p , DMD, yoğunluk ve porozitedir.

Bu tez çalışması kapsamında çoklu regresyon analizi STATGRAPHICS Vers.5.0 programı yardımıyla yapılmıştır. Yapılan çalışmada Çizelge 4.9’da verilen değerler kullanılarak model oluşturmak amaçlanmıştır. Elde edilen regresyon analizi sonuçları Çizelge 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 ve 4.15’ de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Model 1’ in çıktısı

| Stepwise Selection for TEZ.NKH | | | |
|--|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| Selection: Backward Control: Manual | Maximum steps: 500 Step: 0 | F-to-enter: 4.00 F-to-remove: 4.00 | |
| R-squared: .82036 | Adjusted: -.25748 | MSE: 6.14009 | d.f.: 1 |
| Variables in Model | Coeff. | F-Remove | Variables Not in Model P.Corr. F-Enter |
| 1. TEZ. BCD | -0.84378 | .1764 | |
| 2. TEZ. NYUK | -0.66402 | .0108 | |
| 3. TEZ. VP | 1.49379 | .0453 | |
| 4. TEZ. DMD | 0.26730 | .0152 | |
| 5. TEZ. YOGUNLUK | 2.09345 | .0487 | |
| 6. TEZ. POROZITE | -0.37994 | .2312 | |

Model 1 oluşturulurken yapılan bütün deneyler analize dahil edilmiştir. Analiz sonunda korelasyon katsayısı 0,82 olarak bulunmuştur. Bu modelden elde edilen matematiksel ifade Eşitlik 4.17’ de verilmiştir.

$$NKH=13,66-0,84BÇD-0,66I_s+1,49V_p+0,27DMD+2,09\gamma-0,38n \quad (4.17)$$

Burada,

NKH=Net kazı hızı (m³/h)

BÇD=Brazilian çekme dayanımı (MPa)

I_s =Nokta yük dayanım indeksi (MPa)

V_p=P dalga hızı (km/s)

DMD=Disk makaslama dayanım indeksi (MPa)

γ = Yoğunluk (g/cm³)

n=Porozite (%)

Model 2' de nokta yük dayanım değerleri model dışında tutularak analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonunda korelasyon katsayısı 0,82 olarak bulunmuştur. Modelden elde edilen matematiksel ifade Eşitlik 4.18' de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Model 2' nin çıktısı

| Stepwise Selection for TEZ. NKH | | | | | |
|---------------------------------|----------|--------------------|-------------------|--|---------|
| Selection: Backward | | Maximum steps: 500 | F-to-enter: 4.00 | | |
| Control: Manual | | Step: 1 | F-to-remove: 4.00 | | |
| R-squared: .81842 | | Adjusted: .36448 | MSE: 3.10315 | | d.f.: 2 |
| Variables in Model | | Coeff. | F-Remove | Variables Not in Model P.Corr. F-Enter | |
| 1. TEZ. BCD | -1.03833 | 4.0639 | 2. TEZ. NYUK | .1033 | .0108 |
| 3. TEZ. VP | 1.22315 | .0697 | | | |
| 4. TEZ. DMD | 0.39530 | .0968 | | | |
| 5. TEZ. YOGUNLUK | 2.10292 | .0973 | | | |
| 6. TEZ. POROZITE | -0.34248 | .4695 | | | |

$$NKH=12,69-1,04BÇD-1,22V_p+0,40DMD+2,10 \gamma-0,34n \quad (4.18)$$

Burada,

NKH=Net kazı hızı (m³/h)

BÇD=Brazilian çekme dayanımı (MPa)

V_p=P dalga hızı (km/sn)

γ = Yoğunluk (g/cm³)

n=Porozite (%)

Çizelge 4.13 Model 3' ün çıktısı

| Stepwise Selection for TEZ. NKH | | | | | |
|---------------------------------|----------|----------------|----------|------------------------|-----------------|
| ----- | | | | | |
| ----- | | | | | |
| Selection: | Backward | Maximum steps: | 500 | F-to-enter: | 4.00 |
| Control: | Manual | Step: | 2 | F-to-remove: | 4.00 |
| R-squared: | .81210 | Adjusted: | .56156 | MSE: | 2.14084 d.f.: 3 |
| Variables in Model | | Coeff. | F-Remove | Variables Not in Model | P.Corr. F-Enter |
| ----- | | | | | |
| 1. TEZ. BCD | | -1.02374 | 5.7930 | 2. TEZ. NYUK | .0262 .0014 |
| 4. TEZ. DMD | | 0.57773 | .4253 | 3. TEZ. VP | .1835 .0697 |
| 5. TEZ. YOGUNLUK | | 2.33965 | .1777 | | |
| 6. TEZ. POROZITE | | -0.31228 | .5972 | | |

Model 3' de nokta yük dayanım değerleri, sonik hız değerleri hesaba katılmadan analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda korelasyon katsayısı 0,81 olarak bulunmuştur. Elde edilen matematiksel ifade Eşitlik 4.19' da verilmiştir.

$$NKH=13,19-1,02B\check{C}D+0,58DMD+2,34\rho-0,31n \quad (4.19)$$

Burada,

NKH=Net kazı hızı (m³/h)

BÇD=Brazilian çekme dayanımı (MPa)

V_p=P dalga hızı (km/sn)

n=Porozite (%)

Model 4' de nokta yük indeksi, sonik hız değerleri ve yoğunluk hesaba katılmadan model oluşturulmuştur. Bu şekilde yapılan regresyon analizinde korelasyon katsayısı 0,78 olarak bulunmuştur. Elde edilen matematiksel ifade Eşitlik 4.20' de verilmiştir.

$$NKH=21,52-1,04B\check{C}D+0,43DMD-0,45n \quad (4.20)$$

Burada,

NKH=Net kazı hızı (m³/h)

BÇD=Brazilian çekme dayanımı (MPa)

n=Porozite (%)

Çizelge 4.14 Model 4' ün çıktısı

| Stepwise Selection for TEZ.NKH | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------------|------------------------|--------------|---------|
| ===== | | | | | |
| ===== | | | | | |
| Selection: | Backward | Maximum steps: | 500 | F-to-enter: | 4.00 |
| Control: | Manual | Step: | 3 | F-to-remove: | 4.00 |
| R-squared: | .80097 | Adjusted: | .65170 | MSE: | 1.70071 |
| Variables in Model | | | | d.f.: | 4 |
| | Coeff | F-Remove | Variables Not in Model | P.Corr. | F-Enter |
| ----- | | | | | |
| 1. TEZ. BCD | -1.04454 | 7.6950 | 2. TEZ.NYUK | .0157 | .0007 |
| 4. TEZ. DMD | 0.43408 | .3548 | 3. TEZ. VP | .2081 | .1359 |
| 6. TEZ. POROZITE | -0.44966 | 4.4600 | 5. TEZ. YOGUNLUK | .2364 | .1777 |

Model 5' de sadece brazilian çekme dayanım değerleri ve porozite değerleri hesaba katılmıştır. Bu şekilde yapılan regresyon analizinde korelasyon katsayısı 0,78 olarak bulunmuştur. Elde edilen matematiksel ifade Eşitlik 4.21' de verilmiştir.

Çizelge 4.15 Model 5' in çıktısı

| Stepwise Selection for TEZ.NKH | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------------|------------------------|--------------|---------|
| ===== | | | | | |
| ===== | | | | | |
| Selection: | Backward | Maximum steps: | 500 | F-to-enter: | 4.00 |
| Control: | Manual | Step: | 4 | F-to-remove: | 4.00 |
| R-squared: | .78332 | Adjusted: | .69664 | MSE: | 1.48124 |
| Variables in Model | | | | d.f.: | 5 |
| | Coeff | F-Remove | Variables Not in Model | P.Corr. | F-Enter |
| ----- | | | | | |
| 1. TEZ. BCD | -0.88236 | 13.2153 | 2. TEZ.NYUK | .1567 | .1007 |
| 6. TEZ. POROZITE | -0.54638 | 18.0746 | 3. TEZ. VP | .3219 | .4624 |
| | | | 4. TEZ. DMD | .2854 | .3548 |
| | | | 5. TEZ. YOGUNLUK | .0994 | .0399 |

$$NKH=25,08-0,88BÇD-0,55n \quad (4.18)$$

Burada,

NKH=Net kazı hızı (m³/h)

BÇD=Brazilian çekme dayanımı (MPa)

n=Porozite (%)

Yapılan regresyon analizlerinde en yüksek korelasyon katsayıları Model 1 ve Model 2’ de bulunmuştur. En iyi model olarak daha az değişkenin girdiği daha kolay uygulanabilir bir model olan Model 5 kabul edilmiştir. Model 5’ in korelasyon katsayısı 0,78’ dir. Geliştirilen modeller üzerinde F ve t testleri yapılarak, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.16’ da verilmiştir. Elde edilen modeller t ve F testine tabi tutulduklarında sadece Model 5’ in hem F hem de t testini geçtiği görülmüştür.

Çizelge 4.16 Geliştirilen modellerin F ve t testleri

| Model/Eşitlik | Bağımsız değişkenler | t-test | t-tablo | F-test | F-tablo |
|---------------------------|-------------------------|--------|---------|--------|---------|
| Model-1 (Eşitlik 4.14) | Brazilian dayanımı | -0,42 | ±4,30 | 0,76 | 19,29 |
| | Nokta yük indeksi | -0,10 | | | |
| | P Dalga hızı | 0,21 | | | |
| | Disk makaslama dayanımı | 0,12 | | | |
| | Yoğunluk | 0,22 | | | |
| | Porozite | 0,48 | | | |
| Model-2 (Eşitlik 4.15) | Brazilian dayanımı | -2,02 | ±3,18 | 1,80 | 9,12 |
| | P dalga hızı | 0,26 | | | |
| | Disk makaslama dayanımı | 0,31 | | | |
| | Yoğunluk | 0,31 | | | |
| | Porozite | -0,69 | | | |
| Model-3 (Eşitlik 4.16) | Brazilian dayanımı | -2,40 | ±2,78 | 3,24 | 6,59 |
| | Disk makaslama dayanımı | 0,65 | | | |
| | Yoğunluk | 0,42 | | | |
| | Porozite | -0,77 | | | |
| Model-4 (Eşitlik 4.17) | Brazilian dayanımı | -2,77 | ±2,57 | 5,36 | 5,79 |
| | Disk makaslama dayanım | 0,59 | | | |
| | Porozite | -2,11 | | | |
| Model-5 (Eşitlik 4.18) | Brazilian dayanımı | -3,63 | ±2,45 | 9,03 | 5,99 |
| | Porozite | -4,25 | | | |

BÖLÜM V

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Park Termik A.Ş. Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesinde kullanılan Dosco Mk2B kollu GAM' nın kazı performanslarının tahminine yönelik istatistiksel modeller geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- Arazi çalışmalarında hazırlık çalışmaları işçilik performansı açısından değerlendirildiğinde, işçilik performanslarının en düşük 13,53 cm/yevmiye ve en yüksek 21,79 cm/yevmiye olduğu görülmüştür. İşçilik performanslarının taştan açılan galerilerde ve kısa uzunluğa sahip galerilerde düşük çıktığı tespit edilmiştir.
- G 710, G 809, G 810, G 4007-2-1 Ana Desandre ve D 110 galerilerde yapılan zaman etüdlerinde Dosco Mk2B kollu galeri açma makinelerinin net kazı hızları incelendiğinde maksimum 21,36 m³/h ve minimum 8,37 m³/h olduğu tespit edilmiştir. Taştan sürülen galerilerde GAM net kazı hızı azalmıştır.
- Galeri (makine) ilerleme hızlarının ise maksimum 7,69m³/h ile 3,96 m³/h aralığında değiştiği tespit edilmiştir. İnceleme yapılan galerilerde GAM net kazı süresi (makineden faydalanma oranı) maksimum % 56,22 olarak tespit edilmiştir.
- Çalışma yapılan sahada GAM performansına etki eden işletme ile ilgili faktörler; tahkimat çalışması, vardiya değişimi (çalışma bölgelerine ulaşım), bakım çalışmaları, mekanik aksamalarda oluşan arızalar, elektrik arızaları, GAM kazı nakliyat ekipmanlarının uzatılması (nakliyat üniteleri uzatımı), diğer işler (topoğraf çalışması, su çekimi), genel yan işler (vantüp bağlama, basınçlı hat montajı, pasa temizliği, toz bastırma ekipmanı montaj ve ilerletilmesi) olarak belirlenmiştir. Bu işletme ile ilgili faktörlerden galeri ilerleme hızını (GAM performansını) en fazla olumsuz yönde etkileyen faktörün tahkimat çalışması olduğu görülmektedir.
- Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilerle yapılan basit regresyon analizinde parametreler arasında ilişki ortaya çıkarılamamıştır. Basit regresyonda parametreler arasında ilişki bulunamamasında özellikle kazı

sırasında kazı malzemesinin kil içeriğinin etkili olduğu düşünülmektedir. Arazi gözlemleri sırasında, kazı sırasında kil GAM kesici kafa üzerindeki kesikleri sıvamakta ve kazı performansında olumsuzluklara yol açmaktadır.

- Adım adım değerlendirilerek yapılan çoklu regresyondan elde edilen en iyi model kuvvetli pozitif kuvvetli korelasyona ($R^2=0,82$) sahiptir, fakat 6 değişken içermektedir ve istatistiksel güvenilirlik testlerini geçememiştir.
- Net kazı hızınının tespitine yönelik oluşturulan modellerden 5.model biri kayacın fiziksel özelliği (porozite) ve diğeri de mekanik özelliği (Brazilian dayanımı) olmak üzere iki bağımsız değişken içermektedir. Model 5, t ve F testlerinde istatistiksel olarak güvenli bir model olması, bağımsız değişken sayısının az olması ve değişkenlerinin kolay deney yöntemleri ile belirlenebilir olduğu gerekçeleri ile uygulamada kullanılabilir bir model olduğuna karar verilmiştir. Elde edilen en iyi modelin matematiksel ifadesi, Eşitlik 4.18' de verilmiştir.

Yukarıdaki sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Çalışmada, GAM için performans tahmin modeli oluşturulmasında galeri yüzeyindeki süreksizlikler dikkate alınmamıştır. Süreksizliklerin GAM ile kazı performansına etkisinin bir çalışma kapsamında incelenmesi faydalı olacaktır.
- Hazırlık kazılarında daha önceki tecrübelerden tam olarak faydalanabilmek amacıyla, kazı çalışmaları sırasında geçilen formasyonların kayıt altına alınması, mümkünse fay vb. durumlarda formasyonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin (pratik bir şekilde indeks deneylerle) belirlenmesi ve bu lokasyonlarda GAM' nın kazı sırasında iş-zaman etüdlerinin de tutulmasının gerekliliği görülmüştür.
- Performans tahminine yönelik yapılan çalışmalarda özellikle kömür yan kayaçlarında yapılan çalışmalar inceleniyorsa özellikle kil içeriği tespiti yapılması faydalı olacaktır. Kil içeriğinin GAM kazı performansına etkisinin irdelenmesi faydalı olacaktır.
- Çalışma kapsamında spesifik enerji değerlendirilmeye katılmamıştır. Kazı sırasında spesifik enerjinin makinenin çektiği akım değerlerinden veya alınacak numuneler üzerinde kesme deneylerinde tespit edilerek kazı performansına etkilerinin incelenmesi yerinde olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Çomaklı, R., Niğde ve Kayseri Yöresindeki Cevherlerin Makine İle Kazılabilirliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde, 2010.
- [2] Bilim, N., Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kazı Makinalarının Performanslarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri İle İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2007.
- [3] Bilgin, N., İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1989.
- [4] Tatar, Ç. ve Özfirat, M., Yer altı Maden Makineleri ve Mekanizasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 309, İzmir, 2003.
- [5] Fauser, H. (Çeviren:Eskikaya, Ş.), Kesici-Yükleyiciler ve Galeri Açma Makineleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sayı 1186, İstanbul, 1981.
- [6] Eyüboğlu, E. M. ve Bölükbaşı, N., TKİ-OAL Çayırhan Yeraltı İşletmesinde Hazırlık Çalışmalarının Değerlendirilmesi, Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 2004.
- [7] Çilsal, M., Ankara Metrosu 3.Aşama Projesinde TBM İle Açılan Tünellerin Duraylılık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2003.
- [8] Özbay, G., Marmaray Projesi Mühendislik Jeolojisi Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2009.
- [9] Acaroğlu, Ö., Bomlu Kazı Makinelerinde Kesici Kafa Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1996.
- [10] Tiryaki, B. ve Hekimoğlu, O. Z., Mekanik Kazı Makinalarında Kesme Titreşim Analizi, Madencilik Dergisi, Sayı:3, Cilt:37, Eylül, 1998.
- [11] www.betek.du, 2012.
- [12] Tunçdemir, H., Kollu Galeri Açma Makinelerinin Veya Benzer Makinelerin Cevher Kazısında Kullanımlarının Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2002.
- [13] Kahraman, E., Madencilikte Mekanize Kazı ve Kollu Galeri Açma Makineleri, Yüksek Lisans Seminer Kitapçığı, Niğde Üniversitesi, Niğde, 2011.

- [14] Tiryaki, B., Keski Dizilim Parametrelerinin Tamburlu Kesici Yükleycilerin Performansına Etkilerinin İncelenmesi, *Yerbilimleri Dergisi*, Sayı:, Cilt: , 2000.
- [15] Keleş, S., Cutting Performance Assesmeent Of a Medium Weight Roadheader At Çayırhan Coal Mine, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2005.
- [16] Çopur, H., Balcı, C. ve Tokat, M., Soma-Kınık Bölgesinde Bir Kömür Ocağının Galeri Kazısı İçin Kollu Galeri Açma Makinesi Seçimi ve Performans Tahmini, Türkiye 18. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, pp. 335-351, Zonguldak, 2012.
- [17] www.Dosco.co.uk., 2008.
- [18] Hekimoğlu, O. Z. ve Powell, R. İ., Bomlu Kazı Makinalarının Temel Özellikleri ve Seçimi, Türkiye 6. Kömür Kongresi, pp. 29-52, Zonguldak, 1988.
- [19] Çetin, O. ve Saraç, S., Toz Bastırıcı Verimini Etkileyen Bazı Faktörlerin Araştırılması, Türkiye 11.Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 1998.
- [20] Akçın, N.A. ve Akkaş, E., Gelik İşletmesi' nde Kullanılan Kollu Galeri Açma Makinasının Performansının İncelenmesi, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, pp.171-180, Ankara, 2011.
- [21] Akçın, N. A., Bilgin, N. ve Kel, K., Zonguldak Havzası' nda Galeri Açma Makinesinin Kullanımının Araştırılması, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir, 2005.
- [22] Tunçdemir, H. ve Bilgin, N., Kollu Galeri Açma Makinelerinin Cevher Kazısında Kullanımının Araştırılması, *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 2, pp. 14-26, 2002.
- [23] Eskikaya, Ş. ve Pichler, J., Kollu Galeri Açma Makineleri (Roadheader) ve Madencilik Alanında Kullanımı İle İlgili Bazı Veriler, Tünel ve Galeri Açma Meslek İçi Semineri, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1994.
- [24] Gehring, K.H., A Cutting Comparison, *Tunnels&Tunneling*, pp.27-30, November, 1989.
- [25] Thuro, K., Plinninger, R.J., Roadheader Excavation Performance-Geological and Geological Influences, 9 th ISRM Congress, Theme 3: Rock Dynamics and Tectonophysics/Rock Cutting and Drilling, Department for General, Applied and Engineering Geology, Technical University of Munich, Paris, 1999.
- [26] Rostami J. and Özdemir, L., Roadheaders Performance Optimization for Mining and Civil Construction, Proceedings of 13th Annual Technical Conference, Instute of Shaft Drilling Technology (ISDT), Las Vegas, 1994.

- [27] Bilgin, N., Seyrek, T., Erdinç, E. and Shatriar, K., Roadheaders Glean Valuable Tips for İstanbul Metro, Tunnels and Tunneling, 22, pp. 29-32, 1990.
- [28] Balcı, C., Tunçdemir, H., Bilge, İ., Bilgin, N. ve Eskikaya, Ş., Jeolojik Süreksizliklerin ve Yanal Basınçların Keskilerin Kesme Performansı Üzerindeki Etkileri, Türkiye 15.Madencilik Kongresi, pp.156-161, 1997.
- [29] Kahraman, E. ve Erarslan, O., Çayırhan Linyit İşletmesi G Sahasında Hazırlık Çalışmalarının Değerlendirilmesi, 3.Maden Makineleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, pp 83, İzmir, 2011.
- [30] Yağmurlu, F., Helvacı, C. ve İnci, U., Beypazarı Linyit Yataklarının Jeolojik Konumu ve Geometri Özellikleri, Türkiye 6.Kömür Kongresi, pp. 529-545.,1988.
- [31] Aydın, Y. ve Fünfstück, J., Beypazarı Projesi Raporu, 6.Kömür Kongresi, pp. 53-71, 1988.
- [32] Selamet, A.N., Tarhan, Ş., Kahraman, E., Büyükbaş, F., Yazıcı, O. ve Erarslan, O., Study Of Production Operations Of Full Mechanized Longwall Mining İn Çayırhan Underground Coal Mine, 22.Dünya Madencilik Kongresi, İstanbul, 2011.
- [33] Güyagüler, T. ve Güler, M., Yerli Kömür İle Çalışan Kömür Santrallerinin Kömür Rezervleri İle Birlikte Değerlendirilmesi, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, Ankara, 2011.
- [34] Kartal, İ., Galeri Açma Makinası Operatörü Yetiştirme Eğitimi, Türkiye Kömür İşletmeleri, Ankara, 1993.
- [35] Kahraman, E., Erdem, H.H. ve Sığırcı, C., Park Termik A.Ş. Çayırhan Linyit İşletmesi Kazı Tahkimat Söküm İşleri Eğitim Kitabı, Ankara, 2011.
- [36] Kahraman, E., Erdem, H.H. ve Sığırcı, C., Park Termik A.Ş. Çayırhan Linyit İşletmesi Yeraltı Çalışanları İçin İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitim Kitabı, Ankara, 2011.
- [37] Çetin, O. ve Eyüboğlu, E. M., Tam Mekanize Galeri Açma Çalışmalarının CPM ile Planlaması, Madencilik Dergisi, Sayı:4, Cilt:33, 1994.
- [38] Aydın, Y. ve Kaygusuz, Y., Modern Teknoloji İle Donatılan Park Teknik Çayırhan Kömür İşletmesinin Tanıtılması, Türkiye 12.Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, pp.117-128, 2000.

- [39] Kahraman, E., Erarslan, O., Çavuşoğlu, İ. ve Yılmaz, A.O., Mekanize Uzun Ayaklarda Kömür Damar Eğiminin Ayak Söküm Süresine Etkisi, Madencilik Dergisi, Sayı:4 , Cilt: 50, pp. 29-37, Aralık, 2011.
- [40] Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 2005.
- [41] Temur, S., Jeolojide Veri Analizleri, Cilt 1, Konya, 1997.

EK-A

G 710 Galerisine Ait Faaliyetlerin Zaman Etüdüleri

| No | Yapılan İş/Açıklamalar | 2011 | 2012 | | | | | Toplam |
|----|-----------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | |
| 1 | Personel Sayısı | 2722 | 942 | 1222 | 1178 | 1201 | 556 | 7821 |
| 2 | Galeri İlerlemesi (m) | 235 | 263 | 327 | 352 | 331 | 170 | 1678 |
| 3 | Toplam Aktif Çalışma Süresi (dak) | 139580 | 38400 | 41760 | 44640 | 43200 | 21120 | 328700 |
| 4 | Ekip Olmayan Süre (dak) | 1112 | 104 | 0 | 0 | 0 | 8 | 1224 |
| 5 | Toplam Çıkan Kömür Miktarı (ton) | 4204 | 4725 | 5886 | 6341 | 5958 | 3060 | 30174 |
| 6 | Kişi Başı Randıman (m/kişi) | 0,09 | 0,28 | 0,29 | 0,3 | 0,28 | 0,31 | 0,21 |
| 7 | Süreye Göre Randıman (m/h) | 0,10 | 0,41 | 0,47 | 0,47 | 0,46 | 0,48 | 0,31 |
| 8 | Vardiya Değişimi (dak) | 15120 | 3110 | 3350 | 3795 | 3600 | 1930 | 30905 |
| 9 | Bakım (dak) | 3230 | 1775 | 1870 | 1940 | 2530 | 1175 | 12520 |
| 10 | Topoğraf Çalışması (dak) | 360 | 230 | 80 | 300 | 205 | 30 | 1205 |
| 11 | Su Çekimi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | Tarama Süresi (dak) | 30075 | 17440 | 20100 | 20570 | 19755 | 9885 | 117825 |
| 13 | Tahkimat Süresi (dak) | 17165 | 11185 | 12490 | 12210 | 11720 | 5880 | 70650 |
| 14 | Delik Delme Süresi (dak) | 2100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2100 |
| 15 | Delik Doldurma Süresi (dak) | 1180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1180 |
| 16 | Pasa Alma (dak) | 1485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1485 |
| 17 | Bant Kuyruk Çekimi (dak) | 2370 | 1895 | 2160 | 2210 | 1560 | 740 | 10935 |
| 18 | UMM Kuyruk Uzatma (dak) | 1145 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1145 |
| 19 | Genel Yan İşler (dak) | 57595 | 2075 | 340 | 570 | 1305 | 420 | 62305 |
| 20 | Maden Duraklama (dak) | 1230 | 55 | 0 | 195 | 105 | 0 | 1585 |
| 21 | Mekanik Duraklama (dak) | 5285 | 430 | 1200 | 2795 | 2065 | 925 | 12700 |
| 22 | Elektrik Duraklama (dak) | 1240 | 205 | 170 | 55 | 355 | 135 | 2160 |
| 23 | Toplam Dinamit Tüketimi (lokum) | 1914 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1914 |
| 24 | Kapsül Tüketimi (adet) | 1251 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1251 |

EK-B

G 809 Galerisine Ait Verilerin Zaman Etüdüleri

| No | Açıklamalar | 2010 G809 ÜTY-1 | 2011 G809 ÜTY-1 | 2011 G809 ÜTY-2 | 2011 G809 ÜTY-2 | G 809 İRTİBAT 1.1 | G 809 İRTİBAT 1.2 | Toplam |
|----|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------|
| 1 | Personel Sayısı | 6698 | 2477 | 2716 | 2572 | 381 | 979 | 15823 |
| 2 | Galeri İlerlemesi (m) | 1416 | 597 | 399 | 602 | 93 | 81 | 3188 |
| 3 | Toplam Aktif Çalışma Süresi (dak) | 294460 | 110890 | 116640 | 101240 | 14400 | 40320 | 677950 |
| 4 | Ekip Olmayan Süre (dak) | 3616 | 248 | 1280 | 136 | 136 | 48 | 5464 |
| 5 | Toplam Çıkan Kömür Miktarı (ton) | 25489 | 10746 | 7173 | 10823 | 3255 | 1458 | 58944 |
| 6 | Kişi Başı Randıman (m/kişi) | 0,21 | 0,24 | 0,15 | 0,23 | 0,24 | 0,08 | 0,20 |
| 7 | Süreye Göre Randıman (m/h) | 0,29 | 0,32 | 0,21 | 0,36 | 0,39 | 0,12 | 0,28 |
| 8 | Vardiya Değişimi (dak) | 27755 | 16890 | 10715 | 11585 | 1235 | 5950 | 74130 |
| 9 | Bakım (dak) | 9185 | 5285 | 3425 | 4350 | 250 | 660 | 23155 |
| 10 | Topoğraf Çalışması (dak) | 695 | 345 | 530 | 385 | 65 | 0 | 2020 |
| 11 | Su Çekimi | 110 | 0 | 570 | 0 | 0 | 0 | 680 |
| 12 | Tarama Süresi (dak) | 112440 | 46765 | 37380 | 41070 | 5455 | 7755 | 250865 |
| 13 | Tahkimat Süresi (dak) | 71665 | 28995 | 18870 | 27140 | 3620 | 4510 | 154800 |
| 14 | Delik Delme Süresi (dak) | 6600 | 115 | 185 | 165 | 0 | 0 | 7065 |
| 15 | Delik Doldurma Süresi (dak) | 3550 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3550 |
| 16 | Pasa Alma (dak) | 8565 | 0 | 230 | 0 | 210 | 0 | 9005 |
| 17 | Bant Kuyruk Çekimi (dak) | 1190 | 4985 | 2995 | 5880 | 105 | 860 | 26730 |
| 18 | UMM Kuyruk Uzatma (dak) | 505 | 0 | 1065 | 0 | 785 | 595 | 2950 |
| 19 | Genel Yan İşler (dak) | 16305 | 3540 | 32735 | 6590 | 1525 | 19650 | 80345 |
| 20 | Maden Duraklama (dak) | 855 | 255 | 410 | 765 | 0 | 0 | 2285 |
| 21 | Mekanik Duraklama (dak) | 17070 | 2890 | 5660 | 2335 | 535 | 270 | 28760 |
| 22 | Elektrik Duraklama (dak) | 7255 | 825 | 1870 | 975 | 615 | 70 | 11610 |
| 23 | Toplam Dinamit Tüketimi (lokum) | 4199 | 0 | 5 | 629 | 0 | 13 | 4846 |
| 24 | Kapsül Tüketimi (adet) | 3095 | 0 | 0 | 379 | 0 | 7 | 3481 |

EK-C

G 4007-2.1 Ana desandre galerisinde gerçekleştirilen faaliyetlerin zaman etüdleri

| No | Açıklamalar | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Toplam |
|----|-----------------------------------|---------|--------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 1 | Personel Sayısı | 580 | 640 | 68 | 0 | 764 | 758 | 872 | 3682 |
| 2 | Galeri İlerlemesi (m) | 100 | 75 | 5 | 0 | 100 | 153 | 65 | 498 |
| 3 | Toplam Aktif Çalışma Süresi (dak) | 30720 | 35525 | 3840 | 0 | 38770 | 37920 | 41760 | 188535 |
| 4 | Ekip Olmayan Süre (dak) | 208 | 152 | 88 | 0 | 72 | 88 | 48 | 656 |
| 5 | Toplam Çıkan Kömür Miktarı (ton) | 3500 | 2625 | 175 | 0 | 3491 | 5364 | 2284 | 17439 |
| 6 | Kişi Başı Randıman (m/kişi) | 0,17 | 0,12 | 0,07 | 0,00 | 0,13 | 0,20 | 0,07 | 0,14 |
| 7 | Süreye Göre Randıman (m/h) | 0,20 | 0,13 | 0,08 | 0,00 | 0,15 | 0,24 | 0,09 | 0,16 |
| 8 | Vardiya Değişimi (dak) | 3330 | 3670 | 345 | 0 | 3505 | 2990 | 3010 | 16850 |
| 9 | Bakım (dak) | 1155 | 1290 | 170 | 0 | 1500 | 1840 | 2055 | 8010 |
| 10 | Topoğraf Çalışması (dak) | 35 | 120 | 0 | 0 | 255 | 160 | 175 | 745 |
| 11 | Su Çekimi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | Tarama Süresi (dak) | 15160 | 19105 | 1985 | 0 | 15575 | 19235 | 18210 | 89270 |
| 13 | Tahkimat Süresi (dak) | 6645 | 5340 | 340 | 0 | 6490 | 10740 | 11120 | 40675 |
| 14 | Delik Delme Süresi (dak) | 90 | 165 | 0 | 0 | 370 | 0 | 0 | 625 |
| 15 | Delik Doldurma Süresi (dak) | 0 | 60 | 0 | 0 | 460 | 0 | 0 | 520 |
| 16 | Pasa Alma (dak) | 0 | 25 | 0 | 0 | 400 | 0 | 0 | 425 |
| 17 | Bant Kuyruk Çekimi (dak) | 385 | 785 | 0 | 0 | 840 | 1610 | 2310 | 5930 |
| 18 | UMM Kuyruk Uzatma (dak) | 725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 725 |
| 19 | Genel Yan İşler (dak) | 1310 | 1120 | 430 | 0 | 7675 | 240 | 2505 | 13280 |
| 20 | Maden Duraklama (dak) | 210 | 60 | 0 | 0 | 205 | 0 | 60 | 535 |
| 21 | Mekanik Duraklama (dak) | 1245 | 3085 | 570 | 0 | 900 | 960 | 1730 | 8490 |
| 22 | Elektrik Duraklama (dak) | 430 | 700 | 0 | 0 | 595 | 145 | 585 | 2455 |
| 23 | Uç Sarfiyatı | 0 | 57 | 0 | 0 | 136 | 76 | 81 | 350 |
| 24 | Toplam Dinamit Tüketimi (lokum) | 0 | 377 | 0 | 0 | 515 | 0 | 3 | 895 |
| 25 | Kapsül Tüketimi (adet) | 0 | 139 | 0 | 0 | 177 | 0 | 0 | 316 |
| 26 | Bağlanan Bağ Sayısı | 96 | 97 | 5 | 0 | 97 | 192 | 175 | 662 |

Ek-D

D 110 Galerisinde gerçekleştirilen faaliyetlerin zaman etüdüleri

| No | Yapılan İş/Açıklamalar | 2012 | | | | | Toplam |
|----|-----------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | |
| 1 | Personel Sayısı | 0 | 749 | 846 | 808 | 450 | 2853 |
| 2 | Galeri İlerlemesi (m) | 0 | 133 | 172 | 175 | 52 | 532 |
| 3 | Toplam Aktif Çalışma Süresi (dak) | 0 | 30720 | 34080 | 32160 | 18120 | 115080 |
| 4 | Toplam Çıkan Kömür Miktarı (ton) | 0 | 4655 | 6020 | 6134 | 1803 | 18612 |
| 5 | Kişi Başi Randıman (m/kişi) | 0 | 0,18 | 0,2 | 0,22 | 0,11 | 0,19 |
| 6 | Süreye Göre Randıman (m/saat) | 0 | 0,26 | 0,3 | 0,3 | 0,17 | 0,28 |
| 7 | Vardiya Değişimi (dak) | 0 | 1890 | 2005 | 1875 | 1155 | 6925 |
| 8 | Bakım (dak) | 0 | 1405 | 1505 | 2020 | 1055 | 5985 |
| 9 | Topoğraf Çalışması (dak) | 0 | 90 | 185 | 115 | 35 | 425 |
| 10 | Su Çekimi (dak) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | Tarama Süresi (dak) | 0 | 18410 | 18355 | 17555 | 10375 | 64695 |
| 12 | Tahkimat Süresi (dak) | 0 | 7390 | 8925 | 8850 | 4025 | 29190 |
| 13 | Delik Delme Süresi (dak) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | Delik Doldurma Süresi (dak) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | Pasa Alma (dak) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Bant Kuyruk Çekimi (dak) | 0 | 820 | 1200 | 1145 | 475 | 3640 |
| 17 | UMM Kuyruk Uzatma (dak) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | Genel Yan İşler (dak) | 0 | 30 | 905 | 0 | 225 | 1160 |
| 19 | Maden Duraklama (dak) | 0 | 90 | 0 | 0 | 0 | 90 |
| 20 | Mekanik Duraklama (dak) | 0 | 405 | 695 | 570 | 675 | 2345 |
| 21 | Elektrik Duraklama (dak) | 0 | 190 | 305 | 30 | 100 | 625 |
| 22 | Toplam Dinamit Tüketimi (lokum) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | Kapsül Tüketimi (adet) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

EK-E

G 710 Galerisi kontrol merkezi verileri

| No | Açıklamalar | 2009 | 2010 | 2011 | Toplam |
|----|-----------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| 1 | Personel Sayısı | 1680 | 5758 | 5929 | 13367 |
| 2 | Galeri İlerlemesi (m) | 119 | 1447 | 1347 | 2913 |
| 3 | Toplam Aktif Çalışma Süresi (dak) | 73820 | 250915 | 243405 | 568140 |
| 4 | Ekip Olmayan Süre (dak) | 1432 | 544 | 1974 | 3950 |
| 5 | Toplam Çıkan Kömür Miktarı (ton) | 5181 | 63679 | 44427 | 113287 |
| 6 | Kişi Başı Randıman (m/kişi) | 0,07 | 0,25 | 0,23 | 0,22 |
| 7 | Süreye Göre Randıman (m/h) | 0,10 | 0,35 | 0,33 | 0,31 |
| 8 | Vardiya Değişimi (dak) | 9660 | 29815 | 33530 | 73005 |
| 9 | Bakım (dak) | 1310 | 10240 | 11180 | 22730 |
| 10 | Topoğraf Çalışması (dak) | 60 | 1075 | 1025 | 2160 |
| 11 | Su Çekimi | 0 | 0 | 365 | 365 |
| 12 | Tarama Süresi (dak) | 14345 | 109640 | 96655 | 220640 |
| 13 | Tahkimat Süresi (dak) | 13360 | 73755 | 64765 | 151880 |
| 14 | Delik Delme Süresi (dak) | 9325 | 15 | 90 | 9430 |
| 15 | Delik Doldurma Süresi (dak) | 5860 | 0 | 0 | 5860 |
| 16 | Pasa Alma (dak) | 9950 | 30 | 160 | 10140 |
| 17 | Bant Kuyruk Çekimi (dak) | 705 | 8820 | 10590 | 20115 |
| 18 | UMM Kuyruk Uzatma (dak) | 1140 | 0 | 0 | 1140 |
| 19 | Genel Yan İşler (dak) | 7515 | 7830 | 12980 | 28325 |
| 20 | Maden Duraklama (dak) | 0 | 295 | 1880 | 2175 |
| 21 | Mekanik Duraklama (dak) | 385 | 7210 | 7490 | 15085 |
| 22 | Elektrik Duraklama (dak) | 205 | 2190 | 2695 | 5090 |
| 23 | Uç Sarfiyatı | 17 | 439 | 20 | 476 |
| 24 | Toplam Dinamit Tüketimi (lokum) | 8293 | 0 | 216 | 8509 |
| 25 | Kapsül Tüketimi (adet) | 4095 | 0 | 94 | 4189 |
| 26 | Bağlanan Bağ Sayısı | 157 | 1553 | 1355 | 3065 |

EK-F

Yoğunluk Belirleme Deney Sonuçları

| Kayaç No | Numune No | Çap (mm) | Yarıçap (cm) | Boy (mm) | Hacim (cm ³) | Ağırlık (g) | Yoğunluk (g/cm ³) | Birim Hacim Ağırlık | Ortalama Yoğunluk (g/cm ³) |
|----------|-----------|----------|--------------|----------|--------------------------|-------------|-------------------------------|---------------------|--|
| 1 | 1.1 | 41,4 | 2,070 | 21,07 | 28,349 | 61,32 | 2,16 | 21,22 | 2,20 |
| | 1.2 | 41,45 | 2,073 | 21,76 | 29,348 | 63,7 | 2,17 | 21,29 | |
| | 1.3 | 41,05 | 2,053 | 21,77 | 28,797 | 65,37 | 2,27 | 22,27 | |
| 2 | 2.1 | 37,7 | 1,885 | 40,35 | 45,019 | 96,54 | 2,14 | 21,04 | 2,11 |
| | 2.2 | 37,7 | 1,885 | 40,16 | 44,807 | 95,08 | 2,12 | 20,82 | |
| | 2.3 | 37,7 | 1,885 | 38,91 | 43,412 | 89,2 | 2,05 | 20,16 | |
| 3 | 3.1 | 37,7 | 1,885 | 40,02 | 44,651 | 100,83 | 2,26 | 22,15 | 2,22 |
| | 3.2 | 37,7 | 1,885 | 40,38 | 45,052 | 92,89 | 2,06 | 20,23 | |
| | 3.3 | 37,7 | 1,885 | 41,2 | 45,967 | 107,67 | 2,34 | 22,98 | |
| 4 | 4.1 | 37,7 | 1,885 | 40,05 | 44,684 | 75,66 | 1,69 | 16,61 | 1,69 |
| | 4.2 | 37,7 | 1,885 | 39,4 | 43,959 | 74,54 | 1,70 | 16,63 | |
| | 4.3 | 37,7 | 1,885 | 39,8 | 44,405 | 74,77 | 1,68 | 16,52 | |
| 5 | 5.1 | 37,7 | 1,885 | 41,52 | 46,324 | 78,42 | 1,69 | 16,61 | 1,70 |
| | 5.2 | 37,7 | 1,885 | 39,3 | 43,848 | 74,18 | 1,69 | 16,60 | |
| | 5.3 | 37,7 | 1,885 | 40,61 | 45,309 | 77,33 | 1,71 | 16,74 | |
| 6 | 6.1 | 37,7 | 1,885 | 40,53 | 45,220 | 91,14 | 2,02 | 19,77 | 2,01 |
| | 6.2 | 37,7 | 1,885 | 40,31 | 44,974 | 89,99 | 2,00 | 19,63 | |
| 7 | 7.1 | 37,7 | 1,885 | 39,4 | 43,959 | 104,33 | 2,37 | 23,28 | 2,33 |
| | 7.2 | 37,7 | 1,885 | 39,52 | 44,093 | 104,83 | 2,38 | 23,32 | |
| | 7.3 | 37,7 | 1,885 | 42,11 | 46,983 | 105,9 | 2,25 | 22,11 | |
| 8 | 8.1 | 37,7 | 1,885 | 42,17 | 47,050 | 106,98 | 2,27 | 22,31 | 2,22 |
| | 8.2 | 37,7 | 1,885 | 39,83 | 44,439 | 99,11 | 2,23 | 21,88 | |
| | 8.3 | 37,7 | 1,885 | 41,4 | 46,191 | 99,59 | 2,16 | 21,15 | |

EK-G

Porozite ve Boşluk Oranı Belirleme Deneyleri

| Kayaç No | Numune No | Çap, D (mm) | Boy (mm) | Kuru Ağırlık (g) | Yaş Ağırlık (g) | Hacim (cm ³) | Boşluk Hacmi (cm ³) | Gözeneklilik (n) | Ortalama | Boşluk Oranı (e) |
|----------|-----------|-------------|----------|------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------------|------------------|----------|------------------|
| 1 | 1.1 | 37,7 | 15,91 | 35,13 | 39,08 | 17,75 | 3,95 | 22,254 | 20,46 | 0,29 |
| | 1.2 | 37,39 | 15,62 | 36,4 | 39,6 | 17,14 | 3,2 | 18,67 | | 0,23 |
| 2 | 2.1 | 37,7 | 41,81 | 97,46 | 104,92 | 46,65 | 7,46 | 15,99 | 16,79 | 0,19 |
| | 2.2 | 37,7 | 39,48 | 87,57 | 95,2 | 44,05 | 7,63 | 17,32 | | 0,21 |
| | 2.3 | 37,7 | 39 | 86,19 | 93,61 | 43,51 | 7,42 | 17,05 | | 0,21 |
| 3 | 3.1 | 37,7 | 39,88 | 107,36 | 111,2 | 44,49 | 3,84 | 8,63 | 12,00 | 0,09 |
| | 3.2 | 37,7 | 41,44 | 101,39 | 107,44 | 46,24 | 6,05 | 13,09 | | 0,15 |
| | 3.3 | 37,7 | 40,36 | 96,1 | 102,53 | 45,03 | 6,43 | 14,28 | | 0,17 |
| 4 | 4.1 | 37,7 | 40,38 | 76,58 | 87,77 | 45,05 | 11,19 | 24,84 | 25,39 | 0,33 |
| | 4.2 | 37,7 | 41,43 | 76,4 | 88,33 | 46,22 | 11,93 | 25,81 | | 0,35 |
| | 4.3 | 37,7 | 40,58 | 75,34 | 86,89 | 45,28 | 11,55 | 25,51 | | 0,34 |
| 5 | 5.1 | 37,7 | 40,74 | 74,96 | 87,69 | 45,45 | 12,73 | 28,01 | 27,21 | 0,39 |
| | 5.2 | 37,7 | 40,83 | 77,13 | 89,05 | 45,55 | 11,92 | 26,17 | | 0,35 |
| | 5.3 | 37,7 | 39,53 | 73,15 | 85,26 | 44,10 | 12,11 | 27,46 | | 0,38 |
| 6 | 6.1 | 37,7 | 40,22 | 88,06 | 98,66 | 44,87 | 10,6 | 23,62 | 24,30 | 0,31 |
| | 6.2 | 37,7 | 42,72 | 88,99 | 100,23 | 47,66 | 11,24 | 23,58 | | 0,31 |
| | 6.3 | 37,7 | 40,3 | 83,11 | 94,67 | 44,96 | 11,56 | 25,71 | | 0,35 |
| 7 | 7.1 | 37,7 | 41,19 | 111,32 | 113,53 | 45,96 | 2,21 | 4,81 | 7,57 | 0,05 |
| | 7.2 | 37,7 | 41,12 | 111,36 | 113,93 | 45,88 | 2,57 | 5,60 | | 0,06 |
| | 7.3 | 37,7 | 41,03 | 96,69 | 102,32 | 45,78 | 5,63 | 12,30 | | 0,14 |
| 8 | 8.1 | 37,7 | 40,59 | 103,37 | 111,14 | 45,29 | 7,77 | 17,16 | 16,82 | 0,21 |
| | 8.2 | 37,7 | 41,07 | 100,56 | 108,96 | 45,82 | 8,4 | 18,33 | | 0,22 |
| | 8.3 | 37,7 | 42,1 | 109,22 | 116,25 | 46,97 | 7,03 | 14,97 | | 0,18 |

EK-H

Dolaylı çekme dayanımı deney sonuçları

| Kayaç No | Numune No | Çap (mm) | Boy (mm) | Yenilme Yüğü (kgF) | Yenilme Yüğü (kN) | Çekilme Dayanımı (MPa) | Standart Sapma | Ortalama |
|----------|-----------|----------|----------|--------------------|-------------------|------------------------|----------------|----------|
| 1 | 1,1 | 41,58 | 22,23 | 173 | 1697,13 | 1,17 | 0,35 | 1,67 |
| | 1,2 | 40,98 | 20,98 | 283 | 2776,23 | 2,05 | | |
| | 1,3 | 37,03 | 15,87 | 183,5 | 1800,14 | 1,95 | | |
| | 1,4 | 37,53 | 19,52 | 179 | 1755,99 | 1,52 | | |
| 2 | 2,1 | 37,7 | 20 | 349 | 3423,69 | 2,89 | 0,75 | 2,92 |
| | 2,2 | 37,7 | 20 | 389,5 | 3821,00 | 3,22 | | |
| | 2,3 | 37,7 | 20 | 436,5 | 4282,07 | 3,61 | | |
| | 2,4 | 37,7 | 20 | 181 | 1775,61 | 1,50 | | |
| | 2,5 | 37,7 | 20 | 410 | 4022,10 | 3,39 | | |
| 3 | 3,1 | 37,7 | 20 | 1328 | 13027,68 | 10,99 | 0,91 | 10,85 |
| | 3,2 | 37,7 | 20 | 1290 | 12654,90 | 10,67 | | |
| | 3,3 | 37,7 | 20 | 1136 | 11144,16 | 9,40 | | |
| | 3,4 | 37,7 | 20 | 1483 | 14548,23 | 12,27 | | |
| | 3,5 | 37,7 | 20 | 1317 | 12919,77 | 10,90 | | |
| 4 | 4,1 | 37,7 | 20 | 430 | 4218,30 | 3,56 | 0,37 | 2,94 |
| | 4,2 | 37,7 | 20 | 364,5 | 3575,75 | 3,02 | | |
| | 4,3 | 37,7 | 20 | 360,5 | 3536,51 | 2,98 | | |
| | 4,4 | 37,7 | 20 | 295,5 | 2898,86 | 2,45 | | |
| | 4,5 | 37,7 | 20 | 324,5 | 3183,35 | 2,69 | | |
| 5 | 5,1 | 37,7 | 20 | 265 | 2599,65 | 2,19 | 0,20 | 2,01 |
| | 5,2 | 37,7 | 20 | 225,5 | 2212,16 | 1,87 | | |
| | 5,3 | 37,7 | 20 | 225 | 2207,25 | 1,86 | | |
| | 5,4 | 37,7 | 20 | 218 | 2138,58 | 1,80 | | |
| | 5,5 | 37,7 | 20 | 279 | 2736,99 | 2,31 | | |
| 6 | 6,1 | 37,7 | 20 | 236 | 2315,16 | 1,95 | 0,18 | 2,05 |
| | 6,2 | 37,7 | 20 | 283,5 | 2781,14 | 2,35 | | |
| | 6,3 | 37,7 | 20 | 224 | 2197,44 | 1,85 | | |
| | 6,4 | 37,7 | 20 | 248,5 | 2437,79 | 2,06 | | |
| 7 | 7,1 | 37,7 | 20 | 939,5 | 9216,50 | 7,77 | 0,92 | 9,39 |
| | 7,2 | 37,7 | 20 | 1260 | 12360,60 | 10,43 | | |
| | 7,3 | 37,7 | 20 | 1219,5 | 11963,30 | 10,09 | | |
| | 7,4 | 37,7 | 20 | 1136 | 11144,16 | 9,40 | | |
| | 7,5 | 37,7 | 20 | 1120 | 10987,20 | 9,27 | | |
| 8 | 8,1 | 37,7 | 20 | 744 | 7298,64 | 6,16 | 0,98 | 6,22 |
| | 8,2 | 37,7 | 20 | 582 | 5709,42 | 4,82 | | |
| | 8,3 | 37,7 | 20 | 850 | 8338,50 | 7,03 | | |
| | 8,4 | 37,7 | 20 | 910,5 | 8932,01 | 7,53 | | |
| | 8,5 | 37,7 | 20 | 672 | 6592,32 | 5,56 | | |

EK-I

Nokta Yük Dayanımı Deney Sonuçları

| Kayaç No | Numune No | Çap, D (mm) | Boy,L (mm) | Yük (P) (kg) | P,Yük (N) | Port | Alan, A (m ²) | (De) ² (mm ²) | Is (MPa) | De/50 | Boyut Düzeltme, f | ***Is ₅₀ (MPa) | Ortalama Is ₅₀ değeri (MPa) |
|----------|-----------|-------------|-----------------|--------------|-----------|---------|---------------------------|--------------------------------------|----------|-------|-------------------|---------------------------|--|
| 1 | 1,1 | 37,7 | Şekilsiz Numune | 129,5 | 1269,96 | 1309,47 | | 1421,3 | 0,89 | 0,75 | 0,88 | 0,79 | 0,81 |
| | 1,2 | 37,7 | | 145,5 | 1426,87 | | | 1421,3 | 1,00 | 0,75 | 0,88 | 0,88 | |
| | 1,3 | 37,7 | | 124 | 1216,02 | | | 1421,3 | 0,86 | 0,75 | 0,88 | 0,75 | |
| | 1,4 | 37,7 | | 120,5 | 1181,7 | | | 1421,3 | 0,83 | 0,75 | 0,88 | 0,73 | |
| | 1,5 | 37,7 | | 131,2 | 1286,63 | | | 1421,3 | 0,91 | 0,75 | 0,88 | 0,8 | |
| | 1,6 | 37,7 | | 151,5 | 1485,71 | | | 1421,3 | 1,05 | 0,75 | 0,88 | 0,92 | |
| | 1,7 | 37,7 | | 132,5 | 1299,38 | | | 1421,3 | 0,91 | 0,75 | 0,88 | 0,81 | |
| 2 | 2,1 | 37,7 | 15 | 228,5 | 2240,82 | 2189,33 | 0,0011 | 1421,3 | 1,58 | 0,75 | 0,88 | 1,39 | 1,36 |
| | 2,2 | 37,7 | 15 | 260 | 2549,73 | | 0,0011 | 1421,3 | 1,79 | 0,75 | 0,88 | 1,58 | |
| | 2,3 | 37,7 | 15 | 184,5 | 1809,33 | | 0,0011 | 1421,3 | 1,27 | 0,75 | 0,88 | 1,12 | |
| | 2,4 | 37,7 | 15 | 220 | 2157,46 | | 0,0011 | 1421,3 | 1,52 | 0,75 | 0,88 | 1,34 | |
| | 2,5 | 37,7 | 15 | 278,5 | 2731,15 | | 0,0011 | 1421,3 | 1,92 | 0,75 | 0,88 | 1,69 | |
| | 2,6 | 37,7 | 15 | 168 | 1647,52 | | 0,0011 | 1421,3 | 1,16 | 0,75 | 0,88 | 1,02 | |
| 3 | 3,1 | 37,7 | 15 | 515 | 5050,42 | 5446,78 | 0,0011 | 1421,3 | 3,55 | 0,75 | 0,88 | 3,13 | 3,38 |
| | 3,2 | 37,7 | 15 | 602,5 | 5908,51 | | 0,0011 | 1421,3 | 4,16 | 0,75 | 0,88 | 3,66 | |
| | 3,3 | 37,7 | 15 | 613 | 6011,48 | | 0,0011 | 1421,3 | 4,23 | 0,75 | 0,88 | 3,72 | |
| | 3,4 | 37,7 | 15 | 485 | 4756,23 | | 0,0011 | 1421,3 | 3,35 | 0,75 | 0,88 | 2,95 | |
| | 3,5 | 37,7 | 15 | 512 | 5021 | | 0,0011 | 1421,3 | 3,53 | 0,75 | 0,88 | 3,11 | |
| | 3,6 | 37,7 | 15 | 605 | 5933,02 | | 0,0011 | 1421,3 | 4,17 | 0,75 | 0,88 | 3,68 | |
| 4 | 4,1 | 37,7 | 15 | 155,5 | 1524,93 | 1455,47 | 0,0011 | 1421,3 | 1,07 | 0,75 | 0,88 | 0,94 | 0,90 |
| | 4,2 | 37,7 | 15 | 142 | 1392,54 | | 0,0011 | 1421,3 | 0,98 | 0,75 | 0,88 | 0,86 | |
| | 4,3 | 37,7 | 15 | 148 | 1451,38 | | 0,0011 | 1421,3 | 1,02 | 0,75 | 0,88 | 0,90 | |
| | 4,4 | 37,7 | 15 | 132 | 1294,48 | | 0,0011 | 1421,3 | 0,91 | 0,75 | 0,88 | 0,80 | |
| | 4,5 | 37,7 | 15 | 155 | 1520,03 | | 0,0011 | 1421,3 | 1,07 | 0,75 | 0,88 | 0,94 | |
| | 4,6 | 37,7 | 15 | 158 | 1549,45 | | 0,0011 | 1421,3 | 1,09 | 0,75 | 0,88 | 0,96 | |

Ek-I' nın devamı

Nokta Yük Dayanımı Deney Sonuçları

| Kayaç No | Numune No | Çap, D (mm) | Boy, L (mm) | Yük, P (kg) | Yük, P (N) | P _{ort} | Is (MPa) | De/50 | Boyut Düzeltme, F | ***Is ₅₀ (MPa) | Ortalama Is ₅₀ değeri (MPa) |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------|------------------|----------|-------|-------------------|---------------------------|--|
| 5 | 5,1 | 37,7 | 15 | 78,5 | 769,822 | 1111,42 | 0,54 | 0,75 | 0,88 | 0,48 | 0,69 |
| | 5,2 | 37,7 | 15 | 132,5 | 1299,38 | | 0,91 | 0,75 | 0,88 | 0,81 | |
| | 5,3 | 37,7 | 15 | 124 | 1216,02 | | 0,86 | 0,75 | 0,88 | 0,75 | |
| | 5,4 | 37,7 | 15 | 121 | 1186,6 | | 0,83 | 0,75 | 0,88 | 0,74 | |
| | 5,5 | 37,7 | 15 | 121,5 | 1191,51 | | 0,84 | 0,75 | 0,88 | 0,74 | |
| | 5,6 | 37,7 | 15 | 102,5 | 1005,18 | | 0,71 | 0,75 | 0,88 | 0,62 | |
| 6 | 6,1 | 37,7 | 15 | 89 | 872,792 | 1008,45 | 0,61 | 0,75 | 0,88 | 0,54 | 0,62 |
| | 6,2 | 37,7 | 15 | 112 | 1098,34 | | 0,77 | 0,75 | 0,88 | 0,68 | |
| | 6,3 | 37,7 | 15 | 130,5 | 1279,77 | | 0,90 | 0,75 | 0,88 | 0,79 | |
| | 6,4 | 37,7 | 15 | 105,5 | 1034,6 | | 0,73 | 0,75 | 0,88 | 0,64 | |
| | 6,5 | 37,7 | 15 | 92 | 902,212 | | 0,63 | 0,75 | 0,88 | 0,56 | |
| | 6,6 | 37,7 | 15 | 88 | 862,985 | | 0,61 | 0,75 | 0,88 | 0,53 | |
| 7 | 7,1 | 37,7 | 15 | 387 | 3795,17 | 4205,42 | 2,67 | 0,75 | 0,88 | 2,35 | 2,61 |
| | 7,2 | 37,7 | 15 | 390 | 3824,59 | | 2,69 | 0,75 | 0,88 | 2,37 | |
| | 7,3 | 37,7 | 15 | 508,5 | 4986,68 | | 3,51 | 0,75 | 0,88 | 3,09 | |
| | 7,4 | 37,7 | 15 | 466 | 4569,9 | | 3,22 | 0,75 | 0,88 | 2,83 | |
| | 7,5 | 37,7 | 15 | 328 | 3216,58 | | 2,26 | 0,75 | 0,88 | 1,99 | |
| | 7,6 | 37,7 | 15 | 493,5 | 4839,58 | | 3,41 | 0,75 | 0,88 | 3,00 | |
| 8 | 8,1 | 37,7 | 15 | 423 | 4148,21 | 3393,1 | 2,92 | 0,75 | 0,88 | 2,57 | 2,10 |
| | 8,2 | 37,7 | 15 | 419,5 | 4113,89 | | 2,89 | 0,75 | 0,88 | 2,55 | |
| | 8,3 | 37,7 | 15 | 286,5 | 2809,61 | | 1,98 | 0,75 | 0,88 | 1,74 | |
| | 8,4 | 37,7 | 15 | 350,5 | 3437,23 | | 2,42 | 0,75 | 0,88 | 2,13 | |
| | 8,5 | 37,7 | 15 | 304,5 | 2986,12 | | 2,10 | 0,75 | 0,88 | 1,85 | |
| | 8,6 | 37,7 | 15 | 292 | 2863,54 | | 2,01 | 0,75 | 0,88 | 1,77 | |

Ek-J

Sonik Hız Deney Sonuçları

| Kayaç No | Numune No | Çap (mm) | Boy (mm) | Vp (km/s) | Ortalama Vp (km/s) | Standart Sapma |
|----------|-----------|----------|----------|-----------|--------------------|----------------|
| 1 | 1.1 | 41,4 | 22,25 | 1,79 | 1,69 | 0,08 |
| | 1.2 | 41,45 | 21,11 | 1,64 | | |
| | 1.3 | 40,8 | 21,34 | 1,63 | | |
| 2 | 2.1 | 37,7 | 40,35 | 2,32 | 2,22 | 0,07 |
| | 2.2 | 37,7 | 40,16 | 2,17 | | |
| | 2.3 | 37,7 | 38,91 | 2,17 | | |
| 3 | 3.1 | 37,7 | 40,02 | 2,57 | 2,52 | 0,14 |
| | 3.2 | 37,7 | 40,38 | 2,33 | | |
| | 3.3 | 37,7 | 41,2 | 2,66 | | |
| 4 | 4.1 | 37,7 | 40,05 | 2,02 | 2,02 | 0,00 |
| | 4.2 | 37,7 | 39,4 | 2,03 | | |
| | 4.3 | 37,7 | 39,8 | 2,02 | | |
| 5 | 5.1 | 37,7 | 41,52 | 1,79 | 1,81 | 0,04 |
| | 5.2 | 37,7 | 39,3 | 1,86 | | |
| | 5.3 | 37,7 | 40,61 | 1,77 | | |
| 6 | 6.1 | 37,7 | 40,53 | 2,01 | 2,01 | 0,00 |
| | 6.2 | 37,7 | 40,31 | 2,01 | | |
| 7 | 7.1 | 37,7 | 39,4 | 2,77 | 2,68 | 0,14 |
| | 7.2 | 37,7 | 39,52 | 2,78 | | |
| | 7.3 | 37,7 | 42,11 | 2,48 | | |
| 8 | 8.1 | 37,7 | 42,17 | 2,69 | 2,59 | 0,19 |
| | 8.2 | 37,7 | 39,83 | 2,75 | | |
| | 8.3 | 37,7 | 41,4 | 2,33 | | |

Ek-K

Disk Makaslama Deney Sonuçları

| Numune No | Çap, D (mm) | Boy, t (mm) | Yenilme Değeri, $F_{t,d}$ (kg) | K_t | K_d | BPIc (MPa) | Ortalama | Standart Sapma |
|-----------|-------------|-------------|--------------------------------|-------|-------|------------|----------|----------------|
| 1.1 | 41,45 | 6,02 | 166 | 0,08 | 19,25 | 2,62 | 3,11 | 1,09 |
| 1.2 | | 7,47 | 323,5 | 0,08 | 14,26 | 3,78 | | |
| 1.3 | | 6,96 | 127 | 0,08 | 15,73 | 1,64 | | |
| 1.4 | | 5,94 | 300 | 0,08 | 19,62 | 4,82 | | |
| 1.5 | | 7,4 | 228,5 | 0,08 | 14,44 | 2,70 | | |
| 2.1 | 41,45 | 10 | 879,5 | 0,08 | 9,50 | 6,84 | 5,91 | 0,70 |
| 2.2 | | | 814,5 | 0,08 | 9,50 | 6,34 | | |
| 2.3 | | | 661,5 | 0,08 | 9,50 | 5,15 | | |
| 2.4 | | | 685,5 | 0,08 | 9,50 | 5,33 | | |
| 3.1 | 41,45 | 10 | 1081 | 0,08 | 9,50 | 8,41 | 9,21 | 0,87 |
| 3.2 | | | 1029,5 | 0,08 | 9,50 | 8,01 | | |
| 3.3 | | | 1211 | 0,08 | 9,50 | 9,42 | | |
| 3.4 | | | 1298,5 | 0,08 | 9,50 | 10,10 | | |
| 3.5 | | | 1302 | 0,08 | 9,50 | 10,13 | | |
| 4.1 | 41,45 | 10 | 338 | 0,08 | 9,50 | 2,63 | 4,01 | 0,90 |
| 4.2 | | | 667,5 | 0,08 | 9,50 | 5,19 | | |
| 4.3 | | | 450,5 | 0,08 | 9,50 | 3,50 | | |
| 4.4 | | | 609 | 0,08 | 9,50 | 4,74 | | |
| 4.5 | | | 512 | 0,08 | 9,50 | 3,98 | | |
| 5.1 | 41,45 | 10 | 376,5 | 0,08 | 9,50 | 2,93 | 2,55 | 0,61 |
| 5.2 | | | 424 | 0,08 | 9,50 | 3,30 | | |
| 5.3 | | | 333,5 | 0,08 | 9,50 | 2,59 | | |
| 5.4 | | | 188,5 | 0,08 | 9,50 | 1,47 | | |
| 5.5 | | | 318 | 0,08 | 9,50 | 2,47 | | |
| 6.1 | 41,45 | 10 | 675,5 | 0,08 | 9,50 | 5,25 | 4,52 | 0,58 |
| 6.2 | | | 632,5 | 0,08 | 9,50 | 4,92 | | |
| 6.3 | | | 508 | 0,08 | 9,50 | 3,95 | | |
| 6.4 | | | 506,5 | 0,08 | 9,50 | 3,94 | | |
| 7.1 | 41,45 | 10 | 1421,5 | 0,08 | 9,50 | 11,06 | 10,52 | 1,00 |
| 7.2 | | | 1563 | 0,08 | 9,50 | 12,16 | | |
| 7.3 | | | 1329,5 | 0,08 | 9,50 | 10,34 | | |
| 7.4 | | | 1218,5 | 0,08 | 9,50 | 9,48 | | |
| 7.5 | | | 1230,5 | 0,08 | 9,50 | 9,57 | | |
| 8.1 | 41,45 | 10 | 895 | 0,08 | 9,50 | 6,96 | 6,37 | 0,34 |
| 8.2 | | | 805 | 0,08 | 9,50 | 6,26 | | |
| 8.3 | | | 785 | 0,08 | 9,50 | 6,11 | | |
| 8.4 | | | 792 | 0,08 | 9,50 | 6,16 | | |