T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAYIRHAN YERALTI KÖMÜR OCAĞINDA KAZI MAKİNALARININ PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI VE KAYAÇ ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Niyazi BİLİM

DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 22.10.2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir

Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU
(Üye)

Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Olgay YARALI
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Alpaslan TURANBOY
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. İhsan ÖZKAN
(Danışman)

ÖZET

Doktora Tezi

ÇAYIRHAN YERALTI KÖMÜR OCAĞINDA KAZI MAKİNALARININ PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI VE KAYAÇ ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Niyazi BİLİM

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İhsan ÖZKAN

2007, 270 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU

Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY

Yrd. Doç. Dr. Olgay YARALI

Yrd. Doç. Dr. Alpaslan TURANBOY

Yrd. Doç. Dr. İhsan ÖZKAN

Günümüzde yeraltı kazılarında kazıcı makina kullanımı giderek artma eğilimi göstermektedir. Özellikle de TBM, kollu galeri açma makinası ve tamburlu kesici-yükleyici makinaların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Mekanize kazı için ilk yatırım oldukça büyüktür. Bundan dolayı kazıcının yanlış seçimi çok büyük verim düşüklüğüne ve zaman kaybına neden olabilecektir. Uygulayıcı mühendis tarafından en uygun kazıcının seçiminde veya mevcut kazıcının performans tahmininde spesifik enerji değerinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Birim hacimdeki malzemenin kazılmasında makinanın harcadığı enerji spesifik enerji olarak tanımlanmaktadır (kWh/m^3). Kazıcı makinanın performans analizlerinde kullanılan spesifik enerji yardımıyla net kazı hızı (m^3/h)ve makinanın ilerleme hızı hesaplanabilmektedir.

Bu doktora tez çalışması Çayırhan kömür havzasında kullanılan kazıcı makinaların performans analizleri için gerçekleştirilen arazi ve laboratuar çalışmalarını içermektedir. Çayırhan kömür havzasında faaliyet gösteren B sektöründeki B06 ve B08 üretim panoları ile B810 ve C1310 taban yollarında

yürütülen kazı çalışmaları dikkate alınmıştır. B06 ve B08 üretim panolarında kazı çalışmalarının yürütüldüğü 230 m boyundaki uzun ayak kazı arınının orta noktasında seçilen 48 m uzunluğundaki deneysel arın bölgesinde iki temel çalışma gerçekleştirilmiştir. Birinci çalışma arındaki kömür malzemesinin mekanik özellikleri olurken ikincisi kazı yapılan bu bölgede, kazıcı makinanın (Eickhoff SL 300) çekmiş olduğu akım değerleri ve ayak içi parametrelerinin izlenmesi olmuştur. Bu iki temel çalışma her iki panonun tavan ve taban ayağında 14 kez tekrar edilmiştir. B06 ve B08 üretim pano arınlarında gerçekleştirilen bu çalışmalar ile; 2733 adet Schmidt sertlik verisi, 1035 adet nokta yükleme dayanımı verisi, 702 adet doğal yoğunluk verisi, 10469 akım ölçüm verisi, 512 adet tahkimata gelen yük ölçüm verisi elde edilmiştir. Ayrıca B810 ve C1310 taban yollarında yürütülen çalışmalarda yine iki temel üzerinde olmuştur. Taban yollarında gerçekleştirilen 4 farklı çalışma ile 483 adet Schmidt sertlik verisi, 97 adet nokta yükleme dayanımı verisi, 82 adet doğal yoğunluk verisi ve 502 adet kazıcı makinanın (Dosco Mk2B) çekmiş olduğu akım verisi kayıt edilmiştir.

B06 ile B08 üretim pano arınlarında ve B810 ile C1310 taban yolu arınlarında gerçekleştirilen kazı çalışmalarıyla spesifik enerji (kWh/m^3), net kazı hızı (m^3/h) ve ilerleme hızı (m/dk) değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra belirlenen bu değerler ile kazı arınlardan tespit edilen mekanik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Parametrik değerlendirmeler dikkate alınarak spesifik enerjinin, tahmininde kullanılacak bir matematiksel yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda girdi parametreleri; nokta yükleme dayanımı, Schmidt sertliği, doğal yoğunluk ve kömür damarı içerisindeki süreksizlik sayısı (#/m^3) dır. Uygulayıcı mühendislerin kazıcı makina seçimlerine birinci derecede yardımcı olacak net kazı hızı (m^3/h) ve ilerleme hızı (m/dk) değerlerinin hesaplanabilmesi için de ayrıca matematiksel yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tamburlu kesici-yükleyici, kollu galeri açma makinası, kaya mekaniği, mekanize kazı, performans analizi, spesifik enerji, net kazı hızı, arazi deneyleri.

ABSTRACT

PhD Thesis

INVESTIGATION OF PERFORMANCES OF EXCAVATION MACHINES IN ÇAYIRHAN UNDERGROUND COAL MINE AND RELATIONS WITH ROCK PROPERTIES

Niyazi BİLİM

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Assist Prof. Dr. İhsan ÖZKAN

2007, 270 Pages

Jüri: Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU

Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY

Assist. Prof. Dr. Olgay YARALI

Assist. Prof. Dr. Alpaslan TURANBOY

Assist. Prof. Dr. İhsan ÖZKAN

Recently, the using of excavation machines have increased in underground excavations. Especially, the using of TBM, roadheader and drum shearer-loader machines have become widespread. However, the first investment for mechanical excavation is rather big. Therefore, the wrong choosing of excavation machine will cause to decrease of production and also it will cause to time loss. That specific energy in the suitable machine selection and performance prediction by engineers is known is very important. The energy used by machine in excavation of the unit volume defined as specific energy, which is based on material. The net cutting rate (m^3/h) and excavation speed (m/min) can be calculated by specific energy used in performance analysis of machine.

This doctorate thesis study consists of in-situ and laboratory studies, which have carried out for performance analysis of excavation machine used in Çayırhan underground coal mine. B06 and B06 longwall panel formed in B sector and also

B810 and C1310 gate road have been used in this research. Two main studies have been carried out on experimental face area which has 48 m length. The experimental face area has been prepared on longwall face which has 230 m length. While first study has been that mechanical properties of coal material in face has determined, the second study has consisted of performance monitoring and also mining parameters formed during mining applications. These two main studies have been repeated 14 times in roof and floor longwall faces. As a result, 2733 Schmidt hardness data, 1035 point load index data, 702 natural density data, 10469 current measure data, 512 load measures coming to support have been reached with studies carried out in B06 and B08 production panel faces. In addition, the same studies have been carried out on B810 and C1310 gate roads. As a result, 483 Schmidt hardness data, 97 point load index data, 82 natural density data and 502 current data which measured from excavation machine have been recorded to use in investigations.

Specific energy (kWh/m^3), net cutting rate (m^3/h) and excavation speed (m/min) values have been calculated by database prepared from in-situ measurement carried out on B06 and B08 longwall faces and also B810 and C1310 gate road faces. Later, these values and mechanical results measured from faces have been compared. Relations among parameters have been determined by graphical evaluation. A mathematical approach in order to determine specific energy has been developed. The input parameters used in the approach; point load index, Schmidt harness, natural density and discontinuities numbers existed in the unit volume. In addition, in this study, to use in net cutting rate (m^3/h) and excavation speed (m/min) calculations have been developed mathematical equations. As a result, it has suggested that the mathematical approaches developed by this research will be able to use in performance prediction by engineers.

Key Words: drum shearer-loader, roadheader, rock mechanics, mechanical excavation, performance analysis, specific energy, net cutting rate, in-situ tests.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her safhasında beni destekleyip yönlendiren, teşvik eden daima en iyinin ve doğrunun olması için çalışan ve benim yetişmem için emeğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İhsan ÖZKAN'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez izleme komite üyesi olarak fikirleriyle daima bana yol gösteren Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY'a ayrıca bu çalışma da bilgilerini esirgemeyerek ve bana yol gösteren ve bugünlere gelmemde birçok emeği olan Sayın Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Tezde kullanmış olduğum ekipmanların alımı için yapmış olduğu maddi destekten dolayı Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar koordinatörlüğüne teşekkür ederim (BAP-2004/077).

Arazi çalışmalarının yapılmasında her türlü destek ve yardımlarından dolayı Park Teknik Çayırhan Linyit İşletmesine ve çalışanlarına teşekkür ederim. Özellikle Park Teknik Çayırhan Linyit İşletmesi yönetiminde bulunan Yakup KAYGUSUZ, Levent ŞENFİLO ve Ahmet İBUK'a ayrıca bütün mühendis ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışma hakkında yapmış oldukları eleştiri ve katkılarından dolayı jüri üyeleri Yrd. Doç. Dr. Olgay YARALI ve Yrd. Doç. Dr. Alpaslan TURANBOY'a teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Tez çalışmam sırasında ve hayatımın her anında yardımlarını esirgemeyen çok sevdiğim biricik eşim Atiye BİLİM'e ve bu günlere gelmemi borçlu olduğum babam Zekai BİLİM, annem Nevin BİLİM'e, teşekkürlerimi belirtirim. Kayın babam İrfan KELEŞ ve kayınvalidem Yüksel KELEŞ'e de manevi yardımlarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i

ABSTRACT iii

TEŞEKKÜR v

İÇİNDEKİLER vi

KISALTMALAR xiii

ŞEKİLLER LİSTESİ xiv

ÇİZELGELER LİSTESİ xxiv

1. GİRİŞ 1

1.1 Problemin Tanımı 1

1.2. Çalışmanın Amacı 2

1.3. Tezin İçeriği 2

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 4

2.1. Genel 4

2.2. Madencilikte Kazı İşleri 4

2.2.1. Mekanize kazı 5

2.2.2. Yeraltı kömür üretiminde mekanize kazının yeri 6

2.3. Kazı Mekaniği 7

2.3.1. Kazı makinalarında kullanılan keski tipleri 9

2.3.2. Kayaçların kesilebilirliği 12

2.3.3. Kömür kesilebilirliği 14

2.4. Kesme Teorileri 16

2.4.1. Evans yaklaşımı 17

2.4.2. Merchand-Potts-Shuttleworth yaklaşımı 18

2.4.3. Nishimatsu yaklaşımı 18

2.5. Mekanik Kazıda Kullanılan Kazıcı Makinalar 19

2.5.1. Kollu galeri açma makinası..... 21

2.5.1.1. Kollu galeri açma makinalarının yapısı…… 23

2.5.2. Tam cephe kazı makinaları (TBM)..... 24

2.5.2.1. TBM'lerin performans değerlendirmesi…….. 25

2.5.3. Tamburlu kesici yükleyici makinalar…….. 28

2.5.3.1. L tipi tek tamburlu kesici-yükleyiciler …… 29

2.5.3.2. L tipi çift tamburlu kesici-yükleyiciler……. 29

2.6. Mekanik Kazıcılar İçin Performans Tahmini..... 31

2.7. Tamburlu Kesicilerin Performans Değerlendirmesi……... 36

2.7.1. Tamburlu kesicilerin performansını etkileyen faktörler..... 36

2.7.1.1. Kullanılan kesici uçlar ……. 36

2.7.1.2. Kesici uçların dizilimi …….. 37

2.7.1.3. Tambur dönüş hızı ve ilerleme hızı……... …….. 37

2.7.1.4. Kesme derinliği……... ……. 37

2.7.1.5. Tambur çapı…….. 38

2.7.1.6. Damar sertliği……..…… 38

2.7.1.7. Su basıncı……... …….. 38

2.7.1.8. Kesme sırasında oluşan titreşimler …….. 39

2.7.2. Tamburlu kesicilerin yükleme performansını etkileyen faktörler…….. 39

2.7.3. Tamburlu kesicilerin çalışma koşullarına göre performanslarının incelenmesi……... 41

2.7.4. Keski dizilim parametresinin tamburlu kesici performansına etkisi ……. 43

2.8. Kollu Galeri Açma Makinalarının Performans Değerlendirmesi….. 44

2.8.1. Schmidt sertlik değeri ile kazıcı makine performansı arasındaki ilişki……..……. 53

3. PARK TEKNİK-ÇAYIRHAN YERALTI KÖMÜR İŞLETMESİ..... 57

3.1. Genel..... 57

3.2. Maden Ocağının Coğrafik Konumu..... 57

3.3. Bölgenin Jeolojisi..... 58

3.4. Kömür Damarının Özellikleri……. 59

3.5. Çayırhan Yeraltı Maden Ocağının Tarihçesi ……. 60

3.6. Çayırhan'da Günümüzde Gerçekleştirilen Yeraltı Kömür Madenciliği……. 61

3.6.1. Hazırlık çalışmaları..... 61

3.6.2. Üretim çalışmaları..... 63

3.7. İşletmede Kullanılan Kazıcı Makinalar …….……. 64

3.7.1. Galerilerin açılmasında kullanılan kazıcı makinalar..... 68

3.7.2. Üretim panolarında kullanılan kazıcı makinalar..... 69

3.7.2.1. Kesici ünite ……..... 71

3.7.2.2. Yürüyüş ünitesi …… 72

3.7.2.3. Enerji ünitesi …… 72

4. ÇALIŞMA SAHASININ BELİRLENMESİ……... 74

4.1. Genel …….. 74

4.2. Maden Sahasının Belirlenmesi ……..…….. 74

4.3. Çalışma Panosunun Belirlenmesi ……..…….. 74

4.4. B06 ve B08 Panosunda Çalışma Alanının Belirlenmesi …… 75

4.5. Taban Yollarının Belirlenmesi ……...… 80

5. ARAZİDE GERÇEKLEŞTİRİLEN MEKANİK DENEYLER…….. 84

5.1. Genel …….. 84

5.2. Ayak İçerisinde Mekanik Deney Sistematiğinin Belirlenmesi…….. 84

5.2.1. Schmidt sertliği ölçüm sistematiğinin belirlenmesi…..... 85

5.2.1.1. Schmidt sertlik deneyi için yapılan önceki çalışmalar. 85

5.2.1.2.Arında gerçekleştirilecek deney sayısının belirlenmesi 89

5.2.1.3. Arında zamana bağlı Schmidt sertlik değerlerindeki değişimin belirlenmesi…….. 91

5.2.1.4. Schmidt sertlik deneyleri için arının hazırlanması…... 94

5.2.2. Nokta yükleme dayanımı deney sistematiğinin belirlenmesi… 95

5.2.3. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sistematiğinin belirlenmesi..... 96

5.2.4. Ölçüm arınının fotoğraflanarak arşivlenmesi……..…..... 97

5.3. B06 ve B08 Pano Arınında Gerçekleştirilen Mekanik Deneyler..…... 97

5.3.1. Schmidt sertliği belirleme deneyleri……..…..... 97

5.3.2. Nokta yükleme dayanımı deneyleri..... 100

5.3.3. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyleri……..... 103

5.3.4. Arşiv için arının fotoğraflanması…….…..... 106

5.4. Taban Yolları İçerisinde Mekanik Deney Sistematiğinin Belirlenmesi…… 112

5.4.1. Schmidt sertliği belirleme deneyleri için deney sistematiği..... 112

5.4.2. Nokta yükleme dayanımı deney sistematiği..... 114

5.4.3. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sistematiği.……..... 115

5.5. B810 ve C1310 Taban Yollarında Gerçekleştirilen Mekanik Deneyler…… 115

5.6.1. Schmidt sertliği belirleme deneyleri……..…..... 115

5.6.2. Nokta yükleme dayanım belirleme deneyleri..... 116

5.6.3. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyleri……..... 118

6. LABORATUARDA GERÇEKLEŞTİRİLEN MEKANİK DENEYLER.. 119

6.1. Genel …….. 119

6.2. Numunelerin Temini …….. 119

6.2.1. Uzun ayak arınından blok temini..... 121

6.2.2. B810 ve C1310 taban yollarından blok alımı..... 122

6.3. Numunelerin Hazırlanması ……..…….. 126

6.3.1. Tek eksenli basınç dayanımı deney numunelerinin hazırlanması…… 126

6.3.2. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deney numunelerinin hazırlanması……. 127

6.3.3. Tek eksenli deformabilite deney numunelerinin hazırlanması. 128

6.3.4. Nokta yükleme dayanımı deney numunelerinin hazırlanması.. 129

6.3.5. Yoğunluk-gözeneklilik belirleme deney numunelerinin hazırlanması…….. 129
6.4. Mekanik Deneylerin Gerçekleştirilmesi ……. 120
6.4.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri..... 130
6.4.1.1. Karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler… 130
6.4.1.2. Kübik numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler . 131
6.4.2. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deneyleri..... 132
6.4.3. Tek eksenli deformabilite deneyleri……..... 133
6.4.4. Nokta yükleme dayanımı deneyi…… …….. 135
6.4.5. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyleri …… 136
6.4.6. Schmidt sertliği belirleme deneyleri…… …… 137
6.4.7. Sonik hız deneyleri……..…… …… 138
6.5. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması……... ……. 139
7. ARAZİDE GERÇEKLEŞTİRİLEN KAZICI MAKİNA PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ..... 147
7.1. Genel …….. 147
7.2. Uzun Ayak Arınında Performans Ölçümleri İçin Arının Hazırlanması……... 147
7.3. Tamburlu Kesici-Yükleyiciyi İzleyen Veri Toplama Ünitesi Yardımıyla Performans Ölçüm Sistematiği……..…… 150
7.3.1. Bilgi İşlem Merkezinden akımların izlenmesi ……..... 152
7.3.2. Kazı arınında tamburlu kesici makinanın izlenmesi……. 153
7.3.3. Bilgi işlem merkezinden alınan değerlerin yorumlanması…... 154
7.4. Tamburlu Kesici-Yükleyici Üzerindeki Mevcut Ekrandan Performans Ölçüm Sistematiği ……..……..…… 159
7.5. B06 Panosunda Gerçekleştirilen Performans Ölçümleri……..….. 163
7.5.1. Taban ayak arınında tamburlu kesici-yükleyici performans ölçümleri…….. 165
7.5.2. Tavan ayak arınında tamburlu kesici-yükleyici performans ölçümleri…….. 169
7.6. B08 Panosunda Gerçekleştirilen Performans Ölçümleri…….. 169

7.6.1. Taban ayak arınında tamburlu kesici-yükleyici performans ölçümleri…….. 169

7.6.2. Tavan ayak arınında tamburlu kesici-yükleyici performans ölçümleri…….. 170

7.7. Taban Yolunda Kollu Galeri Açma Makinası Üzerinde Performans Ölçme Sistematiği……... 170

7.7.1. B810 ve C1310 taban yollarının açılmasında izlenen çalışmalar…..…….. 170

7.7.2. Performans Ölçüm Sistematiği……...…….. 173

7.8. B810 Taban Yolunda Galeri Açma Makinası Performans Ölçümleri 179

7.9. C1310 Taban Yolunda Galeri Açma Makinası Performans Ölçümleri……. 179

8. PERFORMANS ÖLÇÜM SONUÇLARI VE MEKANİK DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ……..... 181

8.1. Genel …….. 181

8.2. Uzun Ayak Arınında Gerçekleştirilen Çalışmaların Değerlendirilmesi…….…... 181

8.2.1. Spesifik enerji değerleri ile mekanik deneylerin karşılaştırılması…….……..... 194

8.2.1.1. Tamburlu kesicinin eğim yukarı çalışması……... 194

8.2.1.2. Tamburlu kesicinin eğim aşağı çalışması….…… 196

8.2.2. Spesifik enerji değerleri ile ayak içi parametrelerinin karşılaştırılması……..... 199

8.2.2.1. Tamburlu kesicinin eğim yukarı çalışması……... 199

8.2.2.2. Tamburlu kesicinin eğim aşağı çalışması…..……... 201

8.3. Taban Yollarında Gerçekleştirilen Çalışmaların Değerlendirilmesi... 203

8.3.1. Spesifik enerji değerleri ile mekanik deney sonuçlarının karşılaştırılması……..... 208

8.3.2. Spesifik enerji değeri ile net kazı hızı arasındaki ilişki……..... 212

9. KAZICI MAKİNALARIN SEÇİMİ VE PERFORMANSLARININ TAHMİNİ İÇİN GELİŞTİRİLEN YAKLAŞIMLAR……..……... 214

9.1. Genel …….. 214

9.2. Tamburlu Kesici-Yükleyicilerin Seçiminde Kullanılacak ve Performans Tahmininde Kullanılabilir Bir Matematiksel Yaklaşımının Geliştirilmesi…….. 210
9.3. Kollu Galeri Açma Makinalarının Seçiminde ve Performans Tahmininde Kullanılacak Matematiksel Yaklaşımının Gelişimi…… 234
10. SONUÇ VE ÖNERİLER……...…….. 245
10.1. Sonuçlar…….. …….. 245
10.2. Öneriler…….. …….. 253
11. KAYNAKLAR ……...…….. 254
EK-I. Ana Ölçüm Alanında Gerçekleştirilen Ölçüme Ait Tamburlu Kesici-Yükleyicinin Çektiği Akım değerleri……. 263
EK-II. Dosco Mk2B Kollu Galeri Açma Makinasının Galeri Arını Üzerinde Kazı Yaparken Çektiği Akım Değerlerinin Değişimi…….. 269

KISALTMALAR

TEBD (σ_c) : Tek eksenli basınç dayanımı
NYD ($Is_{(50)}$): Nokta yükleme dayanımı
DÇD (σ_t) : Dolaylı çekme dayanımı
CAI : Cerchar aşındırıcılık testi
RQD : Kaya kalite değeri
RMR : Kayaç kütlesi derecelendirme indeksi
SE : Spesifik enerji
TBM : Tam cepheli tünel açma makinaları
KGAM : Kollu galeri açma makinası
BED : Bom eksenine dik
BEP : Bom eksenine paralel
DEM : Farklı elemanlar metodu
RMCI : Kayaç kütlesi kazılabilirlik indeksi
ICR : Kollu galeri açma makinası net kazı hızı
SE_a : Araziden ölçülen spesifik enerji değeri
Tv : Tavan Kömürü
Tb : Taban Kömürü
AÖA : Alt ölçüm alanı
ÖTD : Ön tambur dilimi
ATD : Alt tambur dilimi
EA : Eğim aşağı kazı
EY : Eğim yukarı kazı
SE_h : Hesaplama yolu ile belirlenen spesifik enerji
$(SE_a)_{ey}$: Eğim yukarı kazı yapılırken araziden ölçülen spesifik enerji değeri
$(SE_a)_{ea}$: Eğim aşağı kazı yapılırken araziden ölçülen spesifik enerji değeri
$(SE_h)_{ey}$: Eğim yukarı kazı için hesap ile belirlenen spesifik enerji değeri
$(SE_h)_{ea}$: Eğim aşağı kazı için hesap ile belirlenen spesifik enerji değeri
NKH : Net kazı hızı
İH : İlerleme hızı
P : Nokta yükleme yenilme yükü
V : Süreksizlik düzlemlerinin sınırladığı birim blok hacmi
U : Nokta yükleme deneyinde konik ucun malzemeye gömülme miktarı
N : Schmidt sertlik değeri
DY (d) : Doğal yoğunluk
H : Damar yüksekliği
D : Tamburun arına dalma derinliği
G : Kesici kafa gücü
S : Taban yolu kazı arını alanı
h : Zaman

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kazı maliyetinin tünel uzunluğuna bağlı olarak değişimi (Pakes, 1991)……. 6

Şekil 2.2. Keski çeşitleri (Bilgin, 1989)…… 10

Şekil 2.3. Kama ve kalem uçlu keskinin tasarım parametreleri ……. 11

Şekil 2.4. Keski kuvveti bileşenleri (Tiryaki, 1994)……..……. 12

Şekil 2.5. Aşağı, yukarı ve kapalı kesme işleminde kesme gelişimi (Hekimoğlu, 1986)……. 13

Şekil 2.6. Çeşitli tünel açma yöntemlerinin kayaçların tek eksenli basınç dayanımına (TEBD) göre kullanım aralığı……. 20

Şekil 2.7. Bir kollu galeri kazı makinasını oluşturan parçalar (Hekimoğlu ve Fowell, 1988)…….. 23

Şekil 2.8. Yıldız kollu toplama ünitesine sahip bir kollu galeri açma makinası (www.dosco.co.uk, 2007)..... 24

Şekil 2.9. TBM bastırma ve tork sistemleri (Çınar ve Feridunoğlu, 1994)…….. 25

Şekil 2.10. Disk keskilere sahip bir TBM (www.lovat.com, 2007)…..…… 25

Şekil 2.11. L Tipi kesici yükleyici makina parçaları (Turan, 2004b)……..…… 30

Şekil 2.12. Eickhoff SL 500 L tipi çift tamburlu kesici yükleyici (www.eickhoff-bochum.de, 2007)..... 30

Şekil 2.13. Araştırmacıların kazıcı makina performansı tahmininde kullandıkları parametreler ve kullanım sıklıkları (Bilim, 2003)……... 32

Şekil 2.14. Kazıcı makinanın kazı esnasındaki güç değişimleri (Ceylanoğlu, 1991) 35

Şekil 2.15. Kömür damarında tamburların normal olarak çalışma konumları (Peng ve Chaing, 1984)……. 42

Şekil 2.16. Arakesmenin tabana yakın olması durumunda tamburların çalışma konumları (Hanson and Roepke, 1988)…… 42

Şekil 2.17. Arakesmenin tavana yakın olması durumunda tamburların çalışma konumları (Peng ve Chaing, 1984)……... 42

Şekil 2.18. Tamburların 60 cm gömülme derinliğinde tükettikleri güç miktarlarının karşılaştırılması (Tiryaki, 2000)…….…….... 43

Şekil 2.19. Tamburların 60 cm gömülme derinliğinde spesifik enerji esas alınarak karşılaştırılması (Tiryaki, 2000)……..…….... 44

Şekil 2.20. Basma dayanımının kesme enerjisi üzerindeki etkisi (Bölükbaşı ve Çam, 1981)……... 46

Şekil 2.21. Basma dayanımının kesme hızı üzerindeki etkisi (Bölükbaşı ve Çam, 1981)……. 46

Şekil 2.22. Çekme dayanımının kesme enerjisi üzerindeki etkisi (Bölükbaşı ve Çam, 1981)……... 47

Şekil 2.23. Kesme hızı ile kesme enerjisi arasındaki ilişki (Bölükbaşı ve Çam, 1981)……. 47

Şekil 2.24. Spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki (Fowel ve Johson, 1982)……... 48

Şekil 2.25. Spiral ve tambur tipi kollu galeri açma makinalarında basınç dayanımı ile net kazı hızı arasındaki ilişki (Schneider, 1988)..……. 49

Şekil 2.26. 36 kesici uç barındıran bir kollu galeri açma makinesindeki ani güç değişimleri (Alvarez ve ark., 2003)…….. 50

Şekil 2.27. RQD≥50 değerleri için basınç dayanımı ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki (Bilgin ve ark., 1988)……. 51

Şekil 2.28. RQD ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki (Bilgin ve ark., 1988). 51

Şekil 2.29. Schmidt değerleri ile net kazı oranı arasındaki ilişki (Göktan ve Güneş, 2005)……...…… 54

Şekil 2.30. Schmidt değerinin kesme enerjisi üzerine etkisi (Bölükbaşı ve Çam, 1981)……... 54

Şekil 2.31. Net kazı hızının Schmidt çekici değeri ile değişimi (Bilgin ve ark., 1990b)……... 55

Şekil 2.32. Spesifik enerji değeri ile Schmidt sertliğinin değişimi (Ceylanoğlu, 1991)……. 56

Şekil 3.1. Park Teknik-Çayırhan Kömür İşetmesi yerbuldu haritası…… 57

Şekil 3.2. Çayırhan havzasının stratigrafik kesiti (Aydın ve Fünfstück, 1988)…. 58

Şekil 3.3. Çayırhan yeraltı maden planı…… 62

Şekil 3.4. B810 taban yolunun kesit görünümü……..... 62

Şekil 3.5. Ana yollarda kullanılan kaymalı çelik direk tahkimatlar…… 63

Şekil 3.6. Uzun ayak panolarının plan görünüşü ve anayolların durumları (Özkan, 1995)……..... 64

Şekil 3.7. Ayak başlarına uygulanan püskürtme beton……. 65

Şekil 3.8. Ayak başı ve kuyrukta kullanılan hidrolik direkler…….. 65

Şekil 3.9. Çayırhan linyit madenindeki uzun ayak arınının durumu ve tavan ve taban ayakların görünüşü (Ünal ve ark., 2001)…… 66

Şekil 3.10. Ayak içerisinde kullanılan kalkanlı yürüyen tahkimatların ve tamburlu kesici-yükleyicinin görünüşü…….. 66

Şekil 3.11. Ayak içerisinde kullanılan çift zincirli konveyör……. 67

Şekil 3.12. Göçertilmiş olan ayak arkasının görünüşü……... 67

Şekil 3.13. Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının tipik bir şekli (www.dosco.co.uk, 2007)..... 68

Şekil 3.14. Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının galeri arınında çalışması…… 69

Şekil 3.15. Eickhoff SL 300 tamburlu kesici-yükleyici makinanın ana üniteleri (Turan, 2004a)……..... 70

Şekil 3.16. Eickhoff SL 500 Tamburlu kesici-yükleyici makinanın ana üniteleri (Turan, 2004b)……. 70

Şekil 3.17. Eickhoff SL 300 tamburlu kesici-yükleyicide kullanılan tamburun tipik şekli (Turan, 2005)……. 71

Şekil 3.18. U94 kodlu aşınmış ve aşınmamış kesici kalem uçlar…….. 72

Şekil 3.19. Eickhoff SL 500 tamburlu kesici-yükleyici tamburu (Çap: 2300 mm) 73

Şekil 4.1. B06 ve B08 panolarının tavan ve taban yollarının konumlanmaları….. 76

Şekil 4.2. Yeni kazı havesine geçişte ayak başı yöntemi (Tatar ve Özfırat, 2003). 77

Şekil 4.3. B06 panosu ayak içi görünümü ve yürüyen tahkimatlar…… 78

Şekil 4.4. Kazı çalışmalarına başlamadan önce yapılan uç bakımı…… 78

Şekil 4.5. Kömür kazı arınında ana ölçüm bölgesi……..…… 80

Şekil 4.6. B08 panosunun B810 kodlu bacasının 21–27 Temmuz 2006 tarihlerindeki durumu…….. 81

Şekil 4.7. C13 panosunun C1310 kodlu bacasının 21-27 Temmuz 2006 tarihlerindeki durumu…….. 81

Şekil 4.8. Ana ölçüm alanı olarak seçilen B810 taban yolundaki galeri arını……. 82

Şekil 4.9. Ana ölçüm alanı olarak seçilen C1310 taban yolundaki galeri arını….. 83

Şekil 5.1. Mekanik testler için ana ölçüm bölgesi üzerinde belirlenen birim hücre ölçüm bölgeleri…… 84

Şekil 5.2. Sertlik ölçümü deneylerinde kullanılan L tipi dijital Schmidt çekici… 86

Şekil 5.3. En uygun deney sayısını belirlemek amacıyla yapılan ön çalışmanın değerlendirmesi…….. 90

Şekil 5.4. Kömür arınının zamana bağlı olarak Schmidr serlik değerindeki değişiminin izlendiği deney alanı (Bilim ve Özkan, 2007)…… 92

Şekil 5.5. Kömür arını üzerindeki Schmidt sertliğinin zamana bağlı olarak değişimi (Bilim ve Özkan, 2007)…….…….. 93

Şekil 5.6. Tavan basıncı nedeniyle kömür arını üzerinde zaman içerisinde kavlakların oluşması ve oluşan bu kavlakların koparak düşmesi…….. 93

Şekil 5.7. Uzun ayak civarında, kömür damarı üzerindeki düşey gerilme dağılımları (Whittaker, 1974)…… 94

Şekil 5.8. Mekanik testler için belirlenen birim hücre içinde Schmidt sertliği ölçümlerinin uygulanışı……... 95

Şekil 5.9. Birim hücre olarak belirlenen bölgede Schmidt sertliği deneyi için hücrelerin hazırlanışı……... 95

Şekil 5.10. Birim hücre olarak belirlenen bölgede nokta yükleme dayanımı deneyi için alınan numunelerin numune torbalarına konulması……. 96

Şekil 5.11. Birim hücre olarak belirlenen bölgede yapılan Schmidt sertliği deneyleri…….. 99

Şekil 5.12. B06 panosunda kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan Schmidt sertliği ölçümlerinin ana ölçüm alanı boyunca görünüşü (5 Mayıs 2005)…… 99

Şekil 5.13. B08 panosunda kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan Schmidt sertliği deneyinin ana ölçüm alanı boyunca görünüşü (20 Temmuz2006)……... 100

Şekil 5.14. Kömür arınında toplanan numuneler üzerinde nokta yükleme dayanımı deneylerinin gerçekleştirilmesi…… 102

Şekil 5.15. B06 panosu kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan nokta yükleme dayanımı değerlerinin ana ölçüm alanı boyunca dağılımı (5 Mayıs 2005)…… 102

Şekil 5.16. B08 panosu kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan nokta yükleme dayanımı değerlerinin ana ölçüm alanı boyunca dağılımı (20 Temmuz 2006)…….. 103

Şekil 5.17. Laboratuarda yoğunluk belirleme deneyinin gerçekleştirmesi…… 105

Şekil 5.18. B06 panosunun kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan yoğunluk deneyi sonuçlarının ana ölçüm alanı boyunca görünüşü (5 Mayıs 2005)……..……. 105

Şekil 5.19. B08 panosunun kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan yoğunluk deney sonuçarının ana ölçüm alanı boyunca görünüşü (20 Temmuz 2006)…….. 106

Şekil 5.20a 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 1-6 bölgelerinin resimleri…….…… 107

Şekil 5.20b Şekil 5.20b. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 7–12 bölgelerinin resimleri……... 108

Şekil 5.20c Şekil 5.20c. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 13–18 bölgelerinin resimleri……. 109

Şekil 5.20d Şekil 5.20d. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 19–24 bölgelerinin resimleri……. 110

Şekil 5.20e Şekil 5.20e. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 25–30 bölgelerinin resimleri……. 111

Şekil 5.20f Şekil 5.20f. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 31–32 bölgelerinin resimleri……. 112

Şekil 5.21. B810 bacasının tipik bir şekli…….. 113

Şekil 5.22. C1310 bacasının tipik bir şekli…… 113

Şekil 5.23. Taban yollarında gerçekleştirilen Schmidt sertliği ölçümleri……. 114

Şekil 5.24. B810 tavan ve taban kömürü üzerinde gerçekleştirilen Schmidt sertliği deneyinin galeri arını boyunca dağılımı…….. 116

Şekil 5.25. C1310 tavan ve taban kömürü üzerinde gerçekleştirilen Schmidt sertliği deneyinin galeri arını boyunca dağılımı (27 Temmuz 2006)….. 117

Şekil 6.1. Kömür arını üzerinde gerçekleştirilen tipik karot alma çalışmaları…… 120

Şekil 6.2. Karot alınmış olan kömür yüzeyi…… 121

Şekil 6.3. Tavan basıncı nedeniyle arında oluşan kavlaklanmalar…….. 122

Şekil 6.4. Taban yollarının açılmasında kullanılan Dosco Mk2B kollu galeri açma makinası…… 123

Şekil 6.5. Çayırhan kömür havzasında sürülen taban yollarında karşılaşılan genel cephe görünüşü…….. 124

Şekil 6.6. Doğal nemlerini muhafaza etmeleri için esnek filme sarılan tipik bir blok numune…… 124

Şekil 6.7. Streçe sarılmış numuneyi daha iyi muhafaza etmek amacıyla naylon poşetlere konulan tipik bir numune……. 125

Şekil 6.8. Numunelerin araziden laboratuara nakli için kullanılan ahşap sandıklar…….. 126

Şekil 6.9. Tek eksenli deformabilite deneyi…… 134

Şekil 6.10. Tek eksenli gerilme-birim deformasyon eğrisi……... 134

Şekil 6.11. Tek eksenli basınç dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki……. 139

Şekil 6.12. Tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki…… 140

Şekil 6.13. Tek eksenli basınç dayanımı ile doğal yoğunluk değeri arasındaki ilişki……. 140

Şekil 6.14. Tek eksenli basınç dayanımı ile S dalgası hızı arasındaki ilişki……. 141

Şekil 6.15. Tek eksenli basınç dayanımı ile P dalgası hızı arasındaki ilişki……. 141

Şekil 6.16. Tek eksenli basınç dayanımı ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki……. 142

Şekil 6.17. Dolaylı çekme dayanımı ile nokta yükleme dayanımı değeri arasındaki ilişki……. 142

Şekil 6.18. Dolaylı çekme dayanımı ile doğal yoğunluk değeri arasındaki ilişki…. 143

Şekil 6.19. Nokta yükleme dayanımı ile doğal yoğunluk değeri arasındaki ilişki… 143

Şekil 6.20. Nokta yükleme dayanımı ile S dalgası hızı arasındaki ilişki…….. 144

Şekil 6.21. Nokta yükleme dayanımı ile P dalgası hızı arasındaki ilişki…….. 144

Şekil 6.22. Nokta yükleme dayanımı ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki……...145

Şekil 6.23. Schmidt sertliği ile S dalgası hızı arasındaki ilişki…… 145

Şekil 6.24. Schmidt sertliği ile P dalgası hızı arasındaki ilişki…… 146

Şekil 6.25. Doğal yoğunluk ile S dalgası hızı arasındaki ilişki……. 146

Şekil 7.1. Üretim panolarına ait şematik geometrik durum…..…… 148

Şekil 7.2. Tavan ve taban ayakta oluşturulan deneysel ana ölçüm alanının şematik gösterimi…… 149

Şekil 7.3. Akım değerlerinin ölçümü için oluşturulan alt ölçüm alanı ve bu alanda hazırlanan birim ölçüm alanları……... 150

Şekil 7.4. Tamburlu kesici-yükleyiciden Bilgi İşlem Merkezine bilgi akış şeması…….. 151

Şekil 7.5. Bilgi İşlem Merkezi'nde ocak içerisinde kullanılan makinaların grafiksel izlenimi……. 151

Şekil 7.6. B08 panosu tavan ayakta 25 Temmuz 2006 tarihinde iki vardiya (08–16 ve 16–24 vardiyaları) halinde yapılan üretim esnasında tamburlu kesicinin ayak içersindeki konumları…….. 152

Şekil 7.7. Ana ölçüm alanı üzerindeki kesim işleminin aşamaları……... 154

Şekil 7.8. 25 Temmuz 2006 tarihinde ana ölçüm alanında gerçekleştirilen ölçüme ait tamburlu kesici-yükleyicinin çektiği akım değerleri…… 157

Şekil 7.9. Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan akım değerlerinin performans analizi için hazırlanması……. 158

Şekil 7.10. Tamburlu kesici-yükleyicinin üzerinde bulunan ve makina hakkında bazı bilgileri gösteren ekran…… 161

Şekil 7.11. Makina üzerindeki ekrandan okunan akım değişimleri (25 Temmuz 2006 ölçümü)……...161

Şekil 7.12. Tamburlu kesici-yükleyici makina üzerindeki ekrandan alınan akım değerlerinin analizi için hazırlanması……. 163

Şekil 7.13. Başlangıçta 1590 m uzunluğundaki B06 panosunda ölçüm yapılan tarihlerde kazı arınının pozisyonları……... 164

Şekil 7.14. Çayırhan kömür havzasında taban yolarının kullanımı……...168

Şekil 7.15. C1310 taban yolunda kollu galeri açma makinası (Dosco Mk2B) ile yapılan kazı çalışmalarına ait tipik bir görüntü……... 172

Şekil 7.16. C1310 taban yolunda kazı sonrası tahkimatı tahkimatların yerleştirilmesine ait tipik bir görüntü…….. 173

Şekil 7.17. Ölçümlerde kullanılan pens ampermetre…… 174

Şekil 7.18. Galeri arınındaki performans ölçüm çalışmalarında uygulanan kazı şekli……. 176

Şekil 7.19. Kesici kafanın arındaki kazılacak malzemenin içerisine girmesi için kesici kafa tarafından açılan boşluk…… 176

Şekil 7.20. Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının galeri arını üzerinde kazı yaparken çektiği akım değerlerinin değişimi (27 Temmuz 2006)…….. 177

Şekil 8.1a. Alt ölçüm alanlarına bölünen deneysel ölçüm alanı……... 182

Şekil 8.1b. Alt ölçüm alanı-1 için hazırlanan birim ölçüm alanlarında 5 Mayıs 2005 tarihinde gerçekleştirilen mekanik deneyler…….. 182

Şekil 8.1c. B06 panosunun tavan ayağında 5 Mayıs 2005 tarihinde gerçekleştirilen mekanik deneylerin sonuçları…… 183

Şekil 8.2a. Alt ölçüm alanlarında tamburlu kesici-yükleyicinin şematik konumu (ÖTD: Ön tambur dilimi, ATD: Alt tambur dilimi)…… 187

Şekil 8.2b. Deneysel ölçüm alanında gerçekleştirilen kazı çalışmalarını yansıtan tipik bir 5 Mayıs 2005 tarihli Bilgi İşlem Merkezi akım verisi…….. 187

Şekil 8.3. Deneysel ölçüm alanlarında gerçekleştirilen kazı çalışmalarını yansıtan tipik bir makina üzerinden okunan akım değerleri (5 Mayıs 2005)…… 188

Şekil 8.4. Tamburlu kesici üzerindeki dijital ekran üzerinden okunan akım değerleri ile Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen akım değerleri arasındaki ilişki……...…… 189

Şekil 8.5. Mekanik deneylerin ve performans ölçüm sonuçlarının log gösterimi... 192

Şekil 8.6. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerjiler ile Schmidt serliği arasındaki ilişki……..... 195

Şekil 8.7. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki…….. 196

Şekil 8.8. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile doğal yoğunluk arasındaki ilişki……. 196

Şekil 8.9. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile arınını Schmidt serliği arasındaki ilişki……..... 197

Şekil 8.10. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki…….. 198

Şekil 8.11. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile doğal yoğunluk arasındaki ilişki…… 198

Şekil 8.12. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki…….. 200

Şekil 8.13. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile tahkimat basıncı arasındaki ilişki……. 200

Şekil 8.14. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile ilerleme hızı arasındaki ilişki…….…….201

Şekil 8.15. Bilgi İşlem Merkezi elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki…….. 202

Şekil 8.16. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile tahkimat basıncı arasındaki ilişki……..……. 202

Şekil 8.17. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile ilerleme hızı arasındaki ilişki……..…… 203

Şekil 8.18a Taban yollarında tavan taşında gerçekleştirilen tipik bir akım ölçümü (27 Temmuz 2006)…….. 205

Şekil 8.18b Taban yollarında tavan kömüründe gerçekleştirilen tipik bir akım ölçümü (27 Temmuz 2006)…… 205

Şekil 8.18c Taban yollarında arakesmede gerçekleştirilen tipik bir akım ölçümü (27 Temmuz 2006)…… 206

Şekil 8.18d Taban yollarında taban kömüründe gerçekleştirilen tipik bir akım ölçümü (27 Temmuz 2006)…….. 206

Şekil 8.18e Taban yollarında taban taşında gerçekleştirilen tipik bir akım ölçümü (27 Temmuz 2006)…… 207

Şekil 8.19. Taban yollarında gerçekleştirilen mekanik deney ve performans ölçüm sonuçlarının log gösterimi……... 210

Şekil 8.20. Spesifik enerji ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki…… 211

Şekil 8.21. Spesifik enerji ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki……. 211

Şekil 8.22. Spesifik enerji ile doğal yoğunluk arasındaki ilişki…… 212

Şekil 8.23. Spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki……..……... 213

Şekil 9.1. Nokta yükleme dayanımı ile kırılma yükü arasındaki ilişki (6 Mayıs 2005)…… 216

Şekil 9.2. B ve C sektörü için birim blok tanımı…… 218

Şekil 9.3. Nokta yükleme dayanımı deney cihazının konik uçlar ile tamburlu kesicideki kalem uçların malzemeyi parçalaması……... 219

Şekil 9.4. Eğim yukarı kazı için N_a değerlerinin görgül olarak hesaplanması…... 221

Şekil 9.5. Eğim aşağı kazı için N_a değerlerinin görgül olarak hesaplanması……. 221

Şekil 9.6. Araziden belirlenen $(SE_a)_{ey}$ ve Eşitlik 9.6 ile hesaplanan $(SE_h)_{ey}$ değerlerinin karşılaştırılması……... 223

Şekil 9.7. Arazide belirlenen $(SE_a)_{ea}$ ve hesaplanan $(SE_h)_{ea}$ (Eşitlik 9.7) değerlerinin karşılaştırılması……...… 224

Şekil 9.8. Görgül eşitlik (Eşitlik 9.6) ile belirlenen $(SE_h)_{ey}$ değerlerini arazi değerlerine yaklaştıran düzeltme katsayısı……..224

Şekil 9.9. Görgül eşitlik (Eşitlik 9.7) ile belirlenen $(SE_h)_{ea}$ değerlerini arazi değerlerine $(SE_a)_{ea}$ yaklaştıran düzeltme katsayısı…… 226

Şekil 9.10. Eşitlik 9.10'dan hesaplanan $(SE_h)_{ey}$ ile araziden belirlenen $(SE_a)_{ey}$ değerlerinin karşılaştırılması……... 228

Şekil 9.11. Eşitlik 9.13'den hesaplanan $(SE_h)_{ea}$ ile araziden belirlenen $(SE_a)_{ea}$ değerlerinin karşılaştırılması…… 229

Şekil 9.12. Görgül yaklaşım ve arazi ölçümlerinden belirlenen net kazı hızları…... 232

Şekil 9.13. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen tamburlu kesici ilerleme hızları……232

Şekil 9.14. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen net kazı hızı ve spesifik enerji arasındaki ilişki…… 233

Şekil 9.15. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen ilerleme hızı ve spesifik enerji arasındaki ilişki…… 233

Şekil 9.16. Nokta yükleme dayanımı değeri ile kırılma yükü arasındaki ilişki (22 Temmuz 2006)…… 235

Şekil 9.17. Araziden (SE_a) ve Eşitlik 9.20'den belirlenen (SE_h) değerlerinin karşılaştırılması……... 238

Şekil 9.18. Görgül eşitlik (Eşitlik 9.20) ile belirlenen (SE_h) değerlerini arazi değerlerine yaklaştıran düzeltme katsayısı……..238

Şekil 9.19. Eşitlik 9.23'den hesaplanan (SE_h) ile araziden belirlenen (SE_a) değerlerinin karşılaştırılması……... 240

Şekil 9.20. Görgül yaklaşım ve arazi ölçümlerinden belirlenen net kazı hızları…... 242

Şekil 9.21. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen kollu galeri açma makinasının ilerleme hızları……..... 243

Şekil 9.22. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen net kazı hızı ve spesifik enerji arasındaki ilişki……..…… 243

Şekil 9.23 Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen ilerleme hızı ve spesifik enerji arasındaki ilişki……..…… 244

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Kömür üreten ülkeler ve üretim kapasiteleri (Coal Magazine, 2005) 7

Çizelge 2.2. Kayaç kesilebilirliği ile ilgili sabit, değişken ve yarı değişken parametreler (Özçelik ve ark., 2000)…….. 9

Çizelge 2.3. Üretici firmaların kayaç ve kömürlerin kazılabilirliğinde kullandıkları deney sistemleri (Ghose, 1982)……. 9

Çizelge 2.4. Keskilerin uygulama sınırları (Bilgin, 1989)…….. 11

Çizelge 2.5. Dünyada kazıcı makina üreten firmalar…….. 21

Çizelge 2.6. Kollu galeri açma makinalarının ağırlık ve güç bazında sınıflandırılması (Matti, 1999)…… 22

Çizelge 2.7. Düşük ve yüksek su basınçlı çalışma durumlarındaki havadaki solunabilir toz oranları (Taylor ve ark., 1989)…… 39

Çizelge 2.8. Eğim yukarı ve eğim aşağı ortalama makina ilerleme hızlarının karşılaştırılması (Hekimoğlu ve Ayhan, 1994)……... 40

Çizelge 3.1. Linyit sektöründe üretim yapan kamu ve özel sektör kuruluşları (DPT raporu, 2006)……. 60

Çizelge 3.2. İşletmede kullanılan kollu galeri açma makinalarının bazı teknik özellikleri (Acaroğlu, 2004)……..…… 69

Çizelge 3.3. Eickhoff SL 300 ve SL 500 tamburlu kesici-yükleyici makinanın bazı teknik özellikleri……. 73

Çizelge 3.4. EDW 230 L modeli tamburlu kesici-yükleyici makinanın teknik özellikleri ……... 73

Çizelge 4.1. B06 ve B08 panolarının tavan ve taban yollarındaki kömür damarı ve arakesme kalınlıklarının değişimi…….. 76

Çizelge 4.2. B06 ve B08 panoları hakkında genel bilgiler……. 76

Çizelge 4.3. B810 ve C1310 taban yollarındaki ölçüm alanlarına ait büyüklükler (18 Temmuz 2006)……. 82

Çizelge 5.1. ASTM (2005) ve ISRM (1981) standartlarının karşılaştırılması (Özkan ve Bilim, 2008)……..…… 86

Çizelge 5.2. Uygulanmakta olan Schmidt test metotlarından bazıları (Özkan ve Bilim, 2008)…… 88

Çizelge 5.3. Arazide Schmidt çekici kullanımı için ölçülen verileri değerlendirilmesi yöntemi (Özkan ve Bilim, 2008)…..... 90

Çizelge 5.4. Schmidt sertliği deneylerinin yapıldığı zamanlar ve ortalama sertlik değerleri…… 98

Çizelge 5.5. Arazide gerçekleştirilen nokta yükleme dayanımı deney sonuçları... 101

Çizelge 5.6. Laboratuarda yapılan doğal yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sonuçları……... 104

Çizelge 5.7. Taban yollarında uygulanan Schmidt sertliği belirleme deneyleri…. 116

Çizelge 5.8. Taban yollarında uygulanan nokta yükleme dayanımı deney sonuçları…….……. 117

Çizelge 5.9. Taban yollarında uygulanan doğal yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sonuçarı…..……. 118

Çizelge 6.1 Blok numunelerin genel durumu…… 125

Çizelge 6.2. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için hazırlanan numuneler…… 127

Çizelge 6.3. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deneyi için hazırlanan numuneler…… 128

Çizelge 6.4. Tek eksenli deformabilite deneyi için hazırlanan numuneler……. 128

Çizelge 6.5. Nokta yükleme dayanımı deneyi için hazırlanan numuneler……. 129

Çizelge 6.6. Yoğunluk belirleme deneyi için hazırlanan numuneler…….. 130

Çizelge 6.7. Silindir karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen TEBD deney sonuçları…….. 131

Çizelge 6.8. Kübik numuneler üzerinde gerçekleştirilen TEBD deney sonuçları……..... 132

Çizelge 6.9. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deney sonuçları…….. 133

Çizelge 6.10. Tek eksenli deformabilite deneyinden elde edilen elastik modül değerleri…….. 134

Çizelge 6.11. Parça numuneler üzerinde gerçekleştirilen NYD deney sonuçları……..……... 135

Çizelge 6.12. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sonuçları…… 136

Çizelge 6.13. Blok numuneler üzerinde gerçekleştirilen Schmidt Sertliği deney sonuçları…..……. 137

Çizelge 6.14. Silindirik numuneler üzerinde gerçekleştirilen sonik hız deney sonuçları ……..... 138

Çizelge 7.1. 25 Temmuz 2006 tarihinde ocak içerisinde çalışan makinaların çektiği akım değeleri……. 156

Çizelge 7.2. 25 Temmuz 2006 tarihinde arında gerçekleştirilen performans ölçümlerinin makina üzerindeki ekrandan okunması……. 160

Çizelge 7.3. B06 panosu taban ayak arınında tamburlu kesici-yükleyiciye ait performans ölçümleri…….. 166

Çizelge 7.4. B06 panosu tavan ayak arınında tamburlu kesici-yükleyiciye ait performans ölçümleri…….. 167

Çizelge 7.5. B08 panosu taban ayak arınında tamburlu kesici-yükleyiciye ait performans ölçümleri……..…… 171

Çizelge 7.6. B08 panosu tavan ayak arınında tamburlu kesici-yükleyiciye ait performans ölçümleri…….. 171

Çizelge 7.7. Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının galeri arını üzerinde farklı kaya birimlerinde kazı yaparken çektiği akım değerleri (27 Temmuz 2006)…… 178

Çizelge 7.8. B810 taban yolunda galeri açma makinasına ait performans ölçüm sonuçları……...……... 179

Çizelge 7.9. C1310 taban yolunda galeri açma makinasına ait performans ölçüm sonuçları……...……... 180

Çizelge 8.1. B06 ve B08 panolarında gerçekleştirilen mekanik deney sonuçları…….. 184

Çizelge 8.2. Bilgi İşlem Merkezi yardımıyla deneysel ölçüm alanında gerçekleştirilen akım değerleri……..……. 185

Çizelge 8.3. Mekanik deneylerin ve performans ölçümlerinin sonuçları……... 190

Çizelge 8.4. Taban yollarında gerçekleştirilen mekanik deney sonuçları…….. 204

Çizelge 8.5. Taban yollarında ortalama akım değerleri……..……... 207

Çizelge 8.6. Taban yollarında gerçekleştirilen mekanik deney ve performans sonuçları……..…… 208

Çizelge 9.1. B ve C sektörlerine ait birim hacim için belirlenen ortalama süreksizlik sayısı……. 217

Çizelge 9.2. Eğim yukarı kazılardan yapılan ölçümler ile belirlenen $(SE_a)_{ey}$ ile geliştirilen Eşitlik 9.6 ile hesaplanan $(SE_h)_{ey}$ değerleri……. 222

Çizelge 9.3. Eğim aşağı kazılardan yapılan ölçümler ile belirlenen $(SE_a)_{ea}$ ile geliştirilen Eşitlik 9.7 ile hesaplanan $(SE_h)_{ea}$ değerleri……. 223

Çizelge 9.4. Eğim yukarı kazılardan ölçülen $(SE_a)_{ey}$ ile Eşitilik 9.10'dan hesaplanan $(SE_h)_{ey}$ değerleri……. 227

Çizelge 9.5. Eğim aşağı kazılardan ölçülen $(SE_a)_{ea}$ ile Eşitlik 9.13'den hesaplanan $(SE_h)_{ea}$ değerleri……. 228

Çizelge 9.6. Arazi çalışmaları ile belirlenen ve görgül yaklaşımdan hesaplanan net kazı hızları (m^3/h) ve ilerleme hızları (m/dk)……... 231

Çizelge 9.7. Taban yollarında yapılan ölçümler ile belirlenen (SE_a) ile geliştirilen Eşitlik 9.20 ile hesaplanan (SE_h) değerleri…….. 237

Çizelge 9.8. Tavan ve taban kömür damarları için (SE_a) ile Eşitilik 9.23'den hesaplanan (SE_h) değerleri……. 239

Çizelge 9.9. Arazi çalışmaları ile belirlenen ve görgül yaklaşımdan hesaplanan net kazı hızları (m^3/h) ve kesicinin ilerleme hızı (m/dk)…… 242

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Geçmişten günümüze kadar yeraltı ve yerüstünde yapılan kazılarda değişik metotlar uygulanmıştır. İlk zamanlarda el ile kazı yapılırken, daha sonra bunun yerini zamanla makinalar almaya başlamıştır. Günümüzde artan nüfusa bağlı olarak çok yüksek miktarlarda yeraltı zenginlik kaynaklarının üretilmesi gündeme gelmiştir. Yüksek miktarlarda cevher üretmek için artık kazı işlemi, genelde delme-patlatmayla veya doğrudan makinalarla yapılmaktadır. Mekanize kazının diğer kazı türlerine göre birçok avantajları olmasından dolayı eğer kazı mekanik kazıya uygunsa işletmeler mekanizasyona yönelmektedirler. İşletmelerde en uygun verimlilik düzeyini ulaşmak ve işletme maliyetlerini en aza indirmek için hazırlık ve üretim gibi her alanda, makina ile kazı artık kaçınılmaz bir duruma gelmiştir.

Son yıllarda mekanik kazı makinalarının metro, tünelcilik ve madencilik sektörlerinde kullanımı ülkemizde yaygınlaşmaktadır. Kentleşmenin hızla artması nedeniyle metro çalışmaları büyük önem kazanmaktadır. Metro gibi su tünelleri, demiryolu tünelleri, karayolu tünelleri, sığınak ve depolama projelerinde Tünel açma makinaları (Tunnel boring machines-TBM) ile mekanik kazı sıkça kullanılır duruma gelmiştir. Ayrıca özellikle yeraltı kömür madenciliğinde üretim amaçlı yapılan kazılarda en çok tamburlu kesici-yükleyici makinalar ve sürekli kazıcılar (continuous miner) kullanılmaktadır. Bu makinalar kömür arınında kazma ve yükleme işlemlerini aynı anda yapabilme özelliklerine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı bir vardiyadaki üretim hem yüksek olmakta hem de işgücü ihtiyacı az olmaktadır. Bunun gibi birçok avantajı nedeniyle tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de özellikle yeraltı kömür işletmelerinde bu makinalarla üretim yapılmaya başlanmıştır.

Jeolojik yapının uygun olması durumunda kazıcı makinanın bir işletmede bulunması o işletmeye ekonomik yönden çok büyük artılar getirmektedir. Bu makinanın birçok avantajları olmasına rağmen iki büyük dezavantajı; ilk yatırım maliyeti ve kesici uç tüketiminin yüksek olmasıdır. Bu iki ana unsur işletmeye ekonomik yönden büyük bir yük getirmektedir. Kazıcı makinayı alacak olan maden

işletmeleri, kullanacağı kazı formasyonuna uygun özellikteki makinayı tespit edemediği taktirde makinadan etkili bir fayda sağlayamamaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Gelişen teknoloji ile birlikte galeri, tünel, metro gibi yeraltında açılacak boşluklarda ve cevher üretiminde gün geçtikçe daha çok kazıcı makinalar kullanılmaktadır. Kazıcı makinaların kullanımı birim zamanda daha fazla kazı kapasitesine ulaşmayı sağlamaktadır. Fakat bu makinaların ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Bu nedenle kazıcı makinayı seçerken iyi bir plan ve projenin hazırlanması gerekmektedir.

Ülkemizde yoğun bir şekilde mekanik kazının uygulandığı Park Teknik Çayırhan yeraltı kömür ocağı B ve C sektörlerindeki mevcut kazıcı makinaların ve ocak şartlarının incelenmesi, kazıcı makinalarda yerinde performans ölçümlerinin yapılması, kömürün mekanik özelliklerinin yerinde incelenmesi ve kazı koşullarının belirlenmesi bu çalışmanın ilk hedefi olmuştur.

Yukarıda belirtilen çalışmalar sonucunda hazırlanan veri tabanı yardımıyla B06, B08 üretim pano arınlarına ve ayrıca B810 ve C1310 taban yolu arınlarına ait spesifik enerji (kWh/m^3) değerlerinin, net kazı hızlarının (m^3/h) ve ayrıca kazı hızlarının (m/dk) belirlenmesi bu çalışmanın ikinci hedefi olmuştur. Bu doktora çalışmasının son hedefi ise, spesifik enerjinin (kWh/m^3), net kazı hızının (m^3/h) ve kazı hızının (m/dk) belirlenmesi için görgül matematiksel eşitliklerin geliştirilmesi olmuştur. Böylece uygulayıcı mühendisler, kendi maden ocakları için almayı planladıkları kazıcı makina performansının ne olabileceğini bu çalışma yardımıyla geliştirilecek görgül yaklaşımları kullanarak tahmin edebileceklerdir

1.3. Tezin İçeriği

Bu doktora tez çalışmasının içeriği aşağıda belirtildiği gibidir.

Bölüm 1'de tez çalışmasına neden olan problemin tanımı, tezin amacı ve çalışmanın içeriği konusunda bilgiler verilirken Bölüm 2'de gerçekleştirilen geniş bir literatür araştırması sunulmuştur. Park Teknik Çayırhan yeraltı kömür işletmesi

hakkında bilgiler Bölüm 3'de anlatılırken Bölüm 4'de arazi çalışmalarının yürütüleceği sahaların belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 5'de arazi çalışmasında gerçekleştirilen mekanik deneyler aktarılırken Bölüm 6'da laboratuarda gerçekleştirilen mekanik deneylerden bahsedilmiştir. Bölüm 7'de arazide gerçekleştirilen kazıcı makinaların performans ölçümleri hakkında bilgiler, Bölüm 8'de ise performans ölçümleri ile mekanik deney sonuçlarının değerlendirilmesi sunulmuştur. Bölüm 9'da spesifik enerjinin ve net kazı hızının görgül yaklaşımlar ile belirlenebilmesi için geliştirilen matematiksel yaklaşımlar hakkında bilgiler verilirken son bölümde de yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Genel

Bu bölümde, madencilikte uygulanan kazı işlemleri, kazı mekaniği ve kesme teorileri hakkında bilgiler verilmiştir. Mekanize kazıda kullanılan kazıcı makinalardan bahsedilmiştir. Son olarak da kazıcı makinalar ve performans tahmini için yapılmış bazı çalışmalar sunulmuştur.

2.2. Madencilikte Kazı İşleri

Madencilikteki kazı işlemlerinin amacı, maden yatağındaki değerli minerallerin bulunduğu yerden çıkarılmasının sağlanmasına yöneliktir. Ayrıca kazı yan kayaçların kazılması işlerinde de uygulanmaktadır. Madencilik birbirini takip eden ya da eş zamanlı birçok temel işlemin yapılmasını gerektirir. Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte, özellikle galeri açma ve kuyu açmada mekanizasyon uygulamasının arttığı görülmektedir. Fakat kazı işlerinde mekanizasyon durumu yalnızca teknolojinin bugünkü imkânlarına bağlı olmayıp, aynı zamanda maden yatağının jeolojik yapısına da bağlı olmaktadır. Günümüzde kullanılan başlıca kazı yöntemlerini şöyle sıralayabiliriz (Saltoğlu, 1976).

i.) Mekanik kazı
ii.) Delme-patlatma ile kazı
iii.) Hidromekanik kazı
iv.) Isıtma ile kazı
v.) Gazlaştırma yoluyla kazı
vi.) Ergitme yoluyla kazı
vii.) Suda eritme yoluyla kazı

Henüz tamamlanmamış halen üzerinde araştırmalar yapılan yeni kazı teknikleri de bulunmaktadır. Bu teknikler; lazer, plazma jetleri, kıvılcım erozyonu ve termal kazı gibi tekniklerdir (Bilgin, 1989).

2.2.1. Mekanize kazı

Yüksek yatırımlar gerektiren madencilik sektöründe, en uygun verimlilik düzeyini yakalamak ve işletme maliyetlerini düşürmek için hazırlık ve üretim gibi madenciliğin her aşamasında teknolojik gelişmelere paralel olarak, makina ile kazı kaçınılmaz hale gelmiştir.

Yeraltı madenciliği ilk olarak insan gücüne dayalı olarak başlamış, daha sonra delme-patlatma ve martopikör kullanılmaya başlanmıştır. 20. yüzyılın başında sanayi devrimi ile kömüre olan ihtiyaç artmıştır. Uzun ayak yöntemi ile kömür üretiminde kapasite artırmak amacıyla yapılan mekanik kazı çalışmaları ile potkapaç, saban ve günümüzde daha çok kullanılan tamburlu kesici-yükleyiciler geliştirilmiştir. Kazı işlemlerinin makinalar ile yapılması sonucunda büyük miktarlarda üretim imkânı sağlanmış olup, çalışan işçi sayısında da azalma sağlanmıştır.

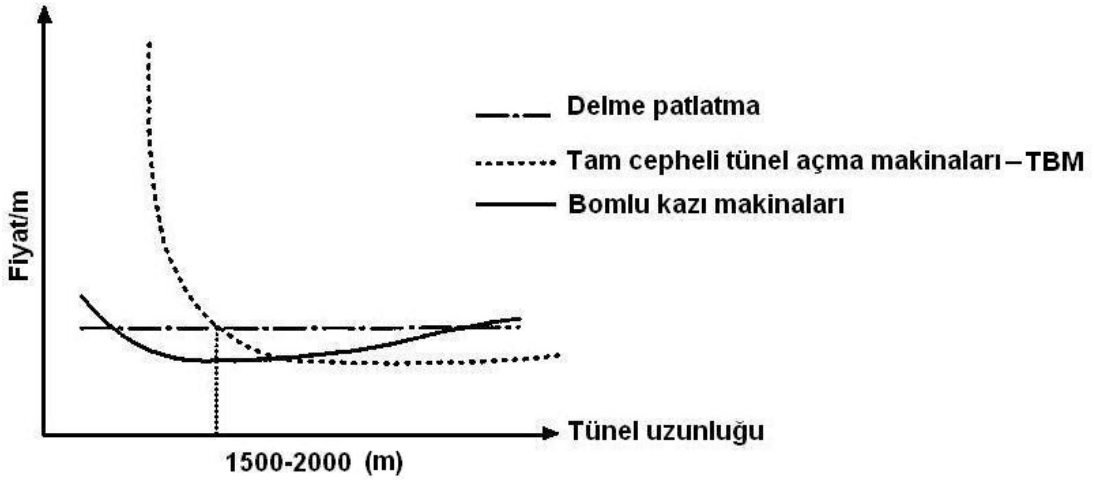
Dünyada enerji ihtiyacının artmasından dolayı, kazı teknolojisinin gelişimi de hızlanmıştır. Delme-patlatma ile yapılan kazı işlemlerine karşı birçok avantajı olmasından dolayı da artık mekanize kazı daha çok kullanılmaya başlanmıştır.

Delme-patlatma yöntemi ile mekanize kazı sistemleri karşılaştırıldığında, delme-patlatma yönteminin ilk yatırım maliyeti daha düşük olduğu bilinmektedir. Fakat bu tek başına yöntem seçimini belirlememektedir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi TAM ile mekanize kazı yönteminde, birim maliyet tünel uzunluğu arttıkça azalmaktadır. Diğer mekanik kazı sisteminde en düşük maliyetin 1500–2000 m civarında olduğu görülmektedir. Mekanize kazı sistemleri, patlayıcı madde kullanılmadığı için daha güvenilir, daha az işgücü gerektiren dolayısıyla daha az işçi maliyeti ve daha düşük kaza oranının olduğu bir yöntem niteliğindedir. Patlayıcı madde kullanılmaması yeraltı açıklığı etrafındaki kaya kütlesinin örselenmesini engellemekte, bu da tahkimat ve havalandırma maliyetlerini azaltmaktadır.

Teknolojinin ilerlemesi sayesinde, madencilik çalışmaları ile geliştirilen kazı makinaları istenilen birçok amaca hizmet edebilmektedir. Nüfus artışı ve buna bağlı olarak yeni yerleşim alanlarının kurulması sonucunda özellikle büyük şehirlerde ulaşım sorunları ortaya çıkmıştır. Büyük şehirlerdeki trafik sıkışıklığının üstesinden gelmek ve hızlı bir ulaşımın sağlanması yeraltı ulaşım sistemlerinin (tünel, metro) devreye sokulmasını bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu yeraltı sistemlerinin

yapılabilmesi için çeşitli kazı makinaları kullanılmaktadır. Özellikle şehirleşmenin olduğu bölgelerde açılan yeraltı boşlukları (metro vb.) için delme-patlatma metodu tercih edilmemektedir. Çünkü bu yöntemde patlatma nedeniyle tünel çevresinde zayıf zonlar oluşmakta ve tünel duyarlılığı azalmaktadır. Ayrıca istenilen boyutta düzgün bir tünel kesitinin elde edilmesi çok güç olmaktadır. Kazı makinaları kullanıldığında ise, bu tür sorunlarla daha az karşılaşılmaktadır.

Mekanik kazı; en az enerjiyi kullanarak çok fazla miktardaki kayayı kesmeyi hedefler. Bu amacı başarmak için, karakteristik kaya kırılma özelliklerinin kullanılması gerekmektedir. Özellikle de kayanın zayıflık düzlemleri dikkate alınmalıdır. Kaya özelliklerini, doğal arazi gerilme oranı, ısı, akışkanlık gibi birçok faktör etkilemektedir. Bunların arasında en önemlisi doğal arazi gerilmesidir.



Şekil 2.1. Kazı maliyetinin tünel uzunluğuna bağlı olarak değişimi (Pakes, 1991).

2.2.2. Yeraltı kömür üretiminde mekanize kazının yeri

Yirminci yüzyılın başlarında ilk olarak üretimde kullanmak üzere potkapaç makinaları kullanılmaya başlanmıştır. 1950'li yılların başında saban ve tamburlu kesici makinaları üretimde kullanılmaya başlanmış böylece üretimde artış gözlenmiştir. Tamburlu kesici makinalar ilk olarak tek tamburlu olarak üretilmiş fakat gelişen teknoloji ile çift tamburlu olarak üretilmeye başlanmıştır. Ayrıca motor güçlerinde de artışlar sağlanmış ve yüksek kazı kapasitelerine ulaşılmıştır. Günümüzde kullanılan tamburlu kesicilerin çalışma boyutları da büyümüştür. Bu makinaların imalatçıları, kömür üretiminde mekanize kazıyı en çok uygulayan

ülkeler olan Almanya, İngiltere, A.B.D. ve Avustralya gibi ülkelerdir (Altındağ ve Güney, 1994).

Kömür üretimi birçok ülkenin ekonomik gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Çoğu ülke, elektrik üretimnde ve demir-çelik endüstrisinde kömürü kullanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, artan enerji ihtiyaçlarına bağlı olarak kömüre olan ihtiyaç gelecek 20 yıl içinde artmaya devam edecektir. Aşağıdaki çizelgede dünyada 2002 ve 2004 yıllarında gerçekleştirilen kömür üretimi özetlenmiştir. Çizelge 2.1'den de görüldüğü gibi Türkiye kömür üretiminde alt sıralarda kalmaktadır.

Çizelge 2.1. Kömür üreten ülkeler ve üretim kapasiteleri (Coal Magazine, 2005)

Ülke	2002 (Milyon ton)	2003 (Milyon ton)	2004 (Milyon ton)
Çin	13260	1667	1956
Amerika	988.0	970.0	1000
Hindistan	359.3	376.9	397.1
Avustralya	339.7	338.7	365.3
Rusya	253.0	274.7	283.1
Güney Afrika	220.4	238.8	253.5
Almanya	208.5	204.8	207.7
Polonya	160.1	160.4	159.2
Endonezya	108.0	120.0	136.0
Kazakistan	73.20	84.00	86.80
Ukrayna	81.90	79.30	81.00
Yunanistan	70.50	72.00	74.00
Kanada	66.60	62.10	67.50
Çek cumhuriyeti	64.00	65.30	64.30
Kolombiya	39.50	50.00	53.50
Türkiye	53.30	50.90	48.20

2.3. Kazı Mekaniği

Kayaçların kazılabilirlik özelliklerini tespit etmek amacıyla bugüne kadar pek çok araştırma yapılmış, bazı temel kurallar belirlenerek, bugün kullanılan kazı mekaniği prensipleri ortaya konulmuştur. Kömür, cevher ve yantaşları öncelikle kazılabilirlik deneylerine tabi tutulmakta ve kazı makinalarının tariflenen kaya birimlerinde kullanılabilmeleri için imalatçı firmalara gerekli ek tasarım bilgileri sağlanmaktadır.

Arazide uygulanan çalışmaların asıl amacı kömür, cevher ve yan kayaçlar hakkında bilgi toplamak, yerinde deneyler yapmak ve laboratuarda yapılacak

deneyler için kayaç formasyonunu temsil eden numuneler almaktır. Laboratuar deneylerini, kaya mekaniği ve kazı mekaniği deneyleri olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Kazı mekaniği deneyleri gerçek boyutlu keskilerin kullanıldığı tam boyutlu doğrusal kazı seti kullanılarak yapılan kesilebilirlik deneylerinden oluşmaktadır. Bu deneylerde kayacı kesmek için gerekli olan kesme kuvvetleri (Kesme kuvveti, FC; Normal kuvvet, FN) ve sarf edilen spesifik enerji (SE) belirlenir. Kazı deneyleri sonrasında ortaya çıkan pasaların bir elek seti ile elenerek parça boyut dağılımı tespit edilerek buradan pasa irilik katsayısı (PİK) hesaplanmaktadır (Tunçdemir ve Bilgin, 2002) .

Özçelik ve ark., (2000) kayacın kazıcı makina tarafından kesilebilirliğini etkileyen birçok parametre olduğunu belirtmktedirler. Bu parametreler genel olarak kesilecek malzemenin mühendislik özellikleri, kesme ekipmanının özellikleri ve kesme ortamındaki çalışma koşullarının teknik özellikleri olarak üç grup altında toplanabilir (Çizelge 2.2). Üç grup altında toplanan bu parametreler kayacın kazıcı makina tarafından kazılması esnasında etkin olup kazı kolaylığını yada zorluğunu doğrudan etkilemektedirler.

Jeolojik süreksizlikler ve yanal basınçlar kayaç kesilebilirliği üzerinde etki yapan parametrelerdendir. Balcı ve ark. (1997) bu parametrelerin kazı makinalarının performanslarının nasıl etkilediğini araştırmak için laboratuar ölçekli bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda elde ettikleri sonuçlara göre, kesme yönüne dik ya da belirli bir açısı olan süreksizliklerin bulunduğu numunelerdeki süreksizlik aralığının artması ile kesme kuvveti ve normal kuvvetin arttığını belirlemişlerdir. Diğer taraftan kayaç içindeki süreksizlik sayısı arttıkça spesifik enerji düşmektedir. Bu araştırmada galeri veya tünel açma makinalarının ilerleme hızlarına jeolojik süreksizliklerin nasıl etkilediği belirlenirken yanal basınçların fazla olması durumunda kesici makinanın net ilerleme hızının azalacağı ifade edilmiştir.

Kazılabilirliği araştırmak için yapılan araştırmalar, araziden ve laboratuar çalışmalarından elde edilen verilere göre makina performansını değerlendirme üzerine kurulmuştur. Genelde kayacın mekanik özellikleri ile makina performansı arasındaki ilişkiler daha sık kullanılmaktadır. Makina üreten firmalar kazılabilirliğin tespiti için çeşitli yöntemler kullanmaktadırlar. Bu yöntemler Çizelge 2.3'de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Kayaç kesilebilirliği ile ilgili sabit, değişken ve yarı değişken parametreler (Özçelik ve ark., 2000)

Sabit Parametreler	Değişken ve/veya yarı değişken parametreler
Kesilecek Malzemenin Mühendislik Özellikleri ➢ Fiziko-mekanik özellikler ➢ Kimyasal özellikler ➢ Mineralojik özellikler ➢ Petrografik özellikler ➢ Tane-yönlenmesi ve dolgulu dolgusuz ➢ Süreksizlikler ➢ Dokusal özellikler	Kesme Ekipmanın Özellikleri ➢ Disk çapı ➢ Soket durumu ➢ Metalürjik matriks yapı ➢ Tolerans limitleri ➢ Elmas tipi ve oluşumu ➢ Disklerdeki aşınma Kesme Ortamında Çalışma Koşullarının Teknik Özellikleri ➢ Kesme kuvveti ➢ Su miktarı ➢ İlerleme hızı ➢ Motor devri ➢ Çevresel hız ➢ Kesme derinliği ➢ Aşağı ve yukarı kesme parametreleri

Çizelge 2.3. Üretici firmaların kayaç ve kömürlerin kazılabilirliğinde kullandıkları deney sistemleri (Ghose, 1982)

Üretici Firma	Kullandığı Deney Yöntemleri
Atlas Copco	Büyük bloklar üzerinde kesme, tek eksenli basınç dayanımı ve Mohs sertlik deneyleri, çimentolanma, klivaj ve süreksizliklerin tespiti
Dresser	Uç batırma deneyi
Javra	Reedtool firması testleri, kayacın sertlik indeks özellikleri
Caldweld	Mikro uç delinebilirlik testi, uç batırma deneyi
Lawrance	Uç batırma deneyi
Robbins	Darbe dayanımı, basınç dayanımı, aşınma dayanımı, çizilme dayanımı, klorik aside karşı reaksiyon deneyleri
Dosco	Dayanım, aşınma, kesme deneyleri
Anderson Stratchclyde	Dayanım ve kesme deneyleri
Reed	Uç batırma deneyi, darbe testleri

2.3.1 Kazı makinalarında kullanılan keski tipleri

Mekanize kazı yapan makinalarda kullanılan keski tipleri Şekil 2.2'de, bu keskilerin tanımları ve kullanıldıkları yerler ise aşağıda bahsedilmiştir (Bilgin, 1989).

i) Kama tipi keskiler: Tungten karbid ve kobalttan yapılan bu keskiler ucuz olduklarından ve bazı şartlarda daha verimli kazı yapabildiklerinden dolayı tercih edilmektedirler. Genelde sert ve aşındırıcı formasyonlarda pek verimli değillerdir. Bu

keskiler genelde kömürün ve yumuşak formasyonların kesiminde kullanılmaktadırlar. Kama keskiler, radyal, öne eğimli ve kalem uçlu keskiler olarak 3'e ayrılırlar. Radyal tipli kama keskilerin diğer keskilere kıyasla verimleri düşüktür. Ayrıca körlendikçe avantajları azalır. Çoğu zaman radyal keskiler yerine kalem uçlu keskiler tercih edilirler. Çünkü kalem uçlu keskiler kendi kendini bileyebilme özelliklerine sahiptirler. Böylece hem daha az körlenirler hem de ömürleri daha uzun olmaktadır. Bu tür keskiler genelde, kesici yükleyicilerde, kömür sabanlarında ve kollu galeri açma makinelerinde kullanılırlar (Shahriar, 1988). Bu keskilerin kayaca kuvvetler Şekil 2.3'de görülmektedir.

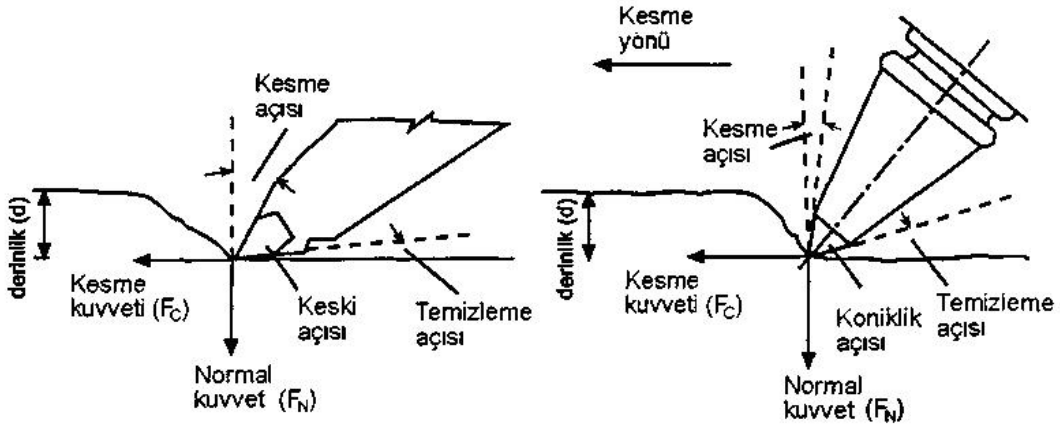
ii) Disk keskiler: Ucu sivriltilmiş serbest dönen bir disk şeklindedir. Kayaca batmaları için yüksek bir dikey kuvvete ihtiyaç gösterirler. Aşınmaları çok azdır ve kayacı öğütmek yerine keserek kazı yaptıklarından daha verimlidirler. Daha çok tam cepheli tünel açma makinalarında (TBM) kullanılırlar.

iii) Yıldız keskiler: Bu tür keskiler ilk olarak petrol sondajlarında kullanılmıştır. Bazı tünel açma makinalarında da uygulama alanı bulmuşlardır.

iv) Kabaralı keskiler: Bir diske veya tambura serpiştirilmiş kabaralar şeklindedir. Genelde çok sert formasyonların kazısı için kullanılır. Kabaralı keskiler kayacı kesmeden çok kayacı öğüterek kazı işlemini gerçekleştirirler.



Şekil 2.2. Keski çeşitleri (Bilgin, 1989).



a) Kama uçlu b) Kalem uçlu

Şekil 2.3. Kama ve kalem uçlu keskinin tasarım parametreleri.

Yukarıda tanımlanan bu dört farklı keski tipinin madencilikteki uygulama sınırları Çizelge 2.4'de verilmiştir. Bu tez çalışmasında kalem uçlu keskiler kullanıldığından diğer keski tiplerinin tasarım parametreleri hakkında ayrıntılı bilgiler verilmemiştir.

Çizelge 2.4. Keskilerin uygulama sınırları (Bilgin, 1989)

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

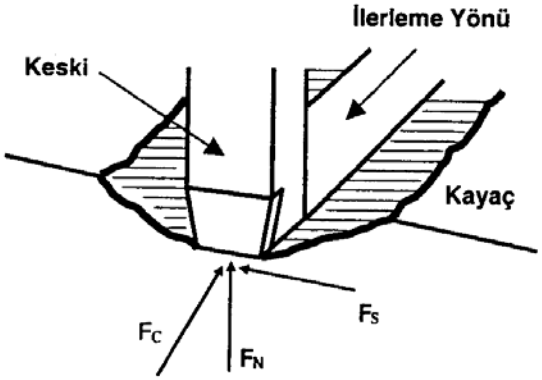
Kazı verimliliği açısından keski aşınmaları oldukça önemli bir konudur. Keskiler aşınınca kesme derinlikleri azalacak ve dolayısıyla da keski kuvvetleri ve harcanan enerji miktarı artacaktır. Bu nedenle kayaç türüne uygun keski seçimi kazı verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Keskilerde aşınma özellikleri keskilerin yapısal ve metalürjik özelliklerine, kayaçların dayanımları ile sert ve aşındırıcı mineral içeriklerine bağlıdır. Literatürde keskiye ait parametrelerden aşınmayı etkileyen özellikler olarak, "bağlayıcı madde

olan kobalt tozunun miktarı, tungsten karbit uçun porozitesi, uçtaki karbon tozu miktarı ve tungsten tozunun tane boyutu" olduğu belirtilmektedir (Bilgin, 1989).

Keskilerin aşınmasına sebep olan kayaç özellikleri; kayaçların basınç ve çekme dayanımları, sert minerallerin miktarı, tane boyutu ve tane şekilleri, dolgu malzemesi ve birbirleriyle bağlantı şekilleri olduğu ifade edilmektedir (Deketh, 1995). Keskilerin aşınmasında makina ve işletme parametreleri de etkili olmaktadır. Bu parametreler; keskilerin kesici kafaya yerleştiriliş şekilleri, kesici kafa devir sayısı, kesme derinliği, keskinin kazı sırasında kat ettiği yol, uçların soğutulma şekli ve miktarı gibi özelliklerdir. Keskilerin aşınma şekilleri tungsten karbid ucun tamamen aşınması ve kopması, tungsten ucun simetrik ve asimetrik aşınması, konik kısmın aşınması ve keski yuvasına giren kısmın kopması şeklinde sınıflandırılmaktadır (Nishimatsu, 1972).

Bir keski kesme yaparken üç kuvvet tarafından etkilenmektedir. Bunlar; kesme doğrultusuna dik yönde oluşan normal kuvvet (FN), kesme doğrultusu yönünde oluşan kesme kuvveti (FC) ve bu iki kuvvetin (FN, ve FC) bulunduğu düzleme dik yönde oluşan yanal kuvvet (FS) olmaktadır. Şekil 2.4'de keskilere etkiyen kuvvetlerin bileşenleri gösterilmektedir.



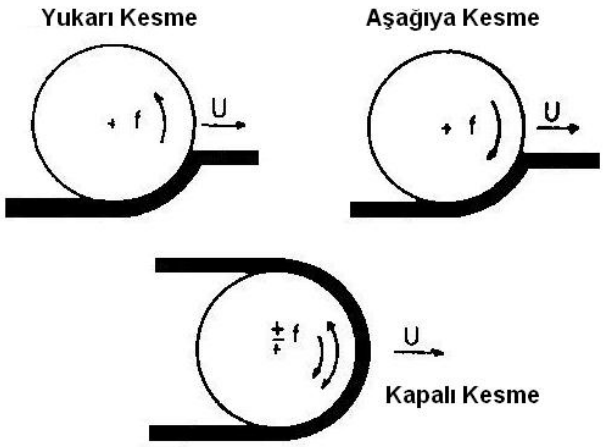
Şekil 2.4. Keski kuvveti bileşenleri (Tiryaki, 1994).

2.3.2. Kayaçların kesilebilirliği

Kayaçların kesilebilirliği konusunda genellikle tek eksenli basınç ve çekme dayanımları dikkate alınmaktadır. Fakat sadece bu iki mekanik özelliğinin her ne kadar tek başlarına kayacın kesilebilirliği konusunda bir fikir verebilmekte ise de

genel görüş tek başına kullanılmalarının tasarımlarda yetersiz kalacağı yönünde olmaktadır. Bu yüzden kayaçların kesilebilirliğinin yanı sıra kesici uç tipi ve keski aşınmaları da tasarımlarda hesaba katılması gereklidir. Çünkü keskiler aşındıkları zaman, yeni bir keskiye göre kazı yapabilmesi için daha fazla bir kesme kuvvetine ihtiyaç duyduklarından kazı sırasında makinanın zorlanmasına sebep olmaktadırlar (Hekimoğlu ve Fowell, 1988).

Kollu galeri açma makinalarında kullanılan kesici kafaların kesme şekilleri esilebilirliği ve keskilerin aşınmalarını etkilediği bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Disklerin dönüş yönüne göre kesme işlemi aşağı, yukarı ve kapalı kesme metodu olarak adlandırılmaktadır. Bu metotlar Şekil 2.5'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Aşağı, yukarı ve kapalı kesme işleminde kesme gelişimi (Hekimoğlu, 1986).

Eyüboğlu (2000) tarafından yapılan çalışmada ise aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yukarı kesme metodunda, disk kayaca ani olarak temas etmekte ve büyük bir hacmi kesmeye çalışmaktadır. Özellikle sert kayaçların kesilmesinde bu durum elmas soketin ömrünü azaltarak, çatlamasına ve düşmesine neden olacaktır.
- Aşağı yönlü kesme metodunda, disk öncelikle küçük bir hacim kesmeye çalışmakta bu sebeple sokete uygulanan gerilim daha düşük olmaktadır. Bu durum soket ömrünün artmasını sağlayacağından sert kayaçların kesimi için alternatif bir yöntem olacaktır.

Ertinghausen (1985)'in elmas testere ile yapmış olduğu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır.

- 20-25 mm'ye kadar kesme derinliklerinde, yukarı kesme metodunda enerji harcaması daha düşükken, kesme derinliği arttıkça aşağı kesme metodunun enerji harcaması daha düşük olmaktadır.
- Aşağı kesme işleminde disk kesilen malzemeyi tabana doğru bastırmaya çalışacak, yukarı kesme işleminde ise disk kesilen malzemeyi yukarı kaldırmaya çalışacaktır. Yukarı kesmede, malzeme yukarı kalkmaya çalışacağından çalışma koşulları bozulacak ve elmas soketlerde daha fazla aşınmalar meydana gelecektir.

Özçelik ve ark. (2000) aşağı ve yukarı kesme metotlarının sistemden çekilen akım üzerinde nasıl bir etki yaptığını araştırmak için elmas testere kullanarak yapmış oldukları çalışmaya göre; yapmış oldukları çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır;

- Kesme derinliği ile harcanan enerji miktarı arasında doğrusal bir orantı vardır.
- Kesme derinliği aynı olan malzemelerde, yukarı kesme metodunda harcanan enerjinin aşağı kesme metodunda harcanan enerjiye göre daha az olduğu tespit edilmiştir.
- Mermer kesimi yapan blok kesme ST makinalarında kesme derinliğine bağlı olarak yapılacak bazı ayarlamalarla harcanan enerji miktarını ve soket aşınmalarını azaltmak mümkün olabilecektir.

Tiryaki ve ark. (2003) doku katsayısı modelinin kayaç kesmede, keski performansının önceden belirlenmesi için kullanılabilirliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Doku katsayısı ve paketlenme yoğunluğu değerleri ile laboratuarda ölçülen spesifik kesme enerjisi değerleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda kayaç delinebilirliğinin tahmininde, ilerleme hızının önceden belirlenmesi için kullanılmak üzere Howarth ve Rowlands (1987) tarafından önerilen doku katsayısı yaklaşımının, kayaç kesmeye de uygulanabileceği sonucuna varmışlardır.

2.3.3. Kömür kesilebilirliği

Kömürün kesilebilirliği petrografik özellikleri ile doğrudan ilişkili olmaktadır. Kömürün içerisindeki organik parçalar maseral, inorganik parçalar ise mineral olarak adlandırılmaktadır. Maseraller; liptinit, inertinit ve vitrinit olarak üç gruba ayrılırlar.

Kömür maserallerinin mikroskopik ölçekte toplanması ile oluşan mikrobantlar, mikrolitotip olarak adlandırılmaktadır. Bu bantların çıplak gözle kolayca görülebilecek kadar büyüklükte olanları litotip olarak adlandırılmaktadır. Bantların minimum kalınlığı 3-10 mm arasında olmaktadır. Bu bantların vitren, düren, füzen, klaren olarak adlandırılan tipleri vardır. Vitren ve füzen bantları genellikle homojendir. Fakat klaren ve düren bantları farklı organik maddelerin karışımlarından oluştuğundan dolayı heterojen bir yapı sergiler. Bu bantlar içerisinde vitren ve klaren genelde parlak, düren ve füzen ise mat bir yapı sergiler (Kural, 1998).

Kömürün içerisinde bulunan bu bantlar kömürün mekanik özelliğini etkilemektedir. Litotip bantları içerisinde en kolay kazılanı füzendir. Vitren füzene kıyasla iki misli, klaren üç misli, düren yedi misli daha fazla kazı enerjisi gerektirir. Kesici-yükleyici makinalar ile kömür kazısı esnasında, kömür tozu oluşmasına neden olan maseraller genellikle vitren ve füzen olmaktadır (Bilgin ve ark., 1992).

Kömürün damardan kesilmesine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler Bölükbaşı (1986) tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

a) Kömürün mekanik özellikleri: Kömürün mekanik özellikleri kazılabilirliği etkileyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Özellikle kömürün basınç dayanımı ve çekme dayanımı kazılabilirlik açısından ele alınması gereken özellikleridir. Kömürün mekanik özelliklerini belirmemek amacıyla yapılan bir takım laboratuar deneyleri bulunmaktadır. Kömürün dayanımını belirlemek için yapılan deneyler; tek eksenli basınç dayanımı, doğrudan çekme dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, üç eksenli basınç dayanımı, Schmidt çekici ve Shore sertliği deneyleridir. Kömürün kırılma karakteristiğini tayin etmek için yapılan deneyler ise; Cerchar sertlik, Cerhar aşınma, hardgrove öğütülebilme, darbe dayanımı ve koni delici sertlik deneyleridir. Ayrıca arazideki kazı koşullarını tam olarak analiz edebilmek için, laboratuar ölçekli olan özel kazı makinaları kullanılmaya başlanmıştır. Bu kazı setleri için araziden büyük numuneler getirilerek bu kazı makinalarında kesilmekte, kesme sırasında karşılaşılan zorluklar bu sayede tespit edilebilmektedir. Böylece kesici ucun gerçek performansı, verimi ve uca gelecek kuvvetler hakkında daha yeterli bilgi sahibi olunabilmektedir.

b) Klivaj yönü: Yapılan çalışmalarda elde edinilen bilgilere göre, kesme kuvvetinin klivaj yönüne bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. En fazla kesme kuvvetinin klivajı

dik yönde keserken gerektiği, 0º-45º arasındaki damarlarda ise kuvvetin en az olacağı belirlenmiştir.

c) Kesme derinliği: Kesme kuvveti kesme derinliği ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Fakat kazının verimli olup olmadığını iyi analiz edebilmek için spesifik enerjinin de hesaplanarak bir karar verilmesi gerekmektedir.

d) Tavan basıncı: Tavan basıncı kömürün kazısı esnasında bazen artı yönde bazen de eksi yönde etkili olmaktadır. Tavan basıncı, bazen kömürün kırılarak kazının kolay olmasını sağlarken bazen de kömürün daha sert olmasına sebep olarak kazıyı daha zor hale getirebilmektedir. Bu durumun sebebi, kömürün özelliliği ile ilgili olmaktadır.

e) Kesici uçların dizilim tipi: Kesici uçların dizilim aralıklarının uygun olması durumunda kesme kuvveti ve spesifik enerji azalmaktadır. Bu konuda yapılmış olan araştırmalara göre, en verimli kesmenin dizilim aralığı/kesme derinliği oranının 1.5-2 arasında olduğu durumda meydana geldiği saptanmıştır.

f) Kesme açısı: Kesici bıçağın kesme yönüne dik düzlemle yapmış olduğu açı kesme açısı olarak tanımlanmaktadır. Kesme açısının artması, kesme kuvvetinin ve spesifik enerjinin düşmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla kesme açısı arttıkça kesme verimi de artmaktadır.

g) Kesici uç cinsi: Kazılacak formasyona uygun uç seçimi büyük önem arz etmektedir. Formasyona uygun ucun seçilememesi durumunda uçlar erken aşınacak yada kırılacak, dolayısıyla da kazı performansı düşecektir.

h) Kesici uçların aşınması: Aşınan kesici uçlar, kesme kuvvetini de artıracaktır (Bölükbaşı, 1986).

2.4. Kesme Teorileri

Keskilere kesme sırasında etki eden kuvvetlerin belirlenebilmesi amacıyla kesme teorileri geliştirilmiştir. Bu teoriler kazıcı makinanın kullandığı uca göre değişiklik göstermektedir. Bu doktora tez çalışmasında kalem uçlu keskiler kullanıldığından dolayı kalem uçlu keskiler hakkındaki kesme teorilerine yer verilmiştir.

Lundberg (1974) ve Ranman'ın (1985) kalem uçlu keskiler için geliştirdikleri

teoriler bulunmaktadır. Lundberg'in teorisine göre, konik uçlu keski kayaca batarken oluşan radyal çatlaklar çekme gerilmesinin yenilmesi sonucu olmaktadır. 1985 yılında Ranman tarafından geliştirilen teori, kesme sırasında oluşan kayaç parçalarının geometrilerini de ele almaktadır. Günümüzde çoğunlukla kullanılan kesme teorileri aşağıda açıklanmıştır.

2.4.1. Evans yaklaşımı

İngiliz Kömür Dairesi araştırma merkezinde Evans (1962) kömürlerin kesilebilmesi üzerine bir teori geliştirmiştir. Teorisini kama uçlu keskilerin neden olduğu çatlakların, kayacın çekme dayanımıyla ilişkisi üzerine kurmuştur. Evans, kesme olayının kayacın çekme dayanımının yenilmesiyle oluştuğunu iddia etmiştir. Bu teori ayrıca keskinin konik kafası etrafında oluşan gerilmelerden dolayı keski kayaç içerisinde ilerlemeye başladığı andan itibaren kırılmaların başladığını kabul eder (Evans, 1984). 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. Evans kesme teorisine göre, kama ve kalem uçlu keskiler için geliştiren bağıntılar aşağıda verilmiştir (Bilgin, 1989).

Kama uçlu keskiler için;

$$F'C = \frac{2\sigma_t W d Sin\frac{1}{2}(\Pi/2-\alpha)}{1-Sin\frac{1}{2}(\frac{\Pi}{2}-\alpha)} \qquad [2.1]$$

$$S = \frac{W}{2}\left[1+(1+\frac{20}{k^2})\right]\frac{1}{2} \qquad [2.2]$$

Burada;

F'C: Maksimum kesme kuvveti

σ_t: Kayacın çekme dayanımı

d: Kesme derinliği

W: Keski genişliği

α : Kesme açısı

S: Keskiler arası optimum mesafe

k: W/d

Kalem uçlu keskiler için;

$$F'C = \frac{16\Pi\sigma_t^{\,2}d^2}{Cos^2\theta/2\sigma_c} \qquad [2.3]$$

$$S = 2d\sqrt{3} \qquad [2.4]$$

Burada;

θ: Uç açısı

σ_c: Kayacın basınç dayanımı

*Diğer semboller Eşitlik 1'de verilmiştir.

2.4.2. Merchand-Potts-Shuttleworth yaklaşımı

Radyal ve ileri atımlı keskilerle ilgili ilk teori Merchand (1945) tarafından geliştirilmiştir. Bu teori metallerin kesme teorisi esasına dayanmaktadır. Potts ve Shuttle worth (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. Bu teoride keskiye gelen kesme kuvveti aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilmektedir (Bilgin, 1989).

$$F'C = \frac{\sigma_s dWCos(\gamma-\alpha)}{Sin\Phi Cos(\Phi+\gamma-\alpha)} \qquad [2.5]$$

Burada;

σ_s: Kayacın kesme dayanımı

γ: Kayaç ile keski arasındaki sürtünme açısı

Φ: Kayacın içsel sürtünme açısı.

* Diğer semboller Eşitlik 1'de verilmiştir.

2.4.3. Nishimatsu yaklaşımı

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. Bu teoriye göre geliştirilen eşitlik aşağıda sunulmuştur (Bilgin, 1989).

$$F'C = \frac{2\sigma_s dW Cos(\gamma - \alpha) Cos\Phi}{[n+1][1 - Sin(\gamma + \Phi - \alpha]} \qquad [2.6]$$

$$n = 12 - \frac{\alpha}{2} \qquad [2.7]$$

* Diğer semboller Eşitlik 1'de verilmiştir.

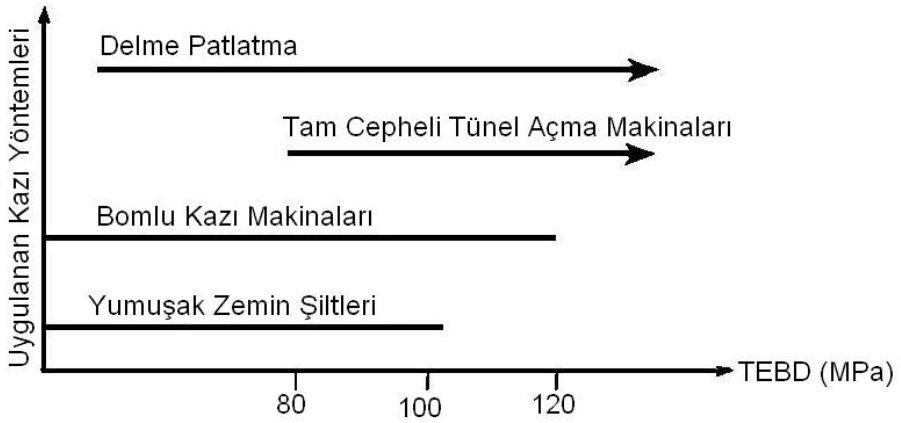
2.5. Mekanik Kazıda Kullanılan Kazıcı Makinalar

Galeri açma makinaları çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaktadır. Fakat literatürde en çok karşılaşılan sınıflandırma şekli, kazı cephesine göre yapılan sınıflandırma olmaktadır (TS 6806, 1989).

1. *Tam cephe kazı yapan makinalar;* tam cepheli tünel açma makinalarının (TBM) keskileri bütün arına temas ederek kazı yaparlar. Bu kazı işlemi sırasında keskilerin arına temas etmesini sağlamak için makinanın bütünü ya da makinanın kafası devamlı olarak öne doğru hareket eder. Bu tip makinalar dairesel kesitli kazı yapmak üzere tasarlanmışlardır. İlk yatırım maliyetleri yüksek olduğundan kısa galerilerin açılmasında ekonomik değillerdir. Bu yüzden, bu makinalar daha çok metro, su ve kanalizasyon tünelleri açımında kullanılmaktadırlar. Bu makinaların boru itme, mikro tünelcilik ve arazi basıncı dengeleme makinaları gibi tipleri bulunmaktadır. Tam cepheli tünel açma makinalarının yumuşak kayaçtan sert kayaç koşullarına kadar geniş bir kullanım aralığı vardır. Bu makinaların ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasından dolayı uzun tünellerde ve yüksek ilerleme hızlarında ancak ekonomik olabilmektedirler. Düzgün tünel yüzeyleri elde edilebildiğinden dolayı su ve havalandırma tünellerinin açımında tercih edilirler. Tasmanın kontrol edilebilmesi ve titreşim oluşmamasından dolayı bu makinalar yerleşim yerlerinde de kullanılabilmektedir.
2. *Kademeli kazı yapan makinalar;* tarama makinaları ve kollu makinalar olarak ikiye ayrılırlar. Kollu galeri açma makinası (Roadheader), tamburlu kesici (Drum

shearer), sürekli kazı makinası (Continous miner) ve hidrolik kırıcılar bu sınıfa girmektedir.

Şekil 2.6'da tünel açma yöntemlerinin hangi kayaç dayanımı aralığında kullanıldıkları genel olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.6. Çeşitli tünel açma yöntemlerinin kayaçların tek eksenli basınç dayanımına (TEBD) göre kullanım aralığı.

Herhangi bir tünelin mekanik kazı yöntemleriyle açılmasına karar verildiğinde, genel olarak tam cepheli tünel açma makinaları ile kollu galeri açma makinası (KGAM) kullanımı gündeme gelmektedir. Tam cepheli tünel açma makinalarının (TBM) bütün keskileri kayaçla temas halinde olmakta ve bir seferde arının tamamını keserek ilerlemektedirler. Bu sebeple makina kafasına eşit büyüklükte dairesel tüneller açılabilmektedir. KGAM'da ise kesici kafa, belirli kesme derinliğinde arını kısım kısım keserek ilerleme sağlamaktadır. Kazı anında keskilerin sadece bir kısmı kayaçla temas halinde, yani kesme durumundadır. Kesilecek kesit şekli ve büyüklüğü açısından tam cepheli tünel açma makinalarına göre çok daha esnek kullanımları bulunmaktadır. Makinanın özelliklerine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde ve şekillerde galeriler açılabilir. Diğer bir üstünlüğü ise, kazı kısmi yapılabildiği için arının yapısına uygun olarak seçimli kazı yapılabilmekte, böylece daha verimli kazı işlemi gerçekleştirilebilmektedir. İlk yatırım maliyetleri de tam cepheli tünel açma makinalarına göre daha düşük olmasına rağmen sert ve aşındırıcı kayaçlar için kazı kapasiteleri sınırlı olup ekonomik olmamaktadırlar.

Kesici uç kullanarak mekanik kesme yapan kayaç ve kömür kazı makinaları madencilik sektöründe önemli kullanım alanı bulmuştur. Bu makinalar daha çok

madencilikte hazırlık galerilerinin açılmasında kullanılmalarına karşın ayrıca, demiryolu ve karayolu tünelleri ile metro tünellerinin açımında da yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Ülkemizde mekanik kazı yapan makinalar 1970'li yıllarda GAP çerçevesindeki Urfa sulama tünellerinin açımı esnasında kullanılmıştır. Daha sonları başta kömür madenciliği olmak üzere çeşitli alanlarda geniş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Dünyada kazıcı makina üreten belli başlı firmalar bulunmaktadır. Bu firmalara ait kataloglar değerlendirilerek Çizelge 2.5 hazırlanmıştır.

Çizelge 2.5. Dünyada kazıcı makina üreten firmalar

Tam Cephe Kazı Makinası (TBM)	Kollu Galeri Açma Makinası (KGAM)	Tamburlu Kesici-Yükleyici
Robbins (A.B.D.)	Joy (A.B.D.)	Joy (A.B.D.)
Mitsubishi (Japonya)	DBT (Almanya)	DBT (Almanya)
Komatsu (Japonya)	Eickhoff (Almanya)	Eickhoff (Almanya)
Lovat (Kanada) Ankara Metrosu Wirth (Almanya)	Anderson Strathclyde Plc. (İskoçya) Wirth (Almanya)	Anderson Strathclyde Plc (İskoçya)
Kawasaki	Sandvik (İsveç)	
Dosco (İngiltere)	Dosco (İngiltere)	
Atlas Copco	Marietta (A.B.D.)	
Herrenknecht (Almanya) (İzmir Metrosu)	Edeco (İngiltere)	
Voest-Alpine Bergtechnik (Avusturya) A. E. Yates Microtunnelling Ltd (İngiltere)	Voest-Alpine Bergtechnik (Avusturya) Construzione Machine Marconi (İtalya) Paurat (Almanya)	
	Mindev (İngiltere)	

2.5.1. Kollu galeri açma makinası

Kollu galeri açma makinaları (KGAM) aynı zamanda "Bomlu galeri açma makinaları, galeri açma makinaları ve seçimli kazı makinaları olarak da bilinmektedir.

KGAM, kesici kafanın boma yerleştiriliş konumuna bağlı olarak iki tiptedir. Bunlar, dönme ekseni bom eksenine paralel (BEP) olanlar ve dönme ekseni bom eksenine dik (BED) olanlardır.

Mekanize tünelcilik faaliyetlerinde ilk zamanlarda tam cepheli tünel açma makinaları daha fazla kullanılırken, günümüzde KGAM'a doğru bir yönelme olmaktadır. Madenlerde galeri açılmasından başka yeraltı madenlerinde üretim amaçlı, özellikle de kömür, endüstriyel mineraller ve metal cevher kazısında kullanımı yaygınlaşmıştır (Breitrick, 1998). Birçok alanda bu makinanın kullanımının artması sonucu, daha güçlü ve kompakt makinaların üretilmesini de beraberinde getirecektir. Ayrıca kesici kafa tasarımında yapılacak iyileştirmeler, basınçlı su ve bilgisayar kontrollü otomatik sistemlerin eklenmesi gibi yeni ekipmanların da eklenmesi ile KGAM'ların kullanımının daha da yaygınlaşacağı tahmin edilmektedir.

KGAM, genellikle ağırlıkları ve kesici kafa güçlerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Bir makinanın ağırlığı arttıkça uygulayabileceği güç ve kuvvet miktarı da artırılabileceğinden, bu makinalarla daha sert kayaç koşullarında kazı gerçekleştirilebilmektedir. Kayaç kazılabilirliği, kayacın mekanik, kütlesel, jeoteknik, ve kimyasal gibi birçok özelliğine bağlı olmaktadır. Fakat literatürde genellikle makina ağırlıkları, güçleri ve kazabilecekleri kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerlerine göre bir sınıflama yapılmaktadır. Bu şekilde yapılmış sınıflandırmalara bir örnek Çizelge 2.6'da verilmiştir (Matti, 1999). Genelde hafif tipteki makinalarla en fazla 50–60 MPa basınç dayanımına kadar kayaçları ekonomik olarak kesilebilebilmekte, orta ağırlıktaki makinalarla 80–85 MPa, ağır tipteki makinalarla da 120 MPa kadar dayanımdaki kayaçları kesmek mümkün olmaktadır. Makina ağırlığının 100 ton'un ve gücün de 300 kW'nın üzerine çıktığı durumlarda ise 150 MPa'a kadar dayanımı olan kayaçlar kesilebilmektedir.

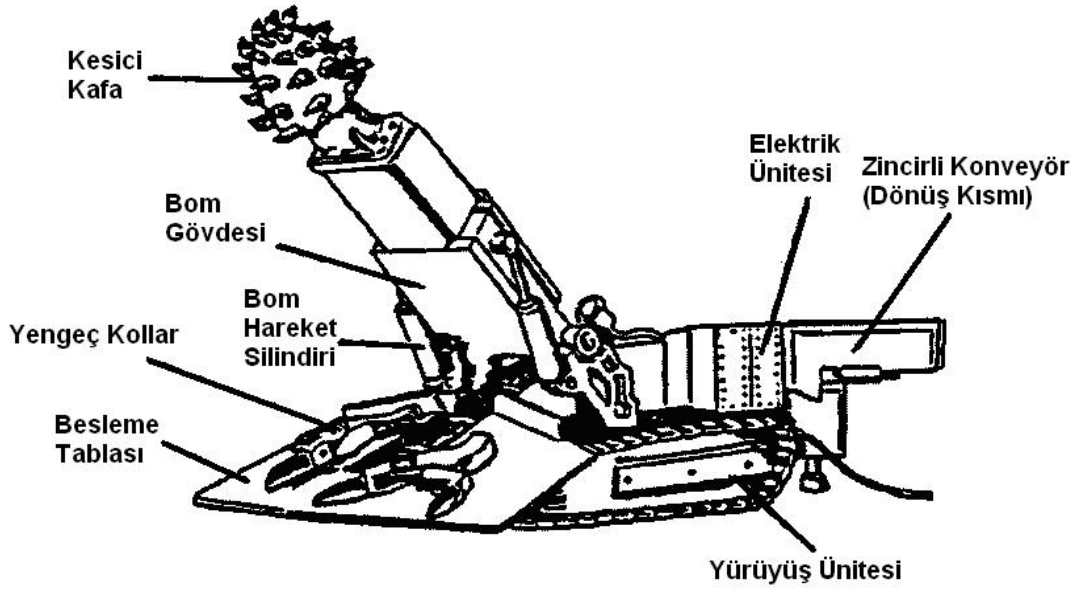
Çizelge 2.6. Kollu galeri açma makinalarının ağırlık ve güç bazında sınıflandırılması (Matti, 1999)

KGAM	Ağırlık (ton)	Güç (kW)	Standart kesme profili		Uzatılmış kesme profili	
			Maksimum profil (m^2)	Maksimum σ_c,(MPa)	Maksimum profil, (m^2)	Maksimum σ_c, (MPa)
Hafif	8-40	50-170	~25	60-80	~40	20-40
Orta	40-70	160-230	~30	80-100	~60	40-60
Ağır	70-100	250-300	~40	100-120	~70	50-70
Çok Ağır	>100	350-400	~45	120-140	~80	80-110

2.5.1.1. Kollu galeri açma makinalarının yapısı

Kollu galeri açma makinası bir bütün halinde olmayıp birbirine bağlanan birçok parçadan oluşmaktadır. Bu sayede, makinanın bir yerden başka bir yere nakliyesi kolay olmaktadır. Kollu galeri açma makinası genel olarak "bom ünitesi, malzeme yükleme ünitesi, malzeme aktarma ünitesi, yürüyüş ünitesi, hidrolik ve elektrik aksamlarından oluşmaktadır. Bunların dışında seçimli olarak kullanılabilen ek donanımlar da kullanılabilmektedir. Örneğin tahkimat direkleri ve boyundurukları kaldırmak ve yerlerine yerleştirmek için ek tertibatları bulunmaktadır (Hekimoğlu ve Fowell, 1988). Şekil 2.7'de tipik bir kollu galeri açma makinası şekli görülmektedir.

Bu makinalar arını kademeli olarak kazarlar. Kesici kafa, bir kol (Bom) ucundan dönerek kazı yapar. Kesici kafalar çalışacakları ortama göre uygun kesici uçlar ile donatılırlar. Kazıcı makinanın kolu yukarı-aşağı, sağa-sola ve ileri-geri hareket edebilme kapasitesine sahiptir. Ayrıca bu kol tahkimatın yapılmasına da yardımcı olmaktadır (Şekil 2.7 ve 2.8).



Şekil 2.7. Bir kollu galeri kazı makinasını oluşturan parçalar (Hekimoğlu ve Fowell, 1988).



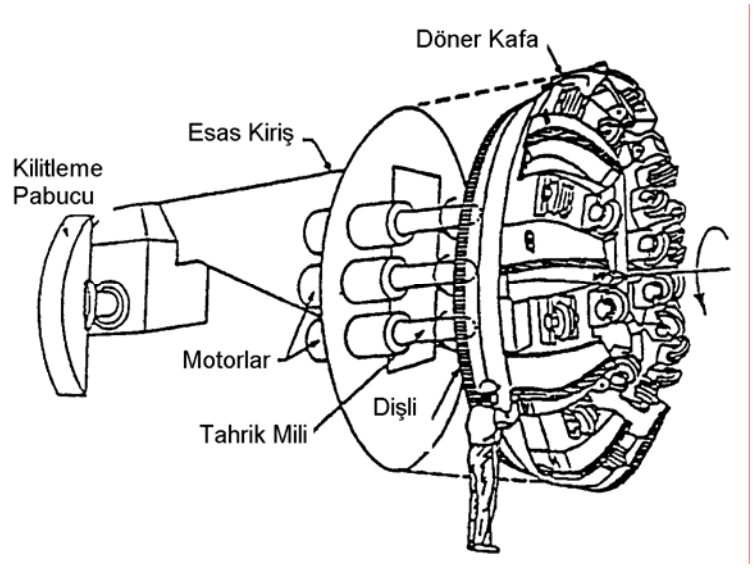
Şekil 2.8. Yıldız kollu toplama ünitesine sahip bir kollu galeri açma makinası (www.dosco.co.uk, 2007).

2.5.2. Tam cephe kazı makinaları (TBM)

Bu makinalar galeri aynasını bir bütün olarak kazarlar. Kazdıkları malzeme, makina içerisinde bulanan sistemler sayesinde dışarıya nakil edilir. Gelişmiş modellerinde tahkimatı da kendisi yapabilmektedir. Genellikle 1.8-10 m çaplarında yapılmaktadır. Daha büyük çaplardakiler özel istek üzerine yapılmaktadırlar.

TBM'ler genel olarak kesici kafa, itme silindirleri, kilitleme pabuçları, yönlendirme silindirleri, kesici kafayı döndüren motorlar ve beton tahkimat elemanlarını yerleştiren elemanlardan oluşur. TBM'lerin arkasında ise elektrik trafoları, güç üniteleri, havalandırma fanları ve çıkan pasanın nakliyatı için bantlı konveyörler ve vagonlar bulunmaktadır (Şekil 2.9 ve 2.10).

Tünel açma makinaları, şehirlerde tünele olan artan ihtiyaçtan, tahrip etmeden tesisi kurma ve patlatmanın bölgedeki halka verdiği rahatsızlıklardan dolayı günümüzde geniş çapta kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca nükleer depo yapımında, duvarlarda daha az tahrip yaptığı, dolayısıyla zararlı atıkların kayaç içinden sızmasını engellediği için kullanılmaktadır. Bir TBM makinasının en önemli parçaları kesme kafası ve keskileridir. TBM'nin kesme kafası ve kesicilerinin dizaynı kesme verimliliği ve kayanın kırılma özellikleri ile bağlantılıdır.



Şekil 2.9. TBM bastırma ve tork sistemleri (Çınar ve Feridunoğlu, 1994).



Şekil 2.10. Disk keskilere sahip bir TBM (lovat.com, 2007).

2.5.2.1. TBM'lerin performans değerlendirmesi

TBM'lerin performanslarını tahmin için yıllar içinde değişik metotlar geliştirilmiştir. Laboratuar koşullarında en gerçekçi performans tahmini tam boyutlu kesme deneyleri uygulanarak elde edilebilmektedir. Dünyada bu deney düzeneklerinin bulunduğu iki merkez mevcuttur. Bunlardan birincisi ABD'de (Colorado School of Mine) ikincisi ise Türkiye (İTÜ)'dedir. Tam boyutlu kesme

deneylerinde araziden getirilen 1 m^3 hacmindeki blok numuneler gerçek boyuttaki keskiler ile kesilir. Kesme işlemi sırasında keski üzerine gelen kuvvetler ölçülür. Bu deneyin yapılmasındaki amaç optimum spesifik enerji değerini bulmaktır. Bu değeri bulabilmek için farklı kesme derinlikleri ve farklı keskiler arası mesafeler seçilerek kazı işlemi yapılır. Bu deney sonucunda baskı kuvveti, kazı hızı, tork ve kesici motor gücü de bulunur. Tam boyutlu kesme deney seti iyi sonuçlar vermesine rağmen pahalı bir laboratuar aleti olduğundan dolayı kullanım alanı kısıtlı kalmıştır. Bu nedenle tünellerden alınan veriler ile laboratuarda yapılan deney sonuçlarının analiz edilmesi esasına dayanan amprik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Uluslar arası alanda kabul görmüş bir performans tahmin yöntemi Trondheim Üniversitesi ve Norveç Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir (Çınar ve Feridunoğlu, 1994).

TBM günümüzde oldukça çok kullanılmaya başlanmıştır. Bu yüzden farklı kayalardaki performansını tahmin edebilmek, ekonomik tünel metotlarını seçmek ve proje planlaması için çok önemli bir konu haline gelmiştir. Geçmiş yıllarda laboratuar testleri ve yerinde gözlemleri temel alan birçok tahmin modelleri önerilmiştir. Ancak, eskiden önerilen tahmin denklemleri yalnızca homojen ve izotropik kayalardaki TBM'nin performansının tahmini için uygun olmaktadır. İlk zamanlarda NTNU (Norwegian University of Science and Technology) tarafından önerilmiş olan kapsamlı bir tahmin modelinde eklem yönünün etkisi dikkate alınmıştı. Fakat 1976 yılına kadar miktarı ölçülmemişti. Bu model ile ilk olarak 1979 yılında eklem yönü etkisinin miktarını belirlenmeye çalışılmıştır. Son modellerde, eklem açıklığı ve eklem yönünün TBM performansında önemli bir faktör olduğu vurgulanmış ve dikkate alınmıştır. Ancak kaya kesme işleminin tam anlaşılamamasının sebebi, kaya kütlesi ile TBM keskilerinin etkileşiminin çok karmaşık bir yapı sergilemesidir.

Tünel açma makinalarının performansını en çok kesicilerin parçalama verimliliği etkilemektedir. Birçok jeolojik faktör kayanın parçalanma sürecine etki edebilmektedir. Gong ve ark. (2005) yapmış oldukları çalışmada, iki boyutlu bir model oluşturarak bir TBM kesicisi tarafından kayanın parçalanmasında eklem yönünün etkisini araştırmışlardır. Bunun için farklı elemanlar metodunu (DEM) uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre eklem yönü hem çatlak başlaması ve yayılımını hem de kırılma biçimini etkilemektedir. Dolayısıyla TBM'nin delme oranı

etkisi üzerinde de eklem yönü önemli miktarda etki yaratabilmektedir. TBM kesicilerinin yapmış olduğu kaya parçalama işini modelleyerek eklem yönünün etkisini incelemek için çalışmalarında DEM modelini kullanmışlardır. Bu modelin sonuçlarına göre, eklemli bir kaya kütlesindeki çatlak ilerlemesi ve yayılımı eklem yönü sayesinde iki farklı durumda olmaktadır. Birinci durum, kayanın kesici tarafından koparılmasıyla oluşan kaya parçalanma sürecidir. İkinci durumda ise, kaya parçalanma olayıdır. Kırılma çekme yenilmesi nedeniyle eklem düzlemlerinden olmaktadır (Gong ve ark., 2005).

Sapigni ve ark. (2002) Kuzey İtalya'da bir su tüneli açılması sırasında kullanılan TBM'leri izleyerek bunların performanslarını araştırmışlardır. Kazı sert metamorfik kayaçlarda yapılmış ve toplam 3 adet tünel kazısı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, RMR değerleri ile TBM performansı arasındaki ilişkinin varlığını araştırmaya yönelik olmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre, RMR ile batma oranları arasında elde edilen deneysel bağıntıya göre, RMR oranı 40-70 arasındayken, TBM maksimum performansa ulaşmaktadır. Buna karşılık RMR değerinin çok kötü (RMR<30-40) veya RMR değerinin çok iyi (RMR>70-80) olduğu durumlarda keskilerin batma miktarları daha az olmaktadır.

Bilgin ve ark., (2005) İstanbul-Tarabya tünellerinin TBM ile kazısı sırasında bu makinenin performans değerlendirmelerini yapmışlardır. Ayrıca blok numuneler alarak tam boyutlu kesme deney seti kullanılarak da makina ilerleme hızı ve makinadan yararlanma oranı gibi performans parametrelerini belirlemişlerdir. Sonuçta, laboratuarda elde edilen performans parametreleri ile arazide elde edilen sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Bu sebeple tam boyutlu kesme deney setinin TBM makinalarının performansını tahmin etmek için kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir. Benzer bir çalışma Bilgin, ve ark., (1999) tarafından İstanbul-Tuzla'daki kanalizasyon tünellerinin açılması esnasında yapılmıştır. Araştırmacılar, net kazı hızı ve keskilerin kayaca batma kuvveti arasında laboratuarda ve arazide yapılan çalışmalar arasında istatistiksel bir uyumun olduğunu belirlemişleridir. Fakat makinanın günlük ilerleme hızının tahmini için laboratuar deneylerinin yeterli olmayacağı belirlenmiştir. Çünkü makinanın günlük ilerleme hızına makinanın kesme enerjisi, işletmedeki iş organizasyonu, deneyim, operatörün tecrübesi, beklenilmeyen jeolojik durumlar gibi parametreler etki etmektedir.

2.5.3. Tamburlu kesici yükleyici makinalar

Tamburlu kesici-yükleyici makinalar, üzerlerinde bulunan tamburlar ile kazı yapan ve sonra, aynı tamburlar ile kazılmış olan malzemeyi zincirli konveyöre yükleyen kazı makinalarıdır. Bu makinalar, üzerlerinde taşıdıkları tambur sayılarına göre tek tamburlu ya da çift tamburlu kazı makinaları olarak adlandırılırlar. Tek tamburlu makinalar bu serinin ilk modeli olup genellikle kazı işleminin tek yönde yapıldığı ve damar kalınlığının sabit olduğu koşullarda kullanılmatadır.

1912–1929 yıllarında, kömür arınına potkabaç çekmektense, tüm arını bir tambur ile kesmenin daha iyi olacağı düşünülmüştür. Özellikle ayak içindeki kazı ve yükleme işini makinayla yapma düşüncesi, tamburlu kesici-yükleyici makinaların gelişmesine neden olmuştur. 1950 yılında kesici makinaların yapımı ile gelişme başlamıştır. Arından kestiği kömürü zincirli bir konveyöre yüklemesi nedeniyle bu tip makinalara "kesici-yükleyici" kazı makinaları adı verilmiştir. Kesici yükleyici makinalardaki gelişmeye paralel olarak, tahkimat sistemlerinde de gelişmeler olmuştur. Böylece yürüyen tahkimat elemanları mekanize kazıda kullanılarak tam bir mekanizasyon ortamı oluşturulmuştur. Bu tahkimatlar aynı zamanda yüksek bir iş güvenliği ve çalışma rahatlığı sağlamaktadır. Bu sayede kazı, yükleme ve tahkimat sisteminin mekanik olarak uygulandığı tam mekanize üretim sistemlerine geçiş başlamıştır.

Pek çok ülke ve firma, çok çeşitli isimler altında, değişik özelliklere sahip kesici-yükleyici kazı makinaları üretmektedir (Çizelge 2.5). Tamburlu kesici-yükleyici makinaların, üretimde kullanılan diğer kazı makinalarına üstünlükleri açıkça bilindiğinden, günümüzde tamburlu kesici-yükleyici kazı makinalarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Tamburlu kesici-yükleyicilerde geçmişten bugüne kadar birçok gelişmeler olmuştur. Bu makinalar tambur kolunun hareketine göre sınıflanacak olursa "sabit tamburlu" ve "hareketli tamburlu" kesici-yükleyiciler olarak sınıflanabilir. Kazı yönüne göre sınıflanırsa; tek veya çift yönlü kazıcı makinalar olarak ayırmak mümkündür. Günümüzde bu makinalar üzerindeki gelişmeler genelde, L tipi çift tamburlu, çift yönlü kazı yapabilen tamburlu kesici-yükleyici makinalar yönünde olmaktadır.

2.5.3.1. L tipi tek tamburlu kesici-yükleyiciler

Bu tip makinalara L tipi denmesinin nedeni yukarıdan bakıldığında L harfine benzemesindendir. Bu makinaların ana özellikleri, tamburun yüksekliğini ayarlamak için bir mafsal milinin kullanılması ve taşıyıcı kolun çok ince bir yapıya sahip olmasıdır. Kazı işlemine başlanıldığında ilk olarak makina tamburu arının üst tarafını ayak boyunca kazar. Kazılan kömürler hem tamburun yükleme etkisiyle, hem de damarın henüz kazılmadan kalmış basamak şeklindeki alt kısmının üzerinden kaymasıyla zincirli konveyöre yüklenir. Ayağın sonuna gelindiğinde tambur aşağıya indirilir ve tabandaki kömür kazılarak geriye dönülür. Bu esnada daha önceden kazılmış olan kömürler de oluğa yüklenir (Tatar ve Özfırat, 2003).

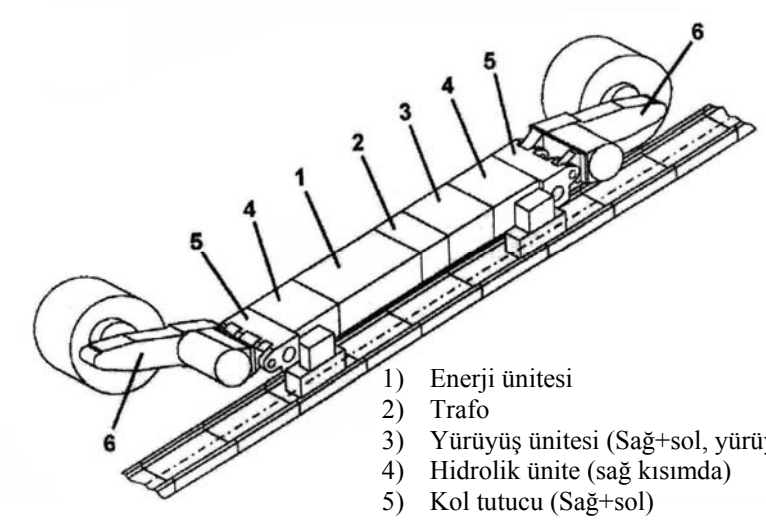
L tipi tek tamburlu kesici-yükleyici makinalar, özellikle jeolojik kusurların olduğu ayaklar için daha uygundurlar. Çünkü tek tamburla damarın istenilen bölgesi kazılabildiğinden, ayak kesiti minimum tutulabilmektedir. Fakat yine de kazı verimi ve hızı açısından değerlendirildiğinde uygun damar kalınlıklarında, çift tamburlu makinalar tercih sebebi olmaktadırlar (Tatar, 1992).

2.5.3.2. L tipi çift tamburlu kesici-yükleyiciler

Damar kalınlığının yani arın yüksekliğinin, tambur çapından fazla olduğu durumlarda, arındaki kömürün tamamen kazılabilmesi için, makinanın arın boyunca birkaç kez gidip gelmesi gerektiği durumlar tek tamburlu kesici yükleyiciler için büyük bir sorun oluşturmaktadır. Bu problem yüzünden yüksek bir kazı kapasitesine ve yüksek bir ilerleme hızına ulaşmak güçleşmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için kesici-yükleyiciye birinci tamburdan bağımsız olarak çalışabilecek, ikinci bir tambur eklemek düşüncesi ortaya çıkmıştır.

Çift tamburlu kesici yükleyicilerin tek tamburlu kesici yükleyicilere göre bir takım avantajları vardır. Bu avantajlardan en önemlisi makinanın arındaki malzemeyi arın yüksekliği ölçüsünde bir defada kesebilmesidir. Bu sebeple yüksek kazı verimi ve üretim hızı elde edilebilmektedir. Kazı hızının fazla olmasından dolayı tavan koşulları bu durumdan olumlu etkilendiğinden, tahkimata da daha az yük gelmektedir. İkinci önemli avantajı ise, tahkimatın makinanın hemen arkasından yapılabilmesidir. Üçüncü avantajı ise, ayak başında ve kuyrukta zincirli konveyör

ünitelerinin gereksinim duyduğu ceplerin bu tamburlar yardımıyla açılabilecek olmasıdır. Günümüzde artık çift tamburlu kesici-yükleyici makinalar tercih edilmektedir (Tatar ve Özfırat, 2003). Şekil 2.11'de makinanın ana parçaları, Şekil 2.12'de ise tipik bir resmi görülmektedir.



1) Enerji ünitesi
2) Trafo
3) Yürüyüş ünitesi (Sağ+sol, yürüyüş+yürüyüş takımı)
4) Hidrolik ünite (sağ kısımda)
5) Kol tutucu (Sağ+sol)
6) Taşıyıcı kol+halter+tambur (Sağ+sol)

Şekil 2.11. L Tipi kesici yükleyici makinanın parçaları (Turan, 2004b).



Şekil 2.12. Eickhoff SL 500 L tipi çift tamburlu kesici yükleyici (www.eickhoff-bochum.de, 2007).

2.6. Mekanik Kazıcılar İçin Performans Tahmini

Kazı makinalarından başarılı performans elde etmek için formasyona ve makinaya ait bazı parametrelerin iyi bilinmesi gerekmektedir. İlk olarak kazılacak formasyona uygun makina seçiminin yapılması gereklidir. Daha sonra, seçilen bu makinadan istenilen verimin alınabilmesi için kazı çalışmasını etkileyen diğer makina ve işletme ile ilgili parametrelerin dikkate alınarak performans değerlendirmelerinin yapılması söz konusu olacaktır. Kazı makinalarının performansı makina, kayaç ve işletme faktörlerinin bir bütünlük içinde değerlendirilmesi ile mümkündür. İyi bir makina performansı elde etmek için kullanıcının bu konuda yeterli bilgi, deneyim ve birikime sahip olması gerekmektedir.

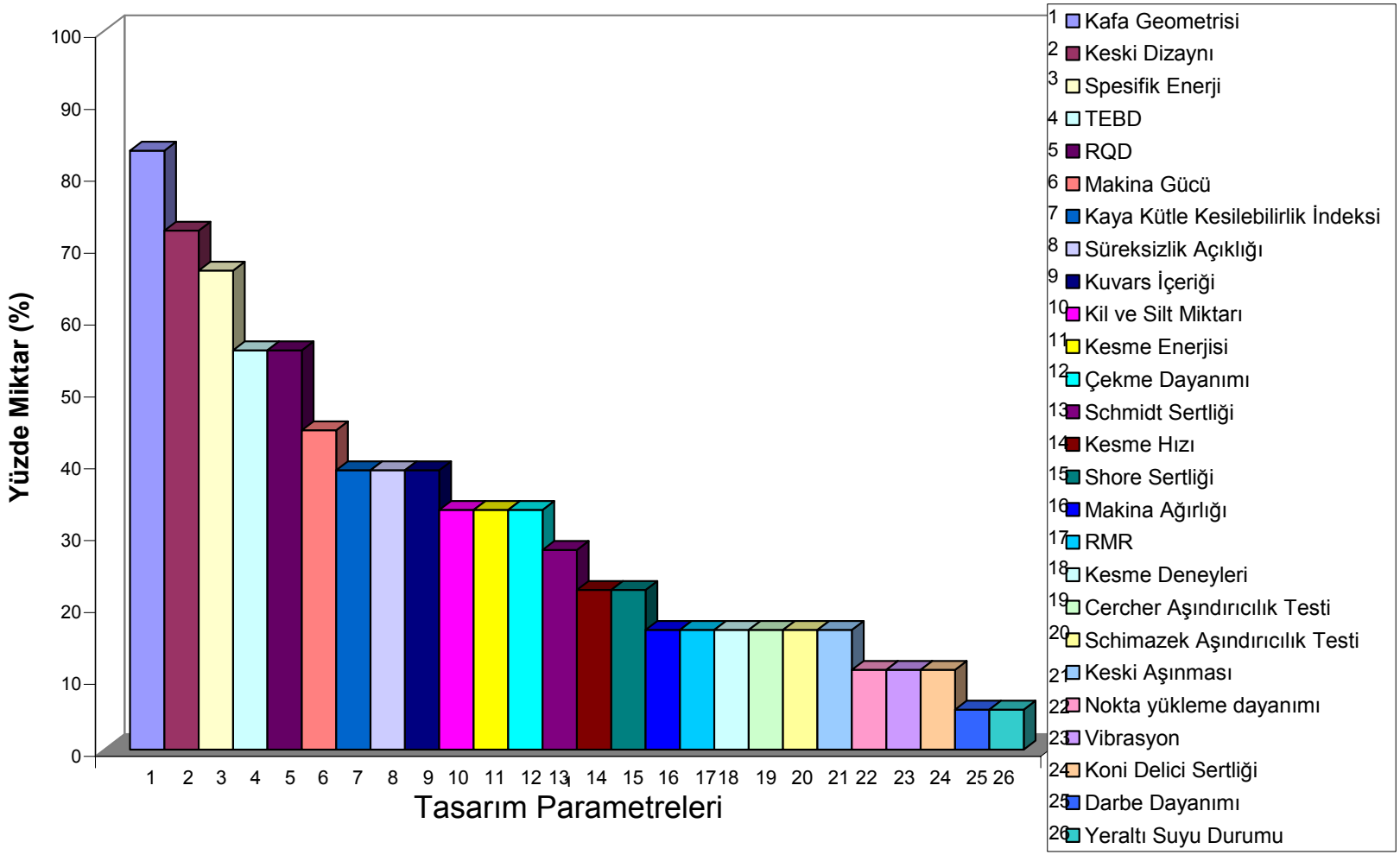
Makina ile ilgili parametrelerden olan kesici kafa veya tamburlardaki keski uçlarının uygun bir şekilde düzenlenmesi, kaya ve kömür kesme makinalarının performanslarına etki eden önemli parametrelerden biridir. Ayrıca kesme uçlarının yüzeyle temas açısı ve yerleştirilme düzenleri de makinaların performanslarını etkileyen unsurlardan biridir (Hekimoglu ve Özdemir, 2004).

Maksimum kazı performansı elde edebilmek için formasyona uygun makinanın seçilmesi gerekmektedir. En uygun kazı makinasını seçebilmek için, mekanize kazı performansını etkiyen faktörler iyi analiz edilmelidir. Kazı makinalarının performansını etkileyen faktörler genel olarak üç grup altında toplanabilir.

- Kaya malzemesi ve kütlesi ile ilgili faktörler
- Makina ile ilgili faktörler
- İşletme faktörleri

Mekanik kazıcıların performanslarını tahmin edebilmek için bazı performans tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Kazıcı makina performansını tahmin edebilmek için araştırmacılar yukarıda üç grup altında toplanan birçok parametreyi kullanmaktadırlar.

Literatürde 23 adet makale analiz edilerek araştırmacıların mekanik kazıcıların performans tahmininde kullandığı parametrelerin sıklıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırmacıların kullandıkları bu parametrelerin kullanım sıklığı Şekil 2.13.'de sunulmuştur.



Şekil 2.13. Araştırmacıların kazıcı makina performansı tahmininde kullandıkları parametreler ve kullanım sıklıkları (Bilim, 20003).

Mekanik kazı makinalarının performansları, formasyona uygun makina seçimine, uygun kayaç koşullarına, işletme koşullarına, makine tasarımına ve kazı işleminin tahkimat, nakliye ve havalandırma gibi işlemlerle olan etkileşimi gibi faktörlere bağlıdır (Fowell ve Johnson, 1982). Kazı bölgesindeki yukarıda bahsedilen işlemlerle bütünlük sağlamış olan bir makinanın değişen kazı koşullarına göre de uygun hale getirilmesi gereklidir. Makinanın yeni kazı koşullarına uygun hale getirilebilmesinde makinanın kesici kafa tasarımı ve kesici uçların tipi büyük önem taşımaktadır. Kesici kafa ya da tambur tasarımlarında önemli olan parametreler bugüne kadar yapılan ayrıntılı çalışmalarla belirlenmiştir (Hurt, 1980).

Yapılacak kazının ekonomikliğinin belirlenmesinde ana faktörlerden biri formasyonu kazmak için kullanılacak mekanik kazıcının performans tahminidir. Kazı performansı tahmininde değişik metotlar kullanılmaktadır. İyi sonuçlar elde etmek için bir kaç metot bir arada uygulanmalıdır. Bu metotlar; tam boyutlu kesme deneyleri, küçük boyutlu kesme deneyleri (karot kesme), ampirik yaklaşımlar, yarı teorik yaklaşımlar ve arazide gerçek bir makina kullanımı olarak sınıflanabilir.

Tam boyutlu kazı seti ile bir kayaç numunesi kesilirken bir keskiye etkiyen keski kuvvetleri ölçülmektedir. Bu kuvvetler, mekanize kazıcı ve keski seçiminde, kesme geometrisinin belirlenmesinde, performans ve maliyet tayininde kullanılmaktadır.

Kayacı kesmek için gerekli olan kesme, normal kuvvetler ve spesifik enerji değerleri farklı kesme derinliği ve keskiler arası mesafelerde belirlenir ve daha sonra Eşitlik 8'den mekanik bir kazıcı için net ilerleme hızı (ICR) m^3/h olarak hesaplanabilir (Rostami ve ark., 1994). Bu eşitlikte P kesici kafanın kesme gücü (kW), SE_{opt} (kWh/m^3) kesme deneyleri sırasında en verimli kazı yapılan durumda elde edilen spesifik enerji değeri, k ise enerji transfer katsayısıdır.

$$ICR = k\frac{P}{SE_{opt}} \qquad [2.8]$$

Küçük boyutlu kesme deneyleri hem arazide hem de laboratuarda birçok kayaç üzerinde yapılan deneyler ve gözlemler sonucunda elde edilmiş, yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Mc Feat-Smith ve Fowell 1977, 1979).

Diğer bir performans tahmin yöntemi olan yarı teorik performans tahmin yöntemlerinde, bilgisayarla tasarlanarak oluşturulmuş bir model kullanılır. Birçok

makina üreticisi, araştırma enstitüsü ve danışman firmalar bu amaç için geliştirilen bilgisayar modelleri geliştirmişlerdir (Çopur, 1999; Hurt ve ark., 1982; Rostami ve Özdemir, 1994).

En net sonucu veren performans yöntemlerinde, kullanılmış bir makina bulunarak veya gerçek bir makina kiralanarak kazının yapılması düşünülen madende veya tünelde test edilmesi esasına dayanır. Bu çok pahalı ve zaman alıcı bir yöntem olmakla birlikte, en doğru performans tahmini yapılabilen bir yöntemdir (Tunçdemir ve Bilgin, 2002).

Kayanın kesilebilirliğini tahmin etmek için kaya ve makina hakkındaki bazı değerlerin bilinmesi ve bunlara göre bir tasarımın yapılması gereklidir. Bu verilerin ne olduğu ve nasıl toplanacağı aşağıda genel hatları ile maddeler halinde verilmiştir (Smith ve Fowell, 1979).

i. Makinanın kesme performansı
ii. Makinanın güç tüketimi
iii. Kaya kütle parametrelerinin yerinde incelenmesi (süreksizlik açıklıkları, Schmidt çekici değerleri)
iv. Laboratuarda kesme deneyleri için örneklerin hazırlanması
v. Numunelerin fiziksel ve mineralojik deneylerinin yapılması

Yeraltında kullanılan kazıcı makinalar genellikle elektrik enerjisiyle çalışmaktadır. Bu makinaların çektikleri akımlara göre enerji tüketimlerini belirlemek mümkün olmaktadır.

Bir doğru akım motorunun gücü, voltaj ve akım değerlerinin çarpımı sonucu bulunur. Kazı makinaları kazı sırasında sert bir formasyonla karşılaştığında kazı hızı yavaşlarken kazı kuvveti artmaktadır. Diğer bir deyişle makina kazarken zorlandığı için kazı hızı yavaşlarken, kazı kuvveti artar. Doğru akım motorlarının bu özelliği sayesinde kazıcı makinanın kazıyı yapan kısmının (armatür) çektiği akım ve voltaj değerleri izlenerek elektrikli makinaların kazı esnasında gösterdikleri performansın miktarı dolaylı olarak saptanabilmektedir (Özdoğan, 2003). Elektrikli kazı makinalarının enerji tüketimini dalgalı akım motorlarından ölçülmesi pek önerilmemektedir (Hindistan, 1997). Çünkü dalgalı akım motorları kazı sırasında meydana gelen değişikliklere doğru akım motorları kadar hassas değillerdir.

Doğru akım motorlarının güçleri aşağıda verilen Eşitlik 9 vasıtasıyla hesaplanabilir.

$$P=(V*I)/1000 \qquad [2.9]$$

Burada;

P: Güç (kW)

I: Akım (amper)

V: Voltaj (volt)

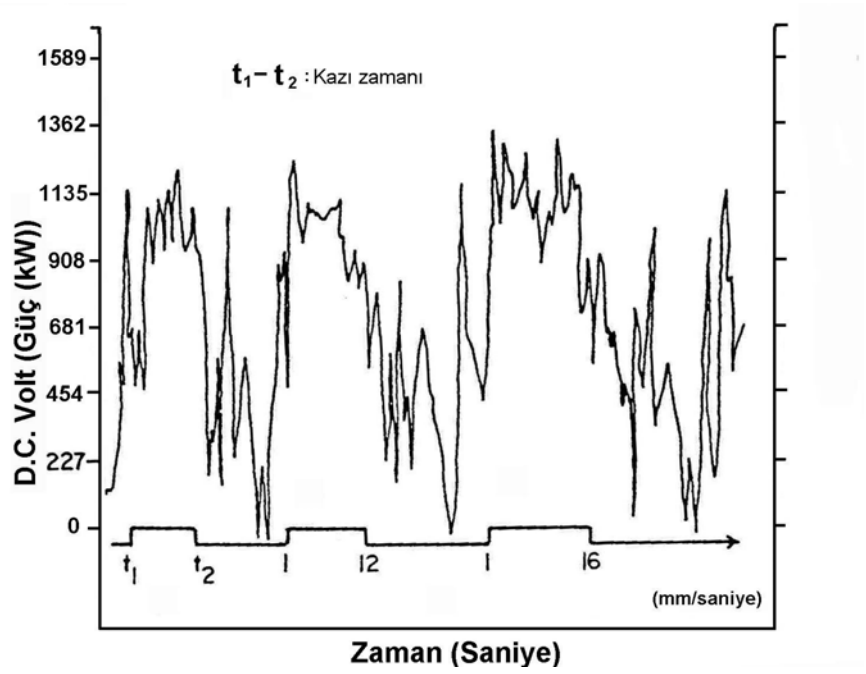
Doğru akım motorunun tükettiği enerji ise aşağıda verilen Eşitlik 10 ile hesaplanmaktadır.

$$E=P*t/3600 \qquad [2.10]$$

E: Enerji (kWh)

t: Zaman, (saniye)

Ceylanoğlu (1991) elektrikli eskavatörlerin kazı performanslarını değerlendirmek amacıyla yapmış olduğu çalışmada kazıcı makinaların kazı esnasındaki güç değişimlerinin nasıl geliştiğini belirlemiştir Şekil 2.14'de görüldüğü gibi kazı esnasında güç değişimleri çok fazla değişiklik göstermez iken makinanın ikinci kazıya başladığı anda güç değişimlerinde ani pikler oluşmaktadır.



Şekil 2.14. Kazıcı makinanın kazı esnasındaki güç değişimleri (Ceylanoğlu, 1991).

2.7. Tamburlu Kesicilerin Performans Değerlendirmesi

Tamburlu kesici-yükleyici makinalarda kesme performansı ile yükleme performansı eğer karşılaştırılırsa, kesme performansı daha önemli olmaktadır (Ayhan, 1994). Tamburlu kesicilere ait performans değerlendirmelerinde dikkate alınan dört temel unsur aşağıda sunulmuştur.

2.7.1. Tamburlu kesicilerin performansını etkileyen faktörler

Tamburlu kesicilerin performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler ana hatları ile aşağıda açıklanmıştır.

2.7.1.1. Kullanılan kesici uçlar

Tamburlu kesicilerin verimine etki eden en önemli unsurlardan birisi kesici uç cinsidir. Kesici uçların keskin olması çok önemlidir. Aşınmış veya kırılmış kesici uçlar birçok sorunlar meydana getirebilir. Örneğin, tambura veya uç yuvasına zarar verebilir ayrıca ilerleme hızını azaltabilir, ortamdaki toz miktarını artırabilir ve yüksek kesme kuvvetleri gerektirdiğinden kazıcı makinanın performansının düşmesine neden olabilir.

Yeraltı mekanize kömür ocaklarında grizu patlamasının oluşmasına neden olan kıvılcımların çoğunun kazıcı makinanın yan kayacı keserken meydana geldiği belirlenmiştir. Sürtünmeden kaynaklanan kıvılcımların azaltılması için, kesici uç sayısının azaltılması, kesici uçların aşınmadan değiştirilmesi, önde ilerleyen kesici uçlara ve hemen arkasındaki alana su püskürtmek gibi yöntemlerin uygulanması gerekmektedir (Ayhan, 1994).

Kömür kazısında kullanılan uçlar kömür sertliğine bağlı olarak değişir. Sert kömürlerin ve aşındırıcı madde içeren kömürlerin kazısında kalem tipi uçlar kullanılırken, dayanımı daha düşük olan kömürlerin kazısında ise radyal uçlar kullanılmaktadır.

Kesici uçlardaki kesme açısının artması, keskinin mekanik dayanımını azaltacağından bu açı değeri, yumuşak formasyonlarda 20° veya orta sert

formasyonlarda 10°'dir. Sert formasyonlarda ise negatif kesme açılı uçlar kullanılır (Bilgin, 1989).

2.7.1.2. Kesici uçların dizilimi

Tamburlu kesicilerdeki kesici uçların dizilimlerindeki yanlışlıklar kesici uçların fazla aşınmalarına, kesici uç yuvalarının zarar görmesine, kesme sırasında titreşimlerin fazla olmasına, ilerleme hızının düşmesine dolayısıyla düşük verime neden olmaktadır.

Tambur üzerinde bulunan kesici uçlara etkiyen kesme kuvveti her uç için aynı olmamaktadır. Arın kesici uçlarına etkiyen kesme kuvvetleri spiral kanat keskilerinden daha fazla olmaktadır. Kesme kuvvetlerini azaltmak için genelde arın keskilerinin sayısı artırılmaktadır.

2.7.1.3. Tambur dönüş hızı ve ilerleme hızı

Tamburlu kesicinin ilerleme hızı arttıkça sabit tambur dönüş hızında daha fazla moment uygulanmaktadır. Kesici tamburlar genellikle 30–50 dev/dk dönüş hızlarında çalışmaktadır. Tambur dönüş hızı makinanın kesme ve yükleme verimin etkileyen önemli parametrelerden biridir. Tambur dönüş hızının çok yüksek olması durumunda kömür tamburun arkasına doğru hareket edecek ve yükleme verimi düşük olacaktır. Ayrıca tambur dönüş hızı arttıkça, çeşitli ilerleme hızlarına bağlı olarak, harcanan enerji tüketimi de artmaktadır. Sabit tambur dönüş hızında, makinanın ilerleme hızı arttıkça harcanan enerji de artmaktadır. Buna benzer şekilde, sabit ilerleme hızında, tambur dönüş hızı arttıkça spesifik enerji değeri de artış göstermektedir.

2.7.1.4. Kesme derinliği

Tamburlu kesicideki kesici uçların kesme derinliği ile ortalama moment arasında bir ilişkinin olduğu bilinmektedir. Sabit tambur dönüş hızında, güç tüketimi kesme derinliği ile doğrusal olarak artmakta ancak sabit ilerleme hızında güç

tüketimi kesme derinliğinin artışıyla eğrisel olarak düşmektedir (Altındağ ve Güney, 1996). Bu yüzden, kesme derinliğini arttırmak için tambur dönüş hızı azaltılmalıdır. Kesme derinliğinin planlanandan daha fazla olması durumunda, kesici uçlarda aşınmalar olacak ve uç yuvalarında hasarlar oluşacak spiral kanatlar kömür arını ile daha fazla temas edecek böylece aşınmalara ve makinada titreşimlerin artmasına neden olabilecektir. Bu nedenlerden dolayı, genelde, kesme derinliği uç derinliğinin yaklaşık % 70'i kadar seçilmektedir.

2.7.1.5. Tambur çapı

Tambur çapı aynı zamanda kesme çapıdır. Tambur çapının düşük seçilmesi sonucu yükleme veriminde azalma olmaktadır. Bu durum özellikle 1.1 m'den ince damarlarda daha belirgin olmaktadır. Bu sebeple, ince damarlarda yükleme veriminin arttırılması için kanat sayısının ve tambur dönüş hızının arttırılması önerilmektedir (Bölükbaşı, 1986).

2.7.1.6. Damar sertliği

Damar sertliği kazılma verimini doğrudan etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Kömürün sertliği arttıkça, sabit tambur dönüş ve ilerleme hızlarında, spesifik enerji değeri de artmaktadır. Benzer şekilde, belirli bir kömürde tambur dönüş hızı ile spesifik enerji arasında da artan bir ilişki vardır (Altındağ ve Güney, 1996).

2.7.1.7. Su basıncı

Tamburlu kesicilerde kesici uçların soğutulması ve kazı esnasında oluşan tozların bastırılması amacıyla su kullanılmaktadır. Su sayesinde kesici uçlarda sürtünmeden dolayı oluşan ısınmalar azaltılmakta ve böylece kopmalar önlenebilmektedir. Yeraltındaki kazı çalışmaları esnasında oluşan solunabilir tozları yüksek su basınçlarında bastırılması mümkün olabilmektedir. Yeraltı gibi kapalı mekânlarda solunabilir tozların bastırılabildiği taktirde insanların ve makinaların sağlığı korunmuş olacaktır. Farklı su basınçlarında yapılan kazılarda, su basıncı

arttıkça havada solunabilir toz oranında da % 80 oranında azalma belirlenmiştir (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7. Düşük ve yüksek su basınçlı çalışma durumlarındaki havadaki solunabilir toz oranları (Taylor ve ark., 1989)

Su Basıncı (MPa)	Toz miktarı (mg/m^3)	Toz azalma oranı (%)
41.4	21.8	80.4
34.4	17.0	84.8
27.5	21.9	80.4
20.7	23.2	79.2
13.8	40.3	63.9
6.7	106.8	4.2
1.3	111.5	0.0

2.7.1.8. Kesme sırasında oluşan titreşimler

Kesme sırasında oluşan titreşimler kazıcı makinalarının ömrünü azaltan önemli faktörlerden biridir. Titreşimlerin oluşmalarına neden olan birçok faktör bulunmaktadır. Tamburun kesilen malzeme içerisindeki gömülme derinliği, tamburun kesme şekilleri (yukarı kesme, aşağıya kesme, kapalı kesme) ve tambur tasarımı titreşimlerin oluşmasına etki eden faktörlerden bazılarıdır.

2.7.2. Tamburlu kesicilerin yükleme performansını etkileyen faktörler

Tamburlu kesici-yükleyici makinalarda kullanılan tamburun yükleme performansına birçok faktör etki etmektedir. Bu konuda özellikle İngiltere'de önemli bir araştırma yapılmıştır (Morris, 1980). Tamburlu kesicilerin yükleme verimini etkileyen faktörleri, makinaya bağlı faktörler ve çalışma ortamına bağlı faktörler olmak üzere iki grupta toplanabilir.

i.) Makinaya bağlı faktörler;

- Spiral kanat açısı,
- Spiral kanat sayısı ve derinliği,
- Spiral düzeni,
- Kanatlar arası mesafe,
- Kanatların derinliği,

- Kanatların sayısı,
- Tambur çapı,
- Gömülme genişliği,
- Tambur dönme hızı,
- Tamburlu kesicinin ilerleme hızı,
- Tamburlu kesicinin kesme yönü,
- Tamburların çalışma konumları,
- Tamburların dönüş yönü,
- Konveyörün taşıma kapasitesi,

ii.) Çalışma ortamına bağlı faktörleri ise;

- Kömürün bünyesindeki yabancı madde içeriği,
- Yan kayaç özellikleri,
- Ayak eğimi,
- Kömür damarının eğimi ve ondülasyonu,
- Tambur ile konveyör arasındaki uzaklık,
- Operatörün tecrübesi

olarak sıralanabilir.

Tamburlu kesici yükleyici makinanın kesme yönü ve gömülme derinliği ilerleme hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Hekimoğlu ve Ayhan (1994) bu konu üzerinde OAL'de yapmış oldukları bir çalışmanın sonuçlarını Çizelge 2.8'deki gibi vermişlerdir.

Çizelge 2.8. Eğim yukarı ve eğim aşağı ortalama makina ilerleme hızlarının karşılaştırılması (Hekimoğlu ve Ayhan, 1994)

Kesim Yönü	İlerleme Hızı	Gömülme Derinliği
Kuyruktan-ayak başına kesim yaparken	4m/dak.	0.7 m
Ayak başından-kuyruğa kesim yaparken	2 m/dak.	0.6 m

Tiryaki, (2000) Çayırhan linyit işletmesinde kullanılan tamburlu kesici-yükleyicilerdeki tamburlar üzerindeki keskilerin dizilim düzenlemeleri konusunda ciddi sorunlar olduğunu belirlemiştir. Bu durum, keski tüketimi fazla olmakta, aşırı kesme titreşimleri ve tamburların çalışma ömürlerinin azalması gibi sorunlara sebep

olmaktadır. Bu sebeple Çayırhan'da kullanılmakta olan tamburlar üzerinde kullanılan orijinal keski düzenlemesi yerine yeni bir keski düzenlemesi geliştirilmiştir. Yeni keski düzenlemesine sahip tamburlar çalışmakta olan tamburlar (orijinal tamburlar) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, yeni tamburların kullanılması ile makina performansının önemli derecede arttığı belirlenmiş ve keski dizilim parametrelerinin uygulamada önemli olduğunu belirlemiştir.

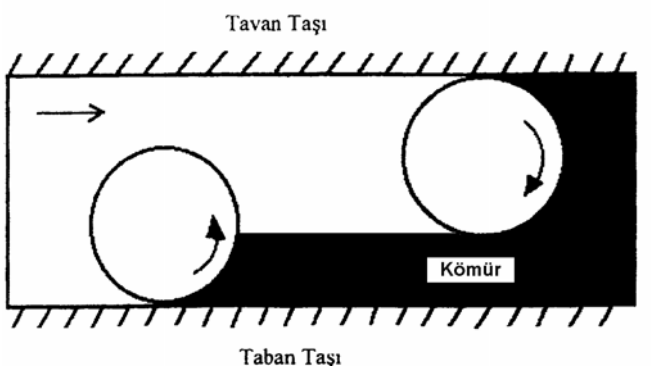
2.7.3. Tamburlu kesicilerin çalışma koşullarına göre performanslarının İncelenmesi

Tamburlu kesicinin kazısı sırasında, tambur aracılığıyla kazı makinasına etkiyen reaksiyon kuvvetleri ile torktaki değişimler, kesme titreşimlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Kesme titreşimleri, önemli ölçüde tamburun tasarım özelliklerine bağlıdır. Kesici uçlar, kesici uç yuvaları ve tambur tipi kazı koşullarına uygun olarak seçildiğinde ve kesici uçların tambur üzerine doğru konumlarda yerleştirilmeleri halinde kesme verimliliği artmakta ve kesme titreşimlerinin düzeyi kontrol edilebilmektedir (Tiryaki, 2000).

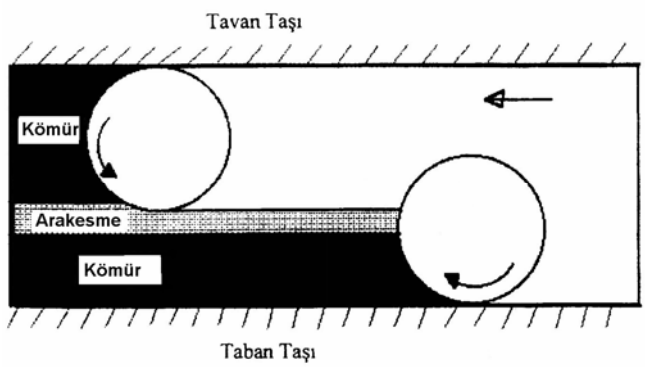
Çift tamburlu kesicilerle yapılan kazılarda tamburların konumları damar özelliklerine bağlı olarak ayarlanmaktadır. Arakesme içermeyen bir damarda, damar kalınlığının % 70' i ön tambur ile kazılırken geriye kalan % 30'luk kısım ise arka tambur ile kazımı yapılmaktadır (Şekil 2.15). Kuyruk tamburu ön tamburdan farklı olarak hem kesme işlemini yapmakta hem de kesilen kömürleri konveyöre yükleme işlemini yapmaktadır. Kazı işleminin büyük bir kısmı ön tambur tarafından yapıldığından, kuyruk tamburundan daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Tamburların dönüş yönleri birbirlerine göre ters yönde ayarlanmaktadır. Damar özelliklerine bağlı olarak tambur dönüş yönleri ayarlanmaktadır. Damarda arakesme bulunması durumunda da tamburların kesme konumları Şekil 2.16 ve Şekil 2.17'deki gibi düzenlenmektedir.

Damar içerisinde bulunan arakesmenin tabana yakın olması durumunda, tamburların konumu Şekil 2.16'daki gibi düzenlenmesi uygun olacaktır. Böylece, tambur üzerinde bulunan kesici uçlar arakesme ile daha az temasta bulunacağından uçlardaki ve kanatlardaki aşınmalar en aza indirilmiş olacaktır. Ayrıca makinada oluşacak titreşimler de önlenecektir. Damar içerisindeki arakesmenin tavana yakın

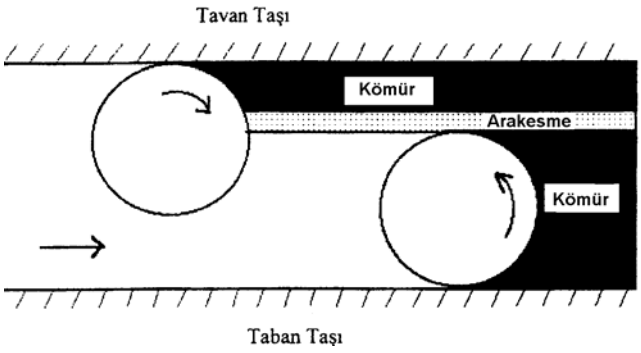
olması durumunda ise tamburların dönüş yönü ve konumları yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı Şekil 2.17'deki gibi düzenlenmektedir (Altındağ ve Güney, 1996).



Şekil 2.15 Kömür damarında tamburların normal olarak çalışma konumları (Peng ve Chaing, 1984).



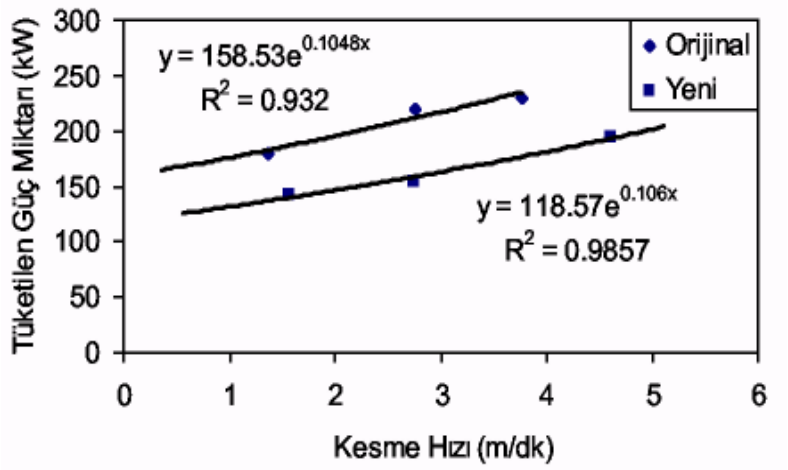
Şekil 2.16. Arakesmenin tabana yakın olması durumunda tamburların çalışma konumları (Hanson and Roepke, 1988).



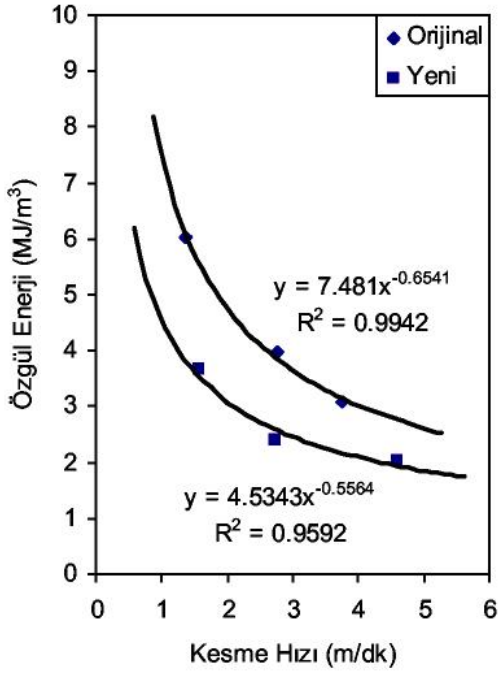
Şekil 2.17. Arakesmenin tavana yakın olması durumunda tamburların çalışma konumları (Peng ve Chaing, 1984).

2.7.4. Keski dizilim parametresinin tamburlu kesici performansına etkisi

Tiryaki (2000) Park Teknik Çayırhan linyit işletmesi yeraltı kömür ocağında makina performansı ile ilgili bazı araştırmalar yapmıştır. Bu amaçla, Park Teknik Çayırhan İşletmesi'nde tamburlar üzerinde kullanılan orijinal keski dizilim düzenlemesi yerine, yeni bir keski dizilim düzenlemesi geliştirilmiştir. Yeni keski dizilim düzenlemesine sahip olan tamburlar ile önceki keski dizilim düzenlemesine sahip olan tamburlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçta, yeni tamburların kullanılması ile makina performansının önemli derecede artacağı belirlenmiş ve keski dizilim parametrelerinin uygulamada çok önemli bir parametre olduğu kanıtlanmıştır. Eski ve yeni tamburlar için, tek tamburun 60 cm gömülme derinliğinde sadece kömürde yaptığı kesmeler sırasında tüketilen güç miktarının kesme hızı ile değişimi Şekil 2.18'de verilmiştir. Ölçülen güç tüketiminden yararlanılarak hesaplanan spesifik enerjinin kesme hızı ile değişimi ise Şekil 2.19'da görülmektedir. Böylece, yeni tamburların kullanılması ile, tamburlu kesici-yükleyicinin aynı miktarda kömürü kesmesi için gereken güç miktarının yaklaşık olarak %25 oranında azaldığı belirlenirken, spesifik enerji değerinde de yaklaşık olarak %35 oranında bir azalma olduğu tespit edilmiştir. (Tiryaki, 2000).



Şekil 2.18. Tamburların 60 cm gömülme derinliğinde tükettikleri güç miktarlarının karşılaştırılması (Tiryaki, 2000).



Şekil 2.19. Tamburların 60 cm gömülme derinliğinde spesifik enerji esas alınarak karşılaştırılması (Tiryaki, 2000).

2.8. Kollu Galeri Açma Makinalarının Performans Değerlendirmesi

Kollu galeri açma makinaları günümüzde yumuşak kayalardan orta sert kayalar kadar geniş bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu makinaların kazı performansını etkileyen kaya parametreleri ve bu parametreleri belirlemek için yapılan testler aşağıda verildiği gibi sıralanabilir (Neil ve ark., 1994).

- Kayaç yoğunluğu ve kayacın çamurlu bir yapıda olup olmadığı
- Tek eksenli basınç dayanımı (TEBD)
- Dolaylı çekme dayanımı (Brazilian test)
- Akustik emisyon
- Kırılganlık
- Elastik durum (Young modülü ve Poission oranı)
- Cerchar aşındırıcılık testi (CAI), (keski ucu aşınması hakkında bilgi verir)
- Kuvars içeriği
- Çekme dayanımı
- Nokta yükleme dayanımı
- Punch testi

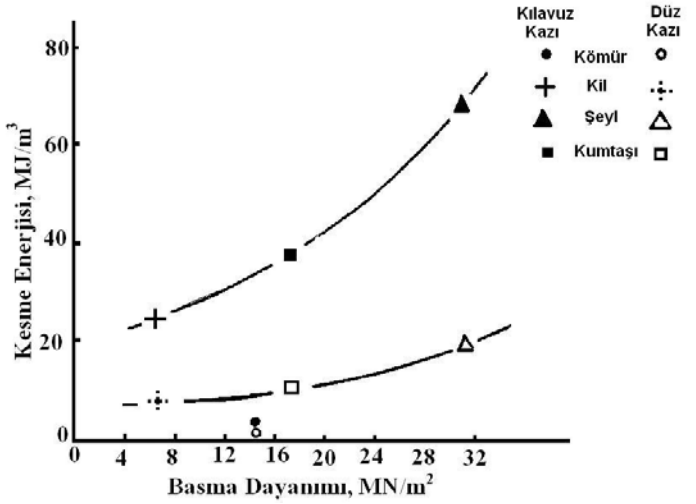
Galeri açma makinalarının yüksek kazı hızında çalışmasını sağlamak ve iyi bir kazı performansı elde edebilmek için, kayaçların jeolojik, petrografik ve mekanik özelliklerine uygun makinanın seçilmesi gerekmektedir. Kayaçların mekanik özelliklerinin kazı randımanı ve kazı hızını ne ölçüde etkilediğini saptamak amacıyla, Bölükbaşı ve Çam (1981) Garp linyitleri işletmesi-Tunçbilek linyit madeninde Dosco Mk2A kollu galeri açma makinası ile bir seri deney yapmıştır. Bu deneylerde, çeşitli kayaçlarda birim hacim kazı için kesme sırasında tüketilen elektrik gücü ve kazı hızı ölçülmüş ve kayaçlardan alınan numuneler üzerinde laboratuar deneyleri yapılarak, kayaçların bazı mekanik özelliklerinin kazı randımanına etkilerini incelemişlerdir. Kollu galeri açma makinası ile ölçümleri, şeyl, kil, kumtaşı ve kömür üzerinde yapmışlardır. Bu araştırmacılar kesme enerjisini ölçebilmek için, kesici kafaya güç sağlayan devreye bir vatmetre bağlamış ve böylece kesici kafanın kesme sırasında tükettiği elektrik enerjisini kWh olarak ölçmüşlerdir. Ayrıca, ölçümleri iki tip kazı (Düz kazı, kılavuz kazı) için ayrı ayrı yapmışlardır.

Kılavuz kazıda, düzleştirilmiş galeri arınında 53 cm çapındaki kesici kafa ile 35–40 cm derinliğe kadar kazı yapılmıştır. Kılavuz kazı sırasında tüketilen elektrik gücü ve kesme hızını ölçmüşlerdir. Düz kazıda, kılavuz kazı ile yaratılan serbest yüzeyden yararlanılmıştır. Sonuçta, kesici kafanın galeri arınında gezdirilmesi ile yapılan düz kazı çalışmasının, kılavuz kazıya göre daha kolay olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, kılavuz kazı düz kazıya göre daha verimsiz olmakta ve kılavuz kazı sırasında düz kazıya göre yaklaşık 3 kat fazla enerji tüketilmektedir. Bu çalışmalarda araştırmacılar kesme hızının ise yaklaşık 2–4 kat daha az olmaktadır.

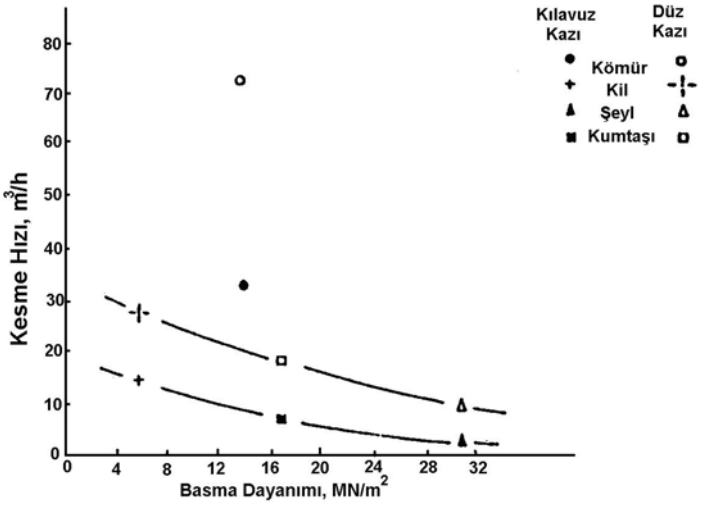
Yapılan bu çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlara göre oluşturulan grafiklerden tek eksenli basınç dayanımının kesme enerjisi üzerindeki etkisi Şekil 2.20'de, kesme hızı üzerindeki etkisi ise Şekil 2.21'de gösterilmektedir. Çekme dayanımının kesme enerjisi etkisi ise Şekil 2.22'de gösterilmiştir. Grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi, tek eksenli basınç ve çekme dayanımları arttıkça kesme enerjisi artmakta ve kesme hızı azalmaktadır. Ancak kömür diğer kayaçlara göre daha farklı davranmaktadır. Kömürün kazısı sırasında benzer tek eksenli basınç dayanımındaki kayaçlara göre çok daha az kesme enerjisi gerekmekte ve çok daha fazla kesme hızına ulaşılabilmektedir. Bunun sebebi, tek eksenli basınç ve çekme dayanımları yanında, kömür içindeki çatlak sistemlerinin, tüketilen enerji ve kesme

hızına büyük ölçüde etki yapmasıdır. Bu nedenle, kazı sırasındaki kırılma genellikle kömür içindeki zayıf yüzeylerden oluştuğundan, kesici uçlar daha az kuvvetle daha çok miktarda kömürü daha kısa sürede kazabilmektedir

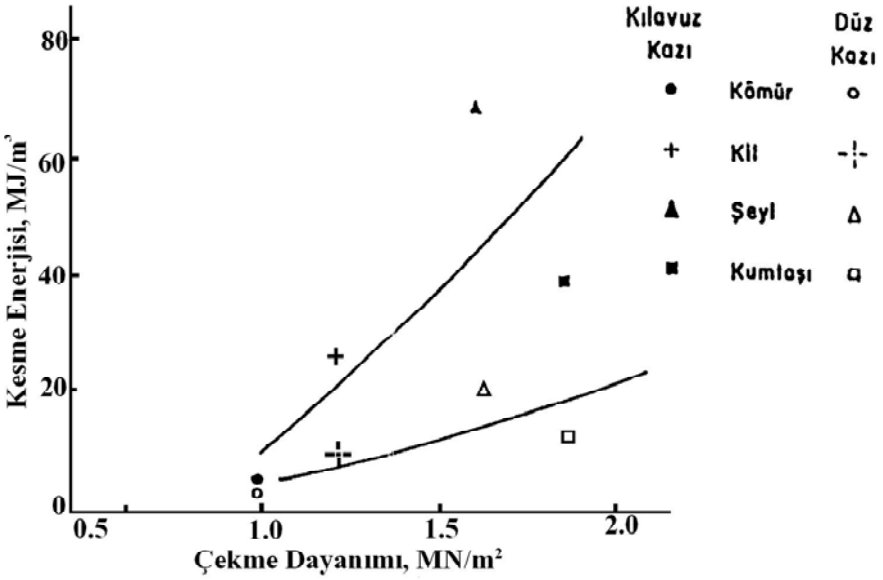
Şekil 2.20'de görüldüğü gibi, kesme enerjisi, hem kılavuz kazı hem de düz kazı sırasında tek eksenli basınç dayanımıyla orantılı olmaktadır. Kılavuz kazının artış oranı düz kazıya göre çok daha fazla olmaktadır. Bunun sebebinin tek eksenli basınç dayanımının kılavuz kazı sırasında düz kazıya göre daha fazla olduğu söylenebilir.



Şekil 2.20. Basma dayanımının kesme enerjisi üzerindeki etkisi (Bölükbaşı ve Çam, 1981).

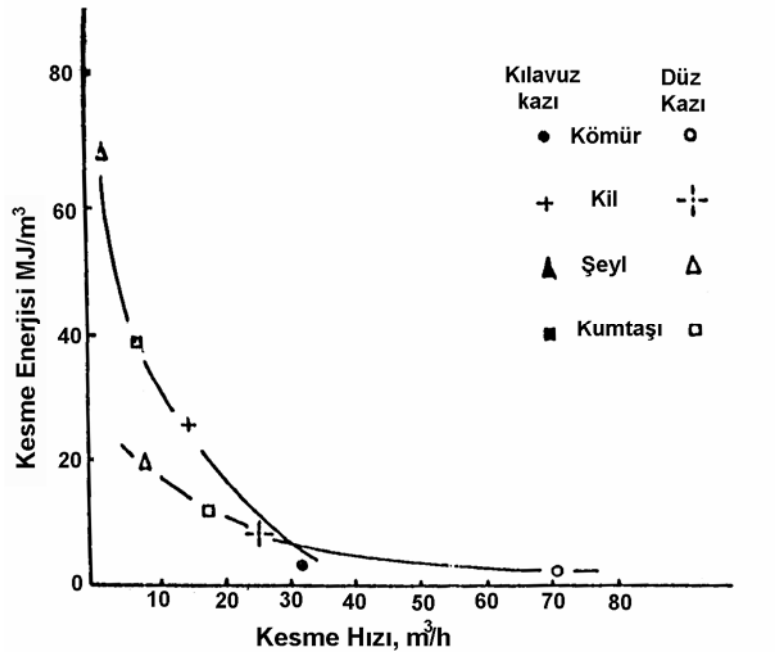


Şekil 2.21.Basma dayanımının kesme hızı üzerindeki etkisi (Bölükbaşı ve Çam, 1981).



Şekil 2.22. Çekme dayanımının kesme enerjisi üzerindeki etkisi (Bölükbaşı ve Çam, 1981).

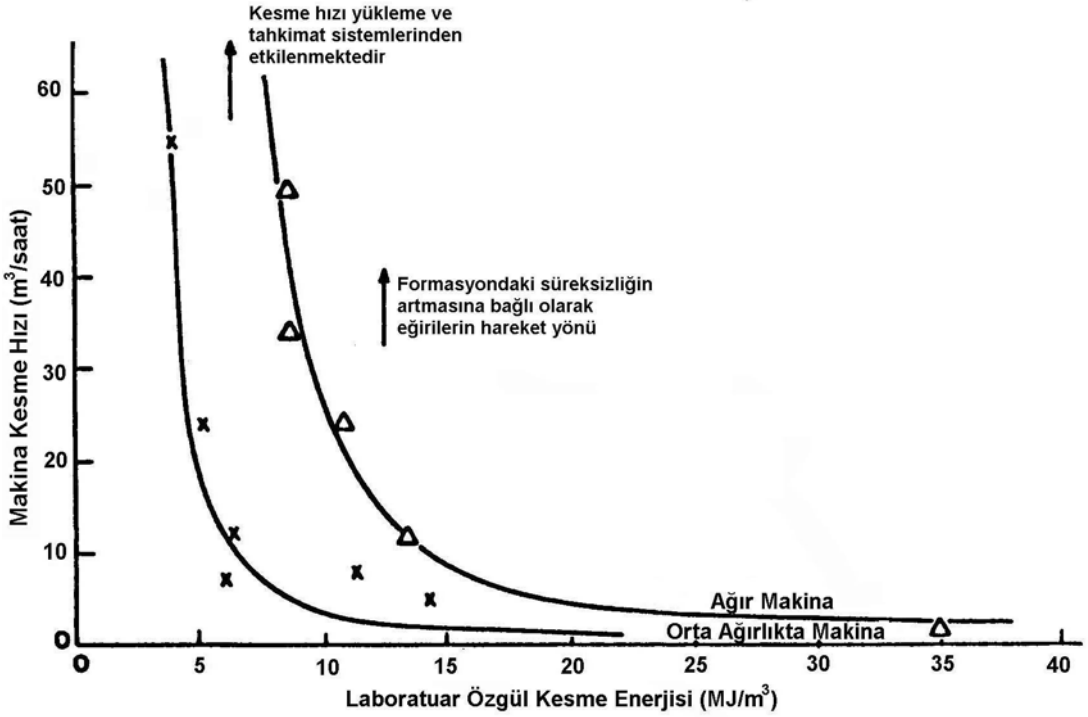
Şekil 2.23'de kesme hızı ile kesme enerjisi arasındaki ilişki görülmektedir. Görüldüğü gibi kesme hızının artması ile kesme enerjisi düşmektedir. Bu sebeple tüketilen enerjiyi en aza indirmek için kesme hızını arttırmak için gereken önlemlerin alınması gereklidir. Bunlar; körlenmiş kesici uçların kullanılmaması ve olabildiğince derin kazı yapılmasıdır.



Şekil 2.23. Kesme hızı ile kesme enerjisi arasındaki ilişki (Bölükbaşı ve Çam, 1981).

Makinaların kesme enerjilerini tahmin etmek için kullanılan bir yaklaşım olan, spesifik enerji, birim hacimdeki malzemeyi kesmek için gerekli olan enerji olarak tanımlanır. Diğer bir değişle 1 m^3 kayacı kesme için gerekli olan enerji miktarı olarak açıklanmaktadır. Makinanın çalışırken karşılaştığı kazı zorluğunun bir göstergesi olarak tanımlanır. Birimi kWh/m^3 veya MJ/m^3 olarak kullanılır.

McFeat-Smith ve Fowell (1977, 1979) karot kesme testlerinde ve kollu galeri açma makinalarının kazısı sırasındaki spesifik enerji değerleri arasında yakın bir ilişki olduğunu, yapmış oldukları detaylı arazi ve laboratuar çalışmaları ile göstermişlerdir. Kayaçların kesilebilirliklerinin tahmini için yapılan çalışmalar arasında en etkin olanının spesifik enerjisinin hesaba katıldığı yöntemin olduğunu belirtmişleridir. Fowel ve Johson, 1982 laboratuarda yapmış oldukları bir çalışmada spesifik enerji (özgül kesme enerjisi) değeri net kazı hızı (makina kesme hızı) arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir (Şekil 2.24). Şekil 2.24'den görüldüğü gibi spesifik enerji değeri arttıkça net kazı hızı eğrisel bir düşüş göstermektedir.

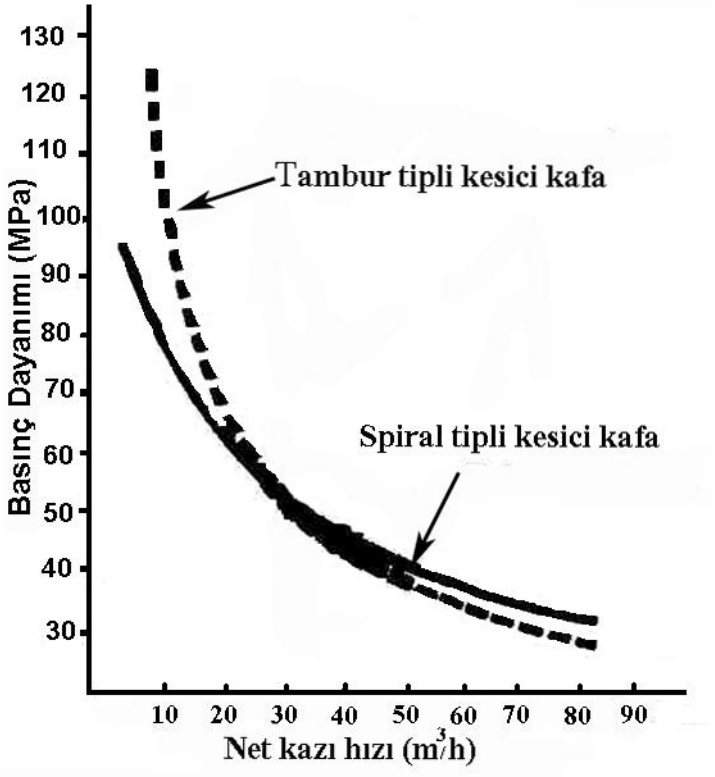


Şekil 2.24. Spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki (Fowel ve Johson, 1982).

Birçok kollu galeri açma makinası performans tahmin yöntemi olmasına rağmen tünel eğimi, su geliri ve tabaka eğimi gibi zor arazi koşullarını hesaba katan yöntemler çok azdır. Yöntemlerin çoğunluğu yatay tüneller için geliştirilmiştir.

Tabaka eğimi, tünel eğimi, su geliri ve kil miktarının etkileri bu modellerde tam manasıyla açıklanmamıştır. Bilgin ve ark. (2004) Hereke tünelinde yerinde yapılan detaylı kazılarda, tabaka ve tünel eğimi ve su gelirinin eğimli olmayan tüneller ile karşılaştırıldığında, yerçekiminden dolayı 2–5 kat daha fazla net kazı hızını artırdığını belirlemişlerdir. Makinanın kullanım zamanı, günlük ilerleme oranın karar verilmesinde kullanılan önemli parametrelerden birisidir. Hereke tüneli kazısındaki eğimli olarak açılan bölgelerde, makinadan yararlanma zamanı %38'den % 8'e düşmüştür.

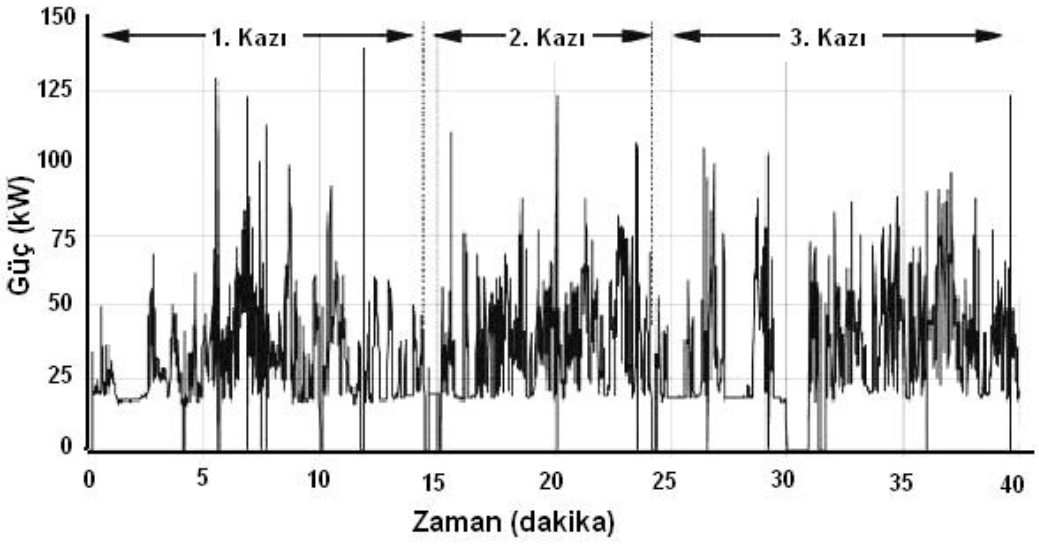
Şekil 2.25'de 300 kW kesici kafa gücüne sahip spiral ve tambur tipli kesici kafalı kollu makina için net kazı hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki görülmektedir. Buradan görüldüğü gibi basınç dayanımı arttıkça net kazı hızının üstel bir şekilde düştüğü gözlenmektedir.



Şekil 2.25. Spiral ve tambur tipi kollu galeri açma makinalarında basınç dayanımı ile net kazı hızı arasındaki ilişki (Schneider, 1988).

Alvarez ve ark. (2003)'nın yapmış oldukları bir çalışmada 4 tip kollu galeri açma makinası kullanılmıştır. Literatürde kesme esnasında göz önüne alınan bazı parametreler ölçülmüştür. Bu parametreler; kesme oranı (m^3/s), spesifik enerji

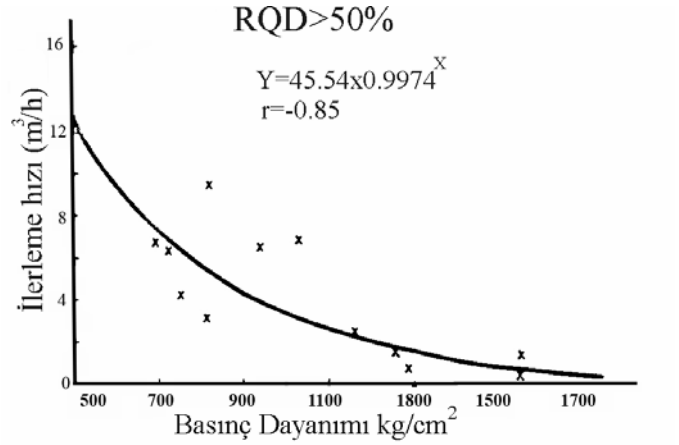
(MJ/m^3), kesici uç kaybı, miktarı ve yüzdesi (kesici uç/m^3, gr/m^3) dir. Bu çalışmada kesme işlemi sırasında aynı kesici kafanın aynı yüzeydeki durumunu incelenmiştir. Ayrıca kesici kafalar değiştirilerek kesme durumları irdelenmiştir. Her deneye başlamadan önce yeni kesici uçlar takılarak bunların ağırlıkları ölçülmüştür. Deneyden sonra da uçların ağırlıkları ölçülerek kayıp miktarı hesaplanmıştır. Kesici uçlardaki kütle kaybı, kesici uç kaybından daha önemlidir. Çünkü kesici uçlar diğer faktörlerden de etkilenerek düşebilmektedir. Bu araştırmanın yapıldığı tünelde tünel duvarlarının sağında ve solunda yapılan kazılarda, sağ duvardaki bölgeyi kazmanın daha kolay olduğu görülmüştür. Bunun nedeni süreksizliklerin burada fazla olması ve eğimli bir yerde bulunmasıdır. Şekil 2.26'da zamana bağlı olarak kesici kafanın güç tüketimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 3 ayrı yerde kesim yapılmıştır ve en fazla güç tüketiminin üçüncü bölgede olduğu görülmüştür. Burada ki ani pikler ihmal edilmiştir. Çünkü kesici kafa sert bir formasyona gelince ani olarak zorlanmakta fakat çok kısa bir süre sonra tekrar normal seyrinde devam etmektedir. Güç tüketimleri değerlendirilirken ani pikler ihmal edilerek zaman içindeki güç miktarlarının ortalaması alınmıştır.



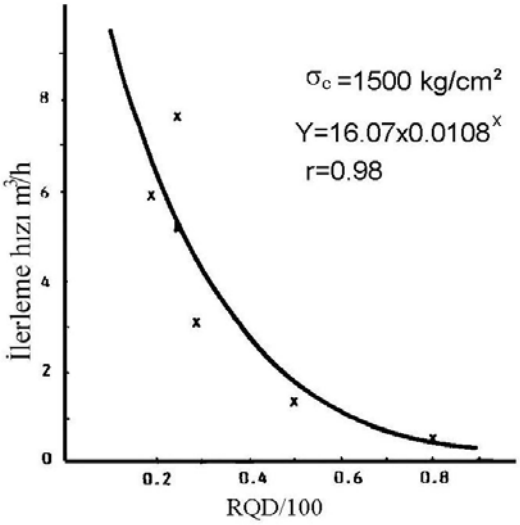
Şekil 2.26. 36 kesici uç barındıran bir kollu galeri açma makinesindeki ani güç değişimleri (Alvarez ve ark., 2003).

İstanbul Eyüp kanalizasyon tünelinin açımı esnasında kalkanlı kollu galeri açma makinası kullanılmıştır. Bu tünel çalışması sırasında Bilgin ve ark. (1988), kazı mekaniği ölçümleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre formasyonların basınç

dayanımları ile net kazı hızları arasındaki ilişkinin istatistiksel güvenirliğinin düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Tüm kazı arını boyunca tek bir basınç dayanımı değeri söz konusu olmayacağından tek başına, net kazı hızının tespitinde kullanılmasının güvenilir olmadığını belirtmişlerdir. Kayaç kalite değeri olarak adlandırılan RQD değerinin %50'nin üzerinde olduğu formasyonlarda, basınç dayanımı ile makina ilerleme hızı arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ifade etmektedirler (Şekil 2.27). Belirli basınç dayanımındaki formasyonlar için RQD ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki Şekil 2.28'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, ilişki katsayısı oldukça yüksektir (r=0.85) bu da jeolojik süreksizliklerin mekanik kazıda ne kadar önemli olduğunun bir göstergesi olmaktadır.



Şekil 2.27. RQD≥50 değerleri için basınç dayanımı ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki (Bilgin ve ark., 1988).



Şekil 2.28. RQD ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki (Bilgin ve ark., 1988).

Ampirik performans tahmin modelleri, temel olarak geçmiş deneyimlere ve daha önce bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen verilerin değerlendirilmesi esasına dayanır. Yaygın bir şekilde kullanılan bu yöntem ile tamburlu, spiral tipli kollu makina ve hidrolik kırıcıların anlık kazı hızı tahmin edilebilmektedir (Bilgin ve ark., 1988, 1990a, 1996, 1997). Bu yöntemde, kazıcı makinalerin performansının basınç dayanımına ve RQD'ye bağlı olarak değiştiği belirlenmiş Eşitlik 11'de gösterilen kayaç kazılabilirlik indeksi (RMCI) ile ifade edilmiştir.

$$RMCI = \sigma_c * (RQD/100)^{2/3} \qquad [2.11]$$

Eşitlik 11'de σ_c, tek eksenli basınç dayanımı (MPa) ve RQD kaya kalite indeksi (%)'dir. Bu indeks kullanılarak kollu galeri açma makinası için net kazı hızı (ICR) (m^3/h), Eşitlik 12'deki gibi hesaplanır. Burada P, makinanın beygir gücüdür.

$$ICR = 0.28 * P * (0.974)^{RMCI} \qquad [2.12]$$

Laboratuarda yapılan tam boyut kesme deneyleri sayesinde kollu galeri açma makinalarının (Roadheader) net kazı hızlarını tahmin etmek mümkün olmaktadır. Laboratuarda yapılan tam boyut kesme deneyleri kullanarak aşağıdaki eşitlikten net kazı hızı hesaplanabilir. Teorik olarak net kazı hızı, makinanın kesme gücü ve spesifik enerji arasında aşağıdaki gibi bir bağıntı bulunmaktadır (Bilgin, 1994).

$$KH(m^3/h) = K \frac{G(kW)}{SE(kWh/m^3)} \qquad [2.13]$$

Burada;

KH: net ilerleme hızı (m^3/h)

G: kazı gücü (kW)

SE: Spesifik enerji (kWh/m^3)

K: Kayaç kütlesinin özelliklerine bağlı olarak değişen bir katsayı (0.4–0.8)

Kesici kafa tasarımı kollu galeri açma makinalarının performanslarını önemli miktarda etkilemektedir. Uygun bir kesici kafa dizaynı yapıldığında kazıcı makinadan optimum verim alınabileceği gibi daha yüksek dayanımlı kayaçları da kazabilecek hale gelebilmektedir (Eyüboğlu, 2003).

Çopur ve ark. (1997), kollu galeri açma makinalarının performansları için oluşturulacak tahmin yöntemleri için; kayacın jeolojik özellikleri, TEBD, dolaylı çekme dayanımı, RQD, kuvars içeriği, makina tipi ve ağırlığı, kesici kafa tipi ve boyutu ve kesici uç tipinin çok önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir.

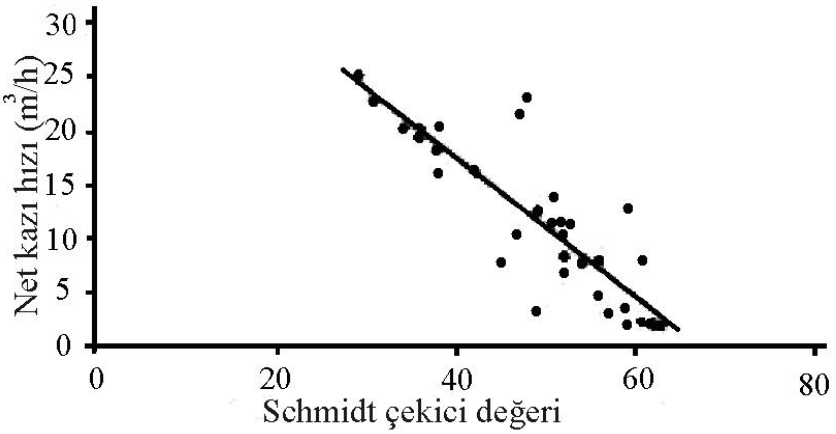
Bilgin ve ark. (1996), kollu galeri açma makinası için bir performans tahmin yöntemi oluşturmak için yapmış oldukları çalışmada, makina ilerleme hızı ile kaya malzeme ve kütle özelliklerini karşılaştırmışlardır. İlerleme hızı ile tek eksenli basınç dayanımı arasında güçlü bir ilişki bulamamışlardır. Fakat RQD değeri 50'den büyük olan bölgelerin tek eksenli basınç dayanımları ile makine ilerleme hızı arasında iyi ilişkiler elde etmişlerdir.

2.8.1. Schmidt sertlik değeri ile kazıcı makina performansı arasındaki ilişki

Schmidt çekici, kaya dayanımını dolaylı olarak tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan portatif bir deney aracıdır. Test edilen malzemeye zarar vermediği için beton ve kayaların sertliklerini test etmek için laboratuarda ve arazide inşaat ve maden mühendisleri tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu cihazın çalışma ilkesi çekicin malzemeye vurarak geri sekme miktarının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Dolayısıyla, daha sert yüzeyler daha yüksek geri sekme uzaklığına sahip olacaktır. Schmidt çekiçleri farklı vuruş enerjilerine göre tasarlanmış olmasına rağmen N ve L tipleri genellikle kaya ve beton tipleri için kullanılmaktadır. N tipi 2.207 Nm vuruş enerjisine L tipi 0.735 Nm vuruş enerjisine sahiptir. ISRM (1981) L tipi Schmidt çekicinin kayalar için uygun olduğunu önermesine karşın ASTM (2005) herhangi bir öneride bulunmamaktadır. Ayday ve Göktan (1992) iki farklı çekiçle de ölçümler yapmışlar ve sonuçta ikisi arasında güçlü ilişkiler bulmuşlardır ve ölçüm sonuçlarının benzer olduğunu göstermişlerdir. Schmidt çekici kolay kullanılır olması ve taşınabilir olmasından dolayı kaya mekaniğinde geniş bir şekilde kullanılmaktadır.

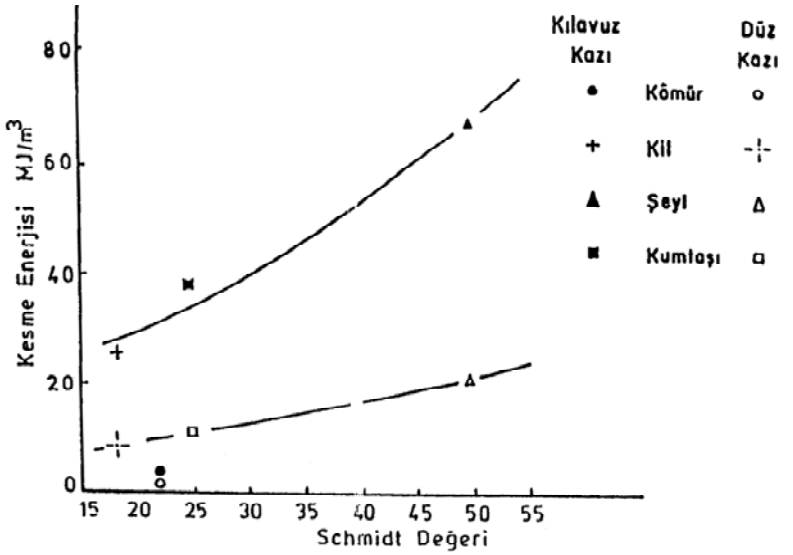
Schmidt çekici kayanın tek eksenli basınç dayanımı ve diğer mekanik özelliklerini bulmak, bozunma durumu, kayanın süreksizlik durumunu belirlemek, maden tavanı kontrolü, kollu galeri açma makinaları ve TBM performansı, delme makinası delme oranı, kaya sökülebilirliği, kaya deformasyon katsayısı, kaya aşındırıcılığı, kaya agregasının aşındırma direnci, kaya kazısı için bir sınıflama parametresi olarak, granit döşeme karolarının sınıflama sertliği ve galerilerdeki yerinde gerilme tahmininde gibi alanlarda kullanılmaktadır (Göktan ve Güneş, 2005).

Göktan ve Güneş (2005), Schmidt çekici test yönteminin makina ile kaya kesilebilirliğini anlamak için kullanışlı bir araç olduğunu belirtmişlerdir. Kaya litolojisinin çeşitliliğini anlamak için arazideki Schmidt çekici değerlerini toplayarak bir kollu galeri açma makinasının kesme oranları ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta, Şekil 2.29'de görüldüğü gibi anlamlı bir ilişki bulmuşlardır.



Şekil 2.29. Schmidt değerleri ile net kazı oranı arasındaki ilişki (Göktan ve Güneş, 2005).

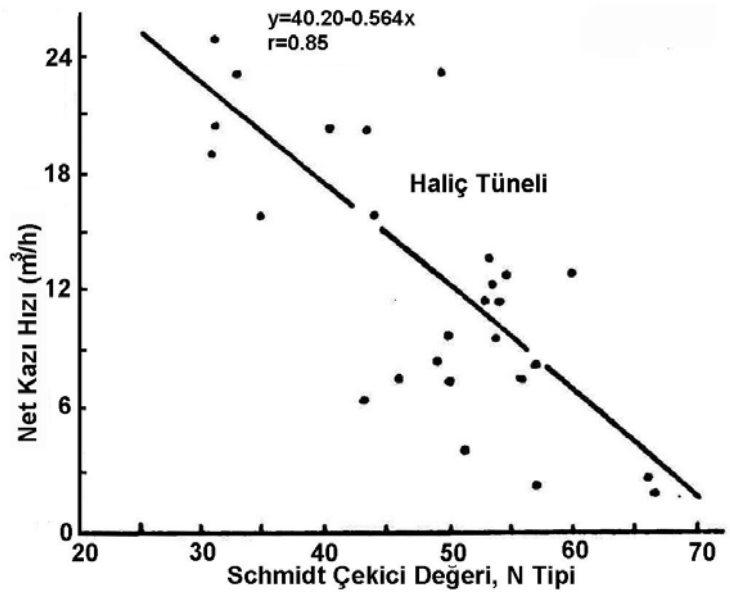
Schmidt çekici değeri ile kesme enerjisi arasındaki ilişki Şekil 2.30'da, gösterilmektedir. Şekil 2.30'da Schmidt çekici değeri arttıkça kesme enerjisinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 2.30. Schmidt değerinin kesme enerjisi üzerine etkisi (Bölükbaşı ve Çam, 1981).

Kömür tek eksenli basınç dayanımında davrandığı gibi, Schmidt değeri grafiklerinden de görüldüğü üzere diğer kayaçlara göre farklılık göstermiştir. Aynı Schmidt değerindeki kayaçlara göre kömürde daha az kesme enerjisi gerekmekte ve daha yüksek kesme hızına ulaşılmaktadır. Bu durumun oluşmasının nedeni, kömür içindeki çatlak sistemlerinin kesme kolaylığı sağlamasındandır (Fowell ve ark., 1976).

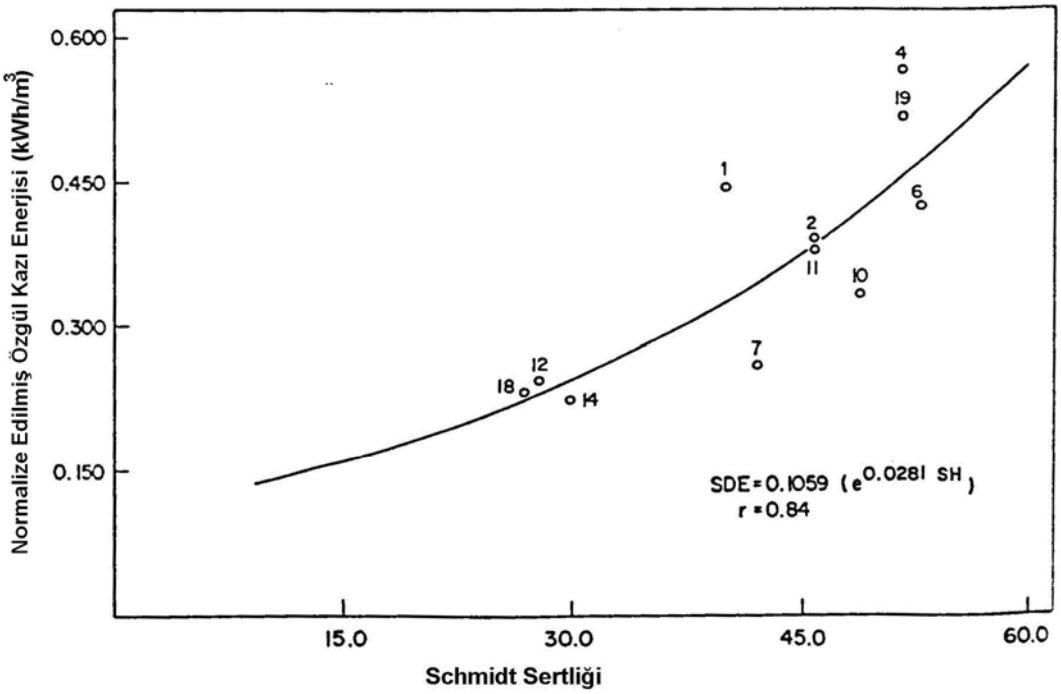
Bilgin ve ark. (1990b), İstanbul kanalizasyon tünellerinin açımı esnasında kollu tünel açma makinalarının performanslarını analiz etmişlerdir. Bu çalışmada net kazı hızı ile Schmidt çekici değerleri arasında iyi bir ilişkinin olduğu vurgulanmıştır (Şekil 2.31). Bu durumu, Schmidt çekici değerlerinin formasyonların yerindeki dayanımlarını iyi yansıttığı, ölçülen araz değerlerinde kayaç süreksizliklerinin de etkisi olduğu gerçeği ile açıklamışlardır.



Şekil 2.31. Net kazı hızının Schmidt çekici değeri ile değişimi (Bilgin ve ark., 1990b).

Ceylanoğlu (1991) elektrikli ekskavatörler üzerinde bir çalışma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada, kayaç özellikleri ile ekskavatörün kazı performansı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Spesifik kazı enerjisi ve bazı kaya kütle ve malzeme özellikleri arasında anlamlı ve korelasyonlu ilişkiler tespit etmiştir (Şekil 2.32). Şekil 2.32'de noktalar üzerinde görülen sayılar farklı kaya formasyonlarını temsil etmektedir. Ceylanoğlu (1991) değerlendirmeler sonucunda, Schmidt sertliği deney sonuçlarının

özgül kazı enerjisini (spesifik enerji) en iyi yansıtan parametrelerden biri olduğunu belirlemiştir. Schmidt sertliği ile özgül kazı enerjisi arasında artan üssel bir ilişki olduğunu belirlenmiştir.



Şekil 2.32. Spesifik enerji değeri ile Schmidt sertliğinin değişimi (Ceylanoğlu, 1991).

3. PARK TEKNİK-ÇAYIRHAN YERALTI KÖMÜR İŞLETMESİ

3.1. Genel

Bu bölümde, arazi çalışmalarının yürütüldüğü Park Teknik-Çayırhan yeraltı kömür işletmesi hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca burada kullanılan kazıcı makinalar tanıtılmıştır.

3.2. Maden Ocağının Coğrafik Konumu

Park Teknik Kömür İşletmesi, Ankara ilinin Nallıhan ilçesine bağlı olan Çayırhan nahiyesindedir. İşletme Ankara-Nallıhan yolu üzerinde bulunmaktadır (Şekil 3.1). Ankara'ya 122 km, Nallıhan'a 36 km ve Beypazarı'na 30 km uzaklıktadır. İşletme Sarıyar barajının yakınında kuruludur. İşletmede yılda ortalama 5 milyon ton kömür çıkarılmaktadır. Çayırhan yeraltı işletmesinden çıkarılan linyit kömürü Park Termik bünyesindeki termik santralde yakılarak elektrik enerjisine çevrilmektedir. Termik santral 4 üniteden oluşmakta, 1. ve 2. üniteler 150 MW, 3. ve 4. üniteler ise 160 MW kurulu güce sahiptir.

Çayırhan kömür havzası 365 milyon tonu görünür, 35 milyon tonu muhtemel ve 15 milyon tonu mümkün olmak üzere 415 milyon ton rezerve sahiptir.

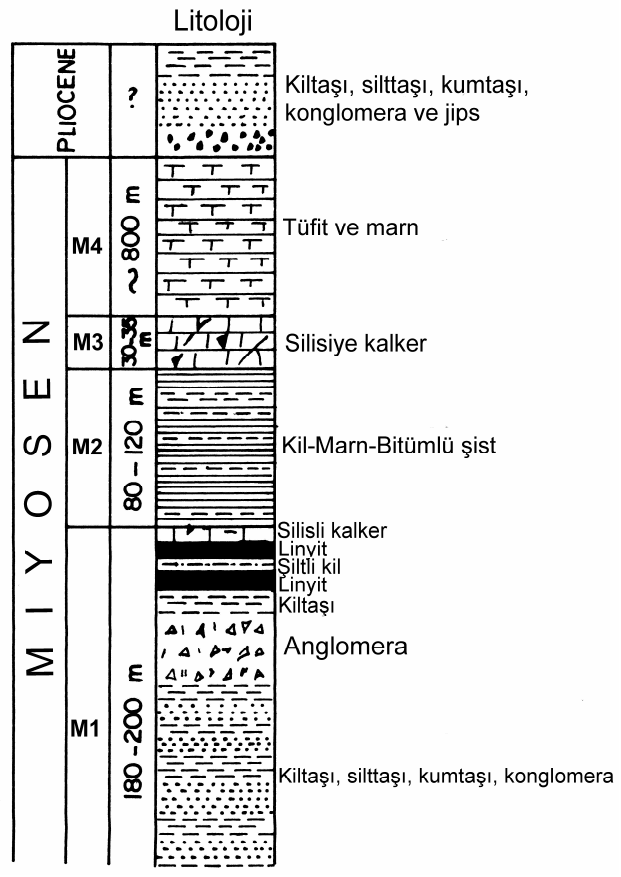


Şekil 3.1. Park Teknik-Çayırhan Kömür İşetmesi yerbulduru haritası.

3.3. 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 kalınlığı 1200 m'ye ulaşmaktadır. Havzadaki miyosen tortullarının yaşları paleozoyik ile Eosen arasında değişmektedir. 1982 yılında işletmede yapılan yeraltı hazırlıkları sırasında 3. bir kömür damarı bulunmuştur. Bu damar mevcut damarların 140–160 m altında yer almaktadır. Yine 1982 yılında MTA tarafından üst linyit düzeyinin araştırması için havzada yapılan sondaj çalışmaları sırasında bölgede trona (doğal soda) varlığı bir tesadüf sonucu bulunmuştur. Havza tektonik yönden normal ve ters fayların etkisi altındadır.

Çayırhan linyit havzası miyosen yaşlı seriler içinde oluşmuştur. Litolojik açıdan bu seriler 4 bölüme ayrılır. En yaşlıdan (M4) en gence (M1) doğru sıralanan serilerin konumlanmaları Şekil 3.2'de sunulmuştur (Aydın ve Fünfstück, 1988).



Şekil 3.2. Çayırhan havzasının stratigrafik kesiti (Aydın ve Fünfstück, 1988).

M4 olarak adlandırılan formasyon sahanın büyük bir kısmını kaplamaktadır. Sert yapıya sahip gri, kırmızı, yeşil ve bej renkli tüfitlerden meydana gelmiştir. Formasyonun kalınlığı yaklaşık 800 m'dir. 30–35 kalınlığa sahip M3 formasyonu altında ve üstünde iki ayrı silisleşmiş kireçtaşı düzeyi ile katmanlı çörtlerden ve orta taraflarında yeşilimsi kiltaşı-çört ardalalanmasından oluşmuştur ve sahanın en sert formasyonudur. Kül ve marnlardan oluşan M2 formasyonunun alt ve üst kısımlarında 20 m'lik 2 adet bitümlü şist tabakası bulunmaktadır ve kalınlığı 80–120 m arasında değişmektedir. Havzada kömür tabakalarının bulunduğu formasyon olan M1 formasyonunun üstünde 5–6 m kalınlığında açık kahverengi silisli bir kalker tabakası bulunmaktadır. Bunun altında bir arakesme ile birbirinden ayrılan iki adet kömür tabakası bulunmaktadır. Kömür tabakasının hemen altında ise 7–8 m kalınlığında yeşil renkli bir kiltaşı tabakası bulunmaktadır (Yağmurlu ve ark., 1988).

3.4. Kömür Damarının Özellikleri

Kömür damarı kuzey fayının meydana getirdiği şevde, erozyon çatlaklarında mostra vermektedir. Çayırhan, Tepeköy ve Koyunağılı sahalarından oluşan havzanın toplam rezervi 450 milyon tondur (Aydın ve Fünfstück, 1988). Kömür damarı bir çanak şeklinde olup çanağın her iki tarafında damar eğimi 8º-24º arasında değişiklik göstermektedir.

Kömür tabakası 3.4–5.5 m arasında değişen iki katmandan oluşmaktadır. Her iki kömür katmanı silttaşı ile birinden ayrılmaktadır. Üst kısımda konumlanan kömür katmanı tavan kömürü, alt kömür katmanı taban kömürü ve bu iki katman arasında kalan silttaşı kaya birimi ise arakesme olarak adlandırılmaktadır. Havzada kömür damarlarının kalınlığı 1.0–2.25 m arasında değişmektedir. Tavan kömürünün kalınlığı 1.52 m civarında taban kömürünün kalınlığı ise 1.72 m civarındadır. Arakesme olarak nitelenen silttaşının kalınlığı sahanın batısında 1.3–2 m arasında değişirken, doğusunda bu kalınlık azalarak 0.5–0.8 m'ye kadar düştüğü tespit edilmiştir. Hem tavan kömüründe hem de taban kömüründe üç türlü çatlak sistemi bulunmaktadır.

Havzada bulunan kömür genellikle koyu kahve veya siyah renge sahiptir. Kömür düzensiz bantlı, yarı parlak ve parlak cinstedir ve 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 yoğunluğu ortalama 1.4 gr/cm^3, taban kömürünün yoğunluğu ortalama 1.5 gr/cm^3 civarındadır. Çizelge 3.1'de ülkemizde linyit üretimi sektöründe faaliyet gösteren kuruluşların üretim miktarları sunulmuştur. Buradan da görüleceği gibi, ülkemizdeki toplam linyit kömür üretiminin % 4.75'i Çayırhan havzasından karşılanmaktadır.

Çizelge 3.1. Linyit sektöründe üretim yapan kamu ve özel sektör kuruluşları (DPT raporu, 2006)

Linyit Sektöründe Üretim Yapan Kamu ve Özel Sektör Kuruluşları	İşletme	2004 Yılı Üretimi (Tüvenan Ton)	Kapasite (Ton/yıl)
Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu		28 487 951	47 300 000
Elektrik Üretim A.Ş.	Elbistan	6 153 150	17 000 000
	Kangal	3 410 617	3 800 000
	Çayırhan	4 198 346	4 500 000
Özel Sektör Kuruluşları		46 118 826	78.947.000
Toplam		88 368 890	151 547 000

3.5. Çayırhan Yeraltı Maden Ocağının Tarihçesi

Çayırhan bölgesinde bulunan linyit ocakları ilk olarak Başyurt Kollektif Şirketi tarafından işletilmiştir. 28 Eylül 1966 tarihinde Türkiye Taşkömürü İşletmeleri (T.K.İ) tarafından devir alınarak, T.K.İ kurumuna bağlı olan Orta Anadolu Linyit İşletmesi müdürlüğü (O.A.L) olarak faaliyete geçirilmiş ve faaliyetini 1977 yılına kadar sürdürmüştür. 1995 yılında işletme özelleştirilerek, 15 yıllık bir sözleşme ile Park Teknik firmasına verilmiştir. Daha sonra 1 Temmuz 2000 tarihinde yapılan ikinci bir sözleşmeyle ile Park Termik firması bu bölgede 20 yıllık üretim yapma hakkını kazanmıştır.

İşletmede mekanize kazı sistemine 1986 yılında geçilmeden önce klasik kazı sistemi uygulanmaktaydı. Bu kazı sisteminde 50–150 m uzunluğuna sahip uzun ayaklarda geri dönümlü arkadan göçertmeli bir kazı sistemi uygulanmıştır. Kömürün kendiliğinden yanmaya karşı eğilimi olmasından dolayı arakesmeyle ayrılan üst damar, alt damarın 30–40 m önünde hareket edecek şekilde iki ayak birlikte

kazılmaktaydı. O tarihlerde yapılan madencilik çalışmalarıyla günlük yaklaşık 1000 ton tüvanan kömür üretimi, delme-patlatma, kazma ve martopikör ile yapılmıştır. Ayak içerisindeki duraylılığı sağlamak için 1980 yılına kadar sürtünmeli direk-çelik sarma, bu yıldan sonra çelik sarma ve hidrolik direkler kullanılmıştır. Kömürün taban yollarında taşınması tek zincirli konveyörler ile ana yollarda ise lokomotifler yardımıyla yapılmıştır.

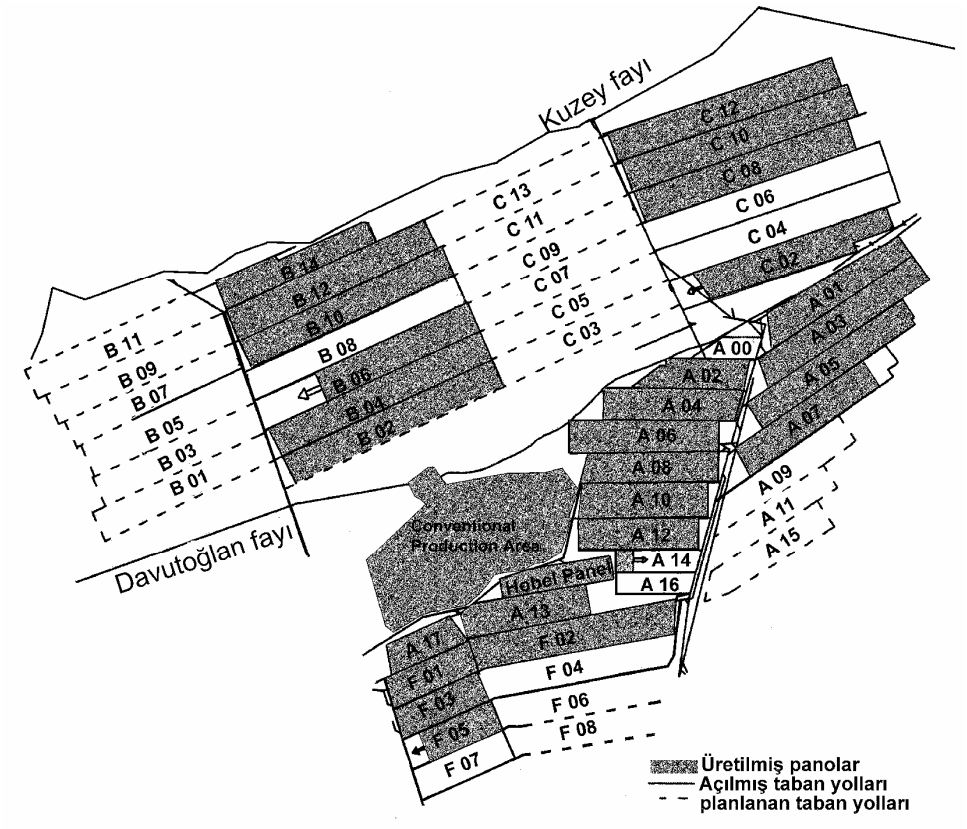
1982 yılında kurulan saban ayağı ile yarı mekanize kömür üretim sistemine başlanmıştır. Bu sistemin uygulandığı yıllarda, kömür ayak içerisinde saban tarafından kazılmakta ve konveyöre yüklenmekteydi. Taban yollarında kömür taşınması tek zincirli konveyörlerle ve bant konveyörler ile gerçekleşmekte, ana yollarda ise lokomotif ile taşıma yapılmaktaydı.

1986 yılında tamburlu kesici-yükleyici makinalar ve yürüyen tahkimatlardan oluşan tam mekanize pano kurulmuştur. Bu mekanize pano ülkemizdeki ilk tam mekanize yeraltı kömür işletmesi olmuştur.

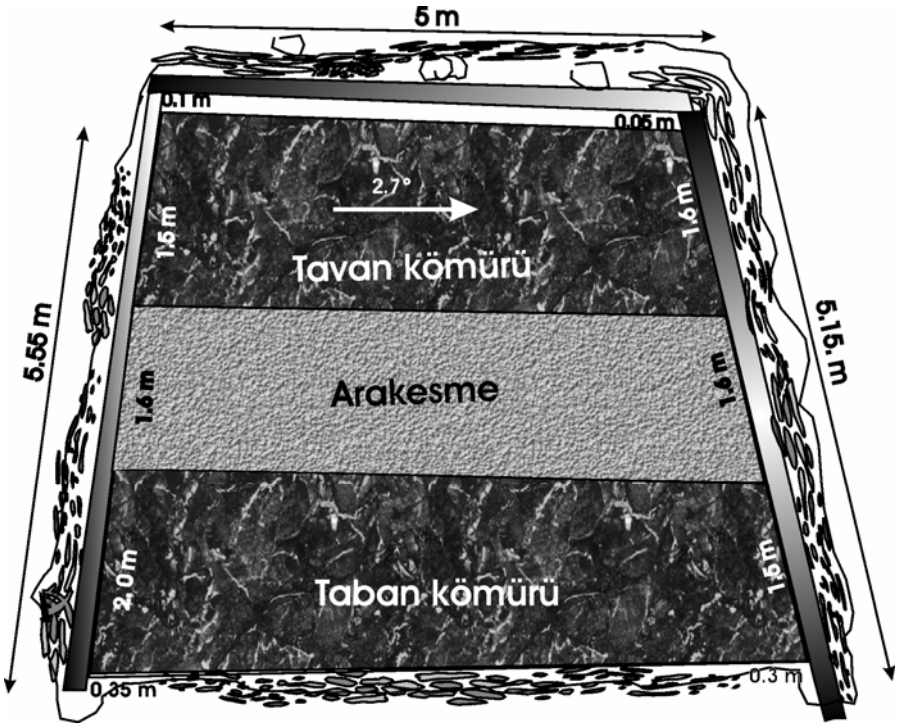
3.6. Çayırhan'da Günümüzde Gerçekleştirilen Yeraltı Kömür Madenciliği

3.6.1. Hazırlık çalışmaları

Çayırhan kömür havzasında bulunan ana faylar dikkate alınarak havza Şekil 3.3'de görüldüğü gibi sektörlere ayrılmıştır. Her sektörde bir ana nakliye galerisi yardımıyla üretim panoları oluşturulmaktadır. Üretimin yapıldığı pano boyları jeolojik yapıya bağlı olarak 1000–3000 m arasındayken ayak uzunlukları ortalama 220 m seçilmektedir. Üretim panolarını birbirinden ayıran galerilere taban yolu denilmektedir. Taban yollarının boyutları ve kesilen birimler tipik olarak B810 taban yolu için Şekil 3.4'de sunulmuştur. Tek kollu galeri açma makinası ile açılan taban yolları yaklaşık 1 m arayla yerleştirilen kaymalı demir bağlar ile tahkim edilmektedir (Şekil 3.5). Galeri açma makinası ile aynada yapılan kazıda 2 m ilerleme yapıldıktan sonra tahkimat yapılmaktadır. Ayrıca yandan ve tavandan akmaların önlenmesi için tavana ve yan duvarlara çelik hasırlar yerleştirilmektedir. Şekil 3.5'de görüldüğü gibi malzeme ve insan nakliyesi tavana asılan monoray ile yapılmaktadır.



Şekil 3.3. Çayırhan yeraltı maden planı.



Şekil 3.4. B810 taban yolunun kesit görünümü.



Şekil 3.5. Ana yollarda kullanılan kaymalı çelik tahkimatlar.

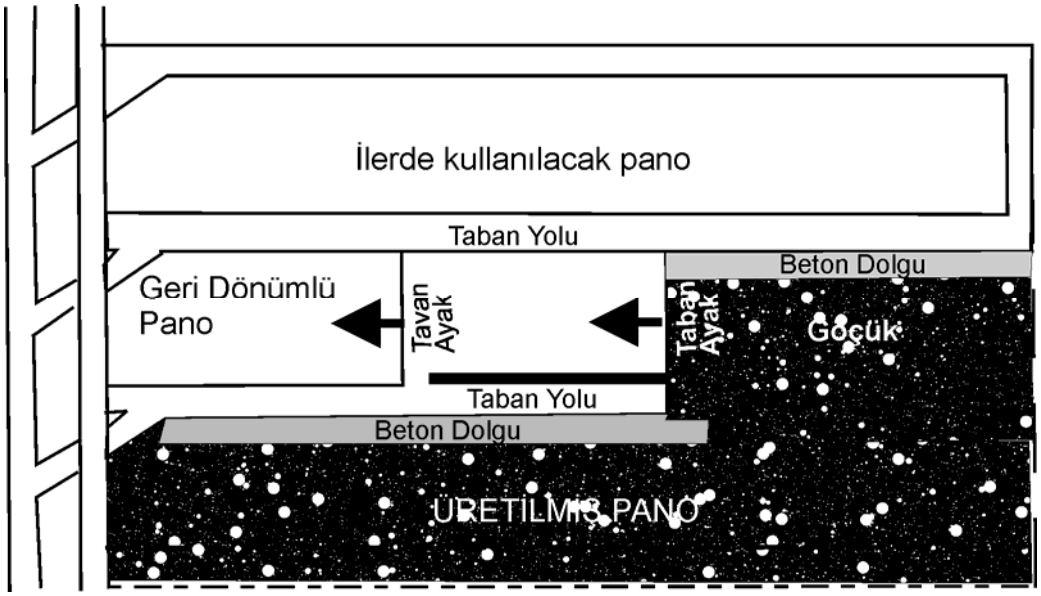
3.6.2. Üretim çalışmaları

Çayırhan kömür madeninde geri dönümlü-göçertmeli uzun ayak sistemi uygulanmaktadır. İşletmede tam mekanize bir uzun ayak sistemi ile üretim gerçekleştirilmektedir. Panolarda günde 3 vardiya halinde çalışma yapılmaktadır. Havzadan günde 15000-20000 ton kömür üretimi yapılabilmektedir. Ayak uzunlukları ortalama 220 m civarında olurken pano boyları ise 1000–3000 m arasındadır (Şekil 3.3). Şekil 3.6'da görüldüğü gibi bir taban yolu iki kez kullanılmaktadır. Önce üst taban yolu sonra alt taban yolu olarak işlev görmektedirler. Taban yoluna bu işlevi yerine getirebilmesi için 2 m genişliğinde beton dolgu yapılmakta (Şekil 3.7) hatta ayak başı ve kuyrukta ek tahkimat olarak hidrolik direk kullanılmaktadır (Şekil 3.8).

Bu madende işletilmekte olan C sektörü ile yapım aşamasında olan G sektöründe yaklaşık 5 m kalınlığında olan kömür damarı içerisinde 0.8 m kalınlığında bir arakesme mevcuttur. Arakesmenin kalınlığının küçük olmasından dolayı bu sektörlerdeki kömür tek seferde kazılmaktadır. Diğer sektörlerde (A, B, F) kömür damarı yaklaşık olarak 1.5 m kalınlığındaki (Şekil 3.3) bir arakesme (silttaşı)

ile ayrılmaktadır. Bu yüzden arakesmenin üstündeki ve altındaki kömür damarı ayrı ayrı üretilmektedir. Panolardaki kömür damarı tavan ayak ve taban ayak şeklinde iki ayak şeklinde çalışılmaktadır. Tavan ayak, taban ayaktan 25–40 m önde ilerleyecek şekilde üretim yapılmaktadır (Şekil 3.9).

Arındaki kömür L tipi çift tamburlu kesici-yükleyiciler ile kazılmaktadır (Şekil 3.10). Tamburlu kesiciler ile arından kazılan kömür çift zincirli konveyörler ile ayak başına kadar taşınmaktadır (Şekil 3.11). Ayak başında bir aktarma konveyörü ile ana nakliye galerisindeki bant konveyöre nakliye edilerek yeryüzüne çıkarılmaktadır. Geri dönümlü göçertmeli uzun ayak yönteminin kullanıldığı işletmede ayak arkası kendiliğinden düzenli olarak göçmektedir (Şekil 3.12). Eğer ayak başlarının arkası göçmez ise kontrollü patlatma yapılmaktadır.



Şekil 3.6. Uzun ayak panolarının plan görünüşü ve anayolların durumları (Özkan, 1995).

3.7. İşletmede Kullanılan Kazıcı Makinalar

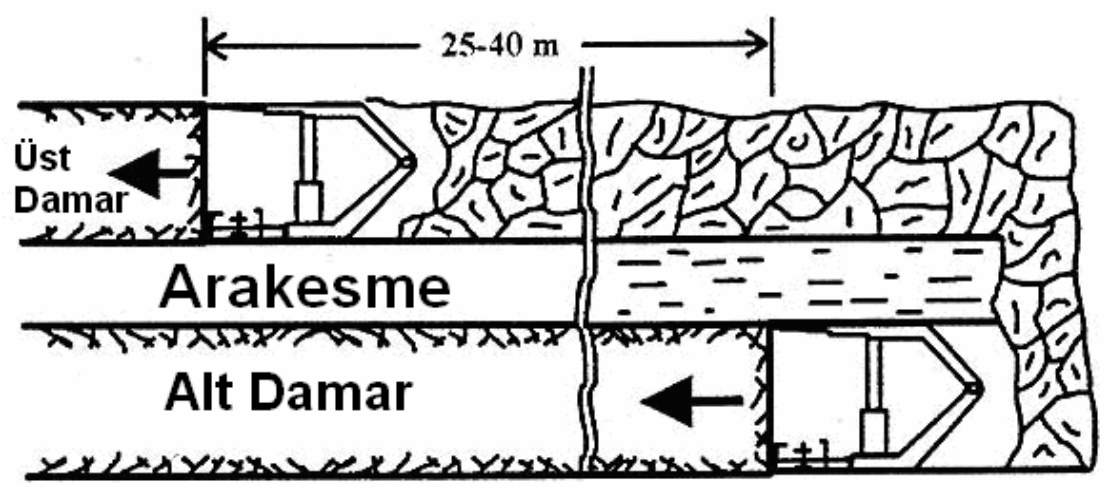
Uzun ayak içerisindeki üretim, işletmede bulunan Eickhoff SL 300, Eickhoff SL 500 ve Eickhoff EDW 230 isimli tamburlu kesiciler ile gerçekleştirilmektedir. Dosco Mk2A ve Mk2B kollu galeri açma makinaları, hazırlık çalışmalarında sürülen tavan ve taban yollarının kazısında kullanılmaktadır.



Şekil 3.7. Ayak başlarına uygulanan püskürtme beton.



Şekil 3.8. Ayak başı ve kuyrukta kullanılan hidrolik direkler.



Şekil 3.9. Çayırhan linyit madenindeki uzun ayak arınının durumu ve tavan ve taban ayakların görünüşü (Ünal ve ark., 2001).



Şekil 3.10. Ayak içerisinde kullanılan kalkanlı yürüyen tahkimatların ve tamburlu kesici-yükleyicinin görünüşü.



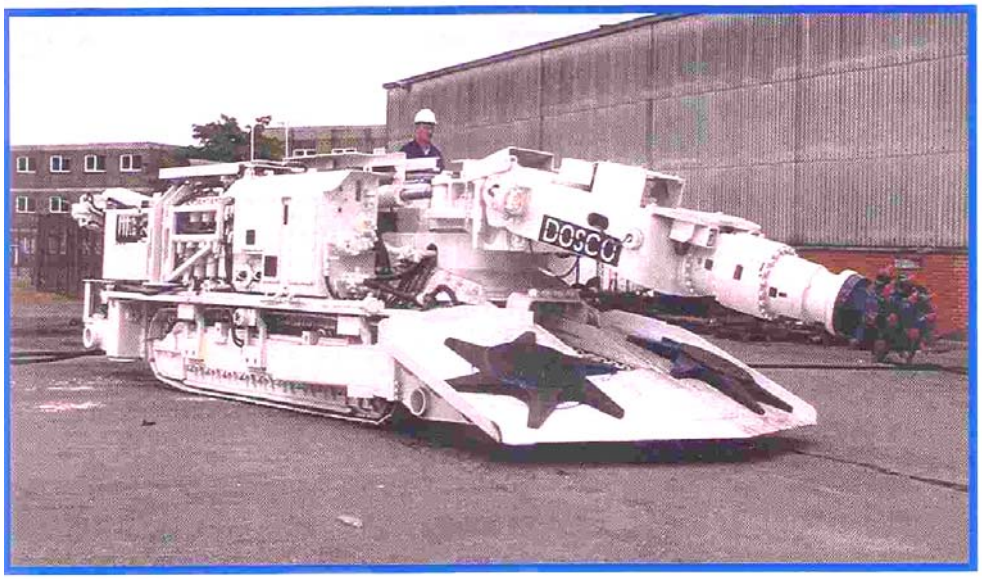
Şekil 3.11. Ayak içerisinde kullanılan çift zincirli konveyör.



Şekil 3.12. Göçertilmiş olan ayak arkasının görünüşü.

3.7.1. Galerilerin açılmasında kullanılan kazıcı makinalar

İşletmede taş içerisinde ve kömür içerisinde galerilerin açılması için Dosco Mk2B, Dosco Mk2A ve Pk9r tipinde kollu galeri açma makinaları kullanılmaktadır (Çizelge 3.2). Pk9r ve Dosco Mk2A tipli kollu galeri açma makinaları, kömür ve basınç dayanımı düşük olan yumuşak kayaçlarda verimli bir şekilde çalışabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Dosco Mk2B tipli makine ise orta sert ve sert formasyonlarda kazı yapmak üzere tasarlanmışlardır (Şekil 3.13). İşletmede daha çok Mk2B ile galeri açma işleri gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.13. Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının tipik bir şekli (www.dosco.co.uk, 2007).

Dosco Mk2B kollu galeri açma makinası paletler üzerinde hareket etmekte ve elektrik akımı ile çalışmaktadır. Makine bom ünitesi (kazıcı kol), yükleme ünitesi, malzeme aktarma ünitesi, yürüyüş ünitesi, hidrolik ve elektrik aksamlardan oluşmaktadır. Makinanın ve kesici kafanın hareketini ayrı ayrı elektrik motorları sağlamaktadır. Kesici kafa üzerinde kesici uçlar bulunmaktadır. Kesici kafa dönerek kazma işlemini yapmakta ve çıkan pasa ise makinanın altındaki yengeç kollar (toplayıcı kollar) ile toplanarak makinanın içinde bulunan konveyöre aktarılmaktadır. Mk2B'nin çalışması Şekil 3.14'de sunulmuştur.



Şekil 3.14. Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının galeri arınında çalışması

Çizelge 3.2. İşletmede kullanılan kollu galeri açma makinalarının bazı teknik özellikleri (Acaroğlu, 2004)

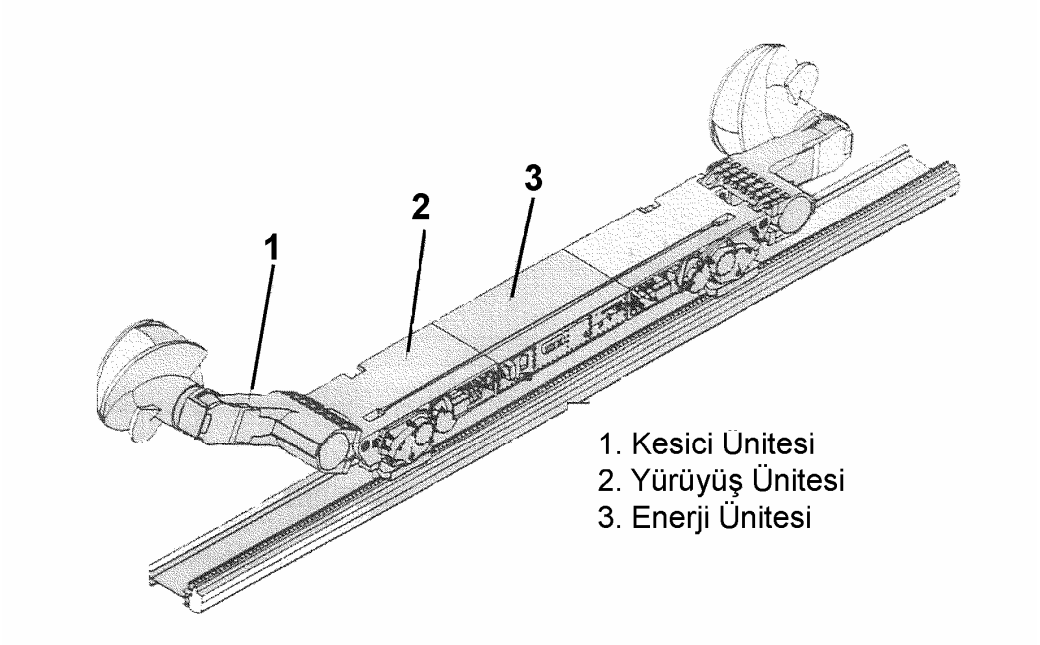
Makina Özellikleri	Dosco Mk2A	Dosco Mk2B	Pk9r
Makina ağırlığı (t)	23.4	44*	32
Makina genişliği (m)	2.9	3	1.8
Makine uzunluğu (m)	7.2	10.5*	8
Makina yüksekliği (m)	1.8	1.96*	1.9
Maksimum kesme genişliği (m)	5.2	6.9*	5.8
Maksimum kesme yüksekliği (m)	4.1	5.2*	3.9
Toplam güç (kW)	150	224	186
Kesici kafanın motor gücü (kW)	67	112	93
Kafanın dönme sayısı (devir/dak.)	68	58	61–99
Makinanın yürüme hızı (m/dak.)	7.2	8.4	2
Çalışabileceği maksimum eğim	14º	14º	10º
Nominal çalışma basıncı (bar)	105–140	140	-
Hidrolik sistem motoru (kW)	56	112	15 (yürüyüş ünitesi için)
Makinanın yere uyguladığı basınç (N/cm^2)	13	11.8	10

* Uzun şaft kullanıldığı durumlardaki büyüklükler

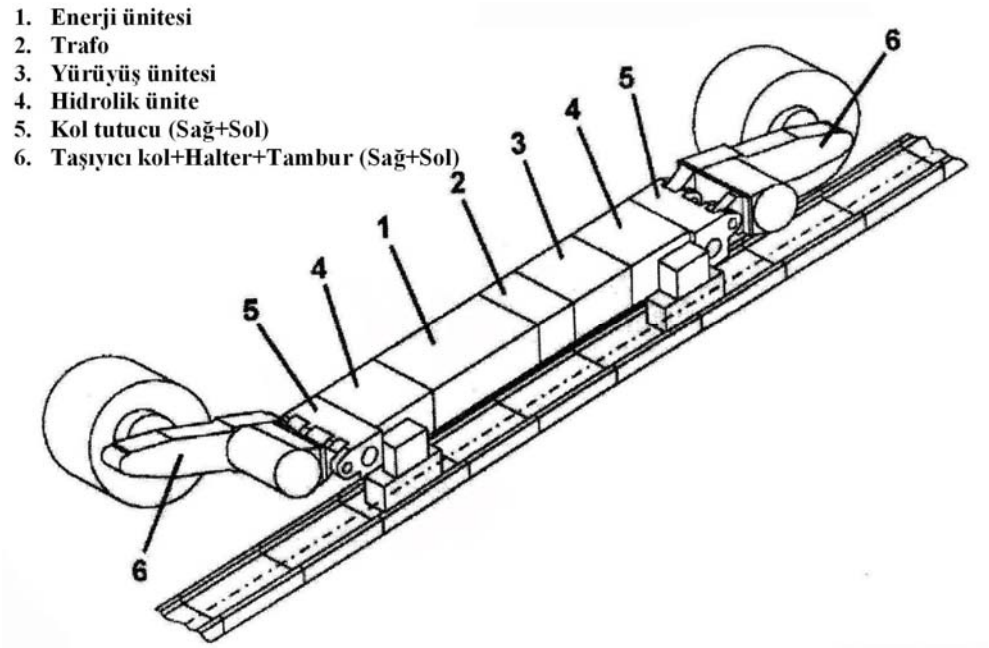
3.7.2. Üretim panolarında kullanılan kazıcı makinalar

Üretimin gerçekleştirildiği uzun ayak arınında L tipi çift tamburlu kesici-yükleyici makinalar kullanılmaktadır. Eickhoff SL 300 ve Eickhoff SL 500 tamburlu kesicilere ait tipik birer çizim Şekil 3.15 ve 3.16'da görülmektedir. Eickhoff SL 300

ve Eickhoff SL 500 üç ana üniteden oluşmaktadır. Bunlar kesici ünitesi, yürüyüş ünitesi ve enerji ünitesidir. Bu üniteler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.



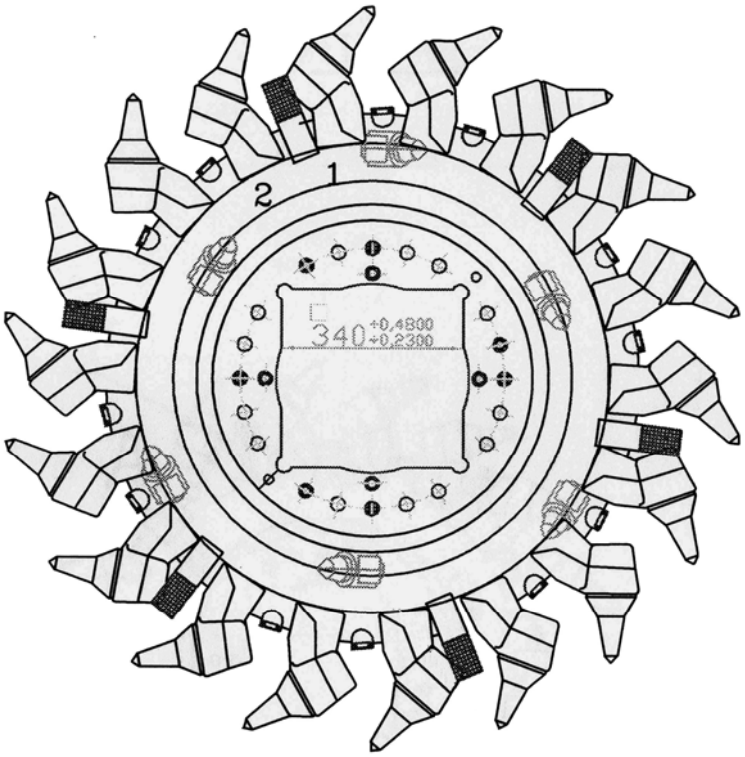
Şekil 3.15. Eickhoff SL 300 tamburlu kesici-yükleyici makinanın ana üniteleri (Turan, 2004a).



Şekil 3.16. Eickhoff SL 500 Tamburlu kesici-yükleyici makinanın ana üniteleri (Turan, 2004b).

3.7.2.1. Kesici ünite

Eickhoff SL 300 tamburlu-kesici yükleyicide 2 farklı firmaya ait 3 farklı konfigürasyonlu 1400 mm çapında 900 mm dalma derinliğine sahip tamburlar kullanılmaktadır. Arazideki performans ölçümlerinde kullanılan tamburlar üzerinde 3 helis ve her heliste 11 adet, arın helisinde ise 18 adet kalem uçlu keski bulunmaktadır (Şekil 3.17). Ayrıca tamburların üzerine yerleştirilmiş olan kesici uçlar Kennametal firmasına ait olan U94 kodlu kesici uçlardır (Şekil 3.18). Tamburlar taşıyıcı kollara monte edilmiştir. Bu taşıyıcı kolları kaldırmak ve tamburları döndürmek için elektrik motorundan faydalanılmaktadır. Makinadaki her iki tambur için ayrı bir elektrik motoru kullanılmaktadır. Bu motorların her biri 300 kW güce sahip olup 3300 volt gerilimle çalışmaktadır.



Şekil 3.17. Eickhoff SL 300 tamburlu-kesici yükleyicide kullanılan tamburun tipik şekli (Turan, 2005).

3.7.2.2. Yürüyüş ünitesi

Yürüyüş ünitesi kesici-yükleyici makinanın konveyör üzerinde ilerlemesini ve hareketini sağlar. Doğru akımla beslenen bir elektrik motorundan alınan hareket bazı ek parçalar ile yürüyüş dişlisine iletilir ve böylelikle makinanın hareketi sağlanmış olur. Makinanın ileri-geri ilerlemesi ve ilerleme hızı operatörün elinde bulunan bir el kumandası ile sağlanmaktadır. Makinanın ilerleme hızı elektrik motoru akımının artırılması veya azaltılması ile sağlanmaktadır. Ayrıca kesici motor akımı da elektronik olarak kontrol edilerek yürüyüş hızı ayarlaması yapan Eicomatik isimli bir sisteme sahiptir.



Şekil 3.18 . U94 kodlu aşınmış ve aşınmamış kesici kalem uçlar.

3.7.2.3. Enerji ünitesi

Enerji ünitesine 3300 voltluk bir gerilime sahip elektrik akımı kablolar vasıtasıyla ulaştırılmaktadır. Enerji ünitesine gelen elektrik akımı yürüyüş motoruna ve kesici motorlara aktarılmaktadır.

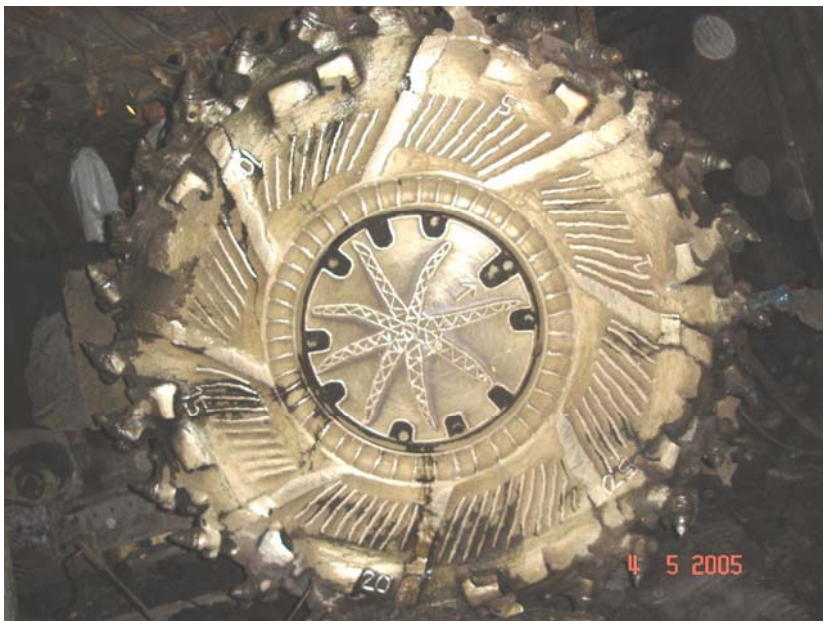
Turan, 2004a, Turan, 2004b ve Eickhoff web adresindeki bilgiler (www.eickhoff-bochum.de) harmanlanarak Çizelge 3.3 ve 3.4 oluşturulmuştur. Çizelgelerde işletmede kullanılan tamburlu kesici-yükleyicilerin teknik özellikleri sunulmuş ayrıca Eickhoff SL 500'ün kesici tamburunun çalışma anındaki görüntüsü Şekil 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.3. Eickhoff SL 300 ve SL 500 tamburlu kesici-yükleyici makinanın bazı teknik özellikleri

Makina Özellikleri	Eickhoff SL 300	Eickhoff SL 500
Üretim yılı	1997	1999
Kesici motor gücü (2 adet, kW)	300	500
Yürüyüş motoru (2 adet, kW)	35	54
Hidrolik motoru (1 adet)	7.5	35
Toplam Kurulu güç (kW)	677.5	1148
Ağırlık (Tamburlar hariç, ton)	30	90
Maksimum kesme yüksekliği (m)	2.66 (Kol dahil)	5.09 (Kol dahil)
Çalışma gerilimi (V)	3300	3300
Tambur dönüş hızı (Devir/dak.)	50	23
Tambur çapı (m)	1.4 m	2.3
Soğutma suyu basıncı (bar)	10–25	15–25
Soğutma suyu debisi (litre/dak.)	156	224
Maksimum kuvvet (kN)	600	1000
Kontrol sistemi	Radyo dalgası ile uzaktan kumanda	Radyo dalgası ile uzaktan kumanda
Maksimum yürüyüş hızı (m/dak.)	14	10.1

Çizelge 3.4. EDW 230 L modeli Tamburlu kesici-yükleyici makinanın teknik özellikleri

Makine Özellikleri	Boyutlar
Makine ağırlığı (t)	26
Motor gücü (kW)	230
Makinanın uzunluğu (m)	7.9
Hidrolik çekme sistemi (kN)	2x200
Maksimum kuvvet (kN)	196
Maksimum kesme yüksekliği (m)	2.4
Tambur dönüş hızı (devir/dak.)	37



Şekil 3.19. Eickhoff SL 500 tamburlu kesici-yükleyici tamburu (Çap: 2300 mm).

4. ÇALIŞMA SAHASININ BELİRLENMESİ

4.1. Genel

Bu bölümde, arazi çalışmaları esnasında planlanan deneysel çalışmalar için yapılan ön hazırlıklardan bahsedilmiştir. Arazi çalışmalarının yapılacağı uzunayak panoları ve taban yolları hakkında bilgiler verilmiş ve ölçüm alanlarının belirlenişi ve hazırlanışı ayrıntıları ile sunulmuştur.

4.2. Maden Sahasının Belirlenmesi

Yeraltı kazı çalışmalarında mekanik kazı sınırları, teknolojinin ilerlemesi ile gün geçtikçe artmaktadır. Bu durumun sebebi üretilen kazı makinalarının daha güçlü ve kapasitelerinin daha büyük olmasıdır. Yeraltı madenciliğinde kullanılan kazı makinalarının daha yaygın bir şekilde kömür madenlerinde kullanıldığı görülmektedir. Bu makinaların kazı başarısının ölçütü, üretimi doğrudan etkileyebilmektedir. Yeraltı kömür madenciliğinde kullanılan tamburlu kesici-yükleyici ile kollu galeri açma makinalarının kazı başarısının, kazılan malzemenin mekanik özellikleri ile ilişkilerinin araştırılması bu doktora çalışmasına temel olmuştur. Bu amaç doğrultusunda çalışmaların Çayırhan havzasında faaliyet gösteren tam mekanize yeraltı maden ocağında gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

Geri dönümlü uzunayak işletme metodu uygulanan işletmede, çalışmaların uzunayak arınındaki ve baca arınında yapılması planlanmıştır. Maden ocağında uzunayak arınında kömür kazısı tamburlu kesici-yükleyici ile yapılırken, taş ve kömür içerisindeki ulaşım galerilerinin açılmasında kollu galeri açma makinası kullanılmaktadır.

4.3. Çalışma Panosunun Belirlenmesi

Çayırhan yeraltı maden ocağında, kömür rezervi sınırlamaları dahilinde planlanan ve üretim yapılan A ve F sektörlerinde kömür kazanımı 2007 yılı itibariyle bitme durumuna gelmiştir. Havzanın özelleştirilmesi ile daha önceden planlanan B

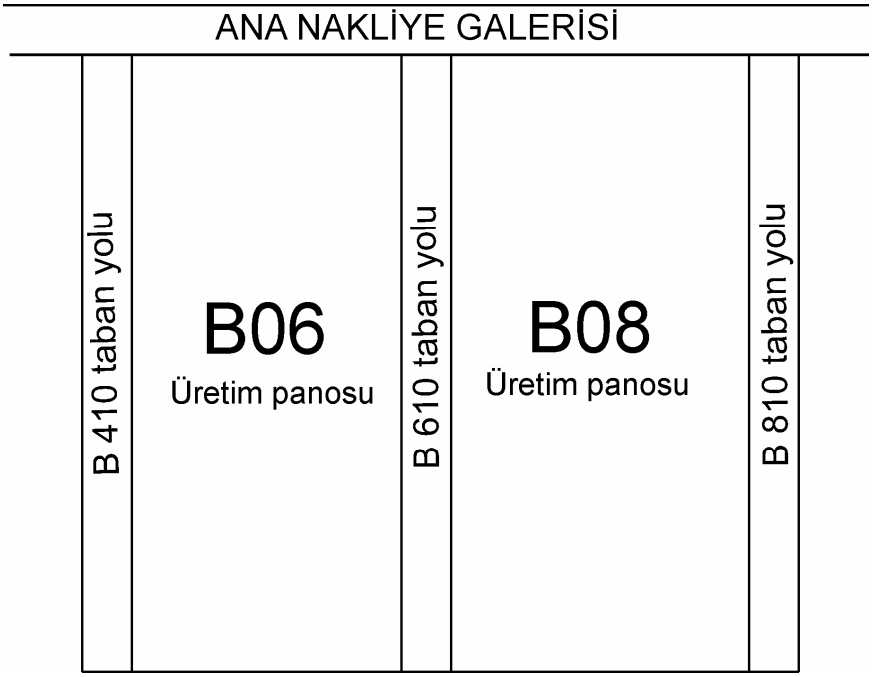
ve C sektörlerinde kömür üretimi başlatılmış ve halen devam etmektedir. 2007 yılı itibari ile G sektöründe de üretim çalışmaları başlatılmıştır. Maden işletmesinden alınan bilgilere göre önümüzdeki yıllarda E sektöründe de hazırlık çalışmalarının başlatılması planlanmaktadır.

Bu doktora tez çalışmasının yürütüldüğü 2005 ve 2006 yıllarında fiili olarak üretimin gerçekleştirildiği sektörler; A, F, B ve C'dir. A ve F sektörlerinde son uzunayak panolarının çalışılması nedeni ile önümüzdeki 8–10 yıllık süreçte kömür üretiminin devam edeceği B ve C sektörlerinde bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir. Bu sektörlerde kullanılan kazıcı makinalar sırasıyla, L tipli Eickhoff SL 300 ve Eickhoff SL 500 çift tamburlu kesici-yükleyicilerdir. B sektöründe arakesme kalınlığının fazla olması nedeni ile pano tavan ve taban ayak olarak iki kısımda çalışırken, C sektöründe arakesme kalınlığı daha az olduğu için damar, tek uzunayak çalışması ile kazılmaktadır. Ancak C sektöründe kömür damar kalınlığının yaklaşık 5 m civarında olması nedeniyle,uzun ayak kazı arını üzerinde yapılması düşünülen çalışmaların belirli bir disiplin içerisinde sürdürülemeyeceği kanaatine varılmıştır. İşletme yönetimi ile yapılan görüşmeler neticesinde B sektöründe konumlanan B06 ve B08 panosundaki uzun ayak arınları üzerinde çalışmaların yapılmasına karar verilmiştir.

4.4. B06 ve B08 Panosunda Çalışma Alanının Belirlenmesi

B sektöründe 12 adet pano bulunmaktadır. Bu panolardan 6 tanesinin üretimi yapılmıştır (Şekil 3.3). Doktora tez çalışması sırasında, B sektöründeki B06 ve B08 kodlu panoların çalışmakta olan tavan ve taban ayaklarında çalışmaların yürütülmesi planlanmıştır (Şekil 4.1). B panosundaki arakesmenin kalın olmasından dolayı, arakesmenin altındaki ve üstündeki kömür ayrı ayrı kazanılmaktadır. Tavan ve taban ayak olarak işletilen panoda, tavan ayak taban ayaktan yaklaşık olarak 25–40 m önde ilerlemektedir (Şekil 3.9). Ayak içerisinde duraylılığı sağlamak için yürüyen kalkanlı tahkimatlardan faydalanılmaktadır. Ayak arınının mekanik kazıya hazırlanması şematik olarak Şekil 4.2.'de sunulurken B06 ve B08 panolarındaki kazı çalışmalarını gösteren tipik bir fotoğrafda Şekil 4.3 ve kazı öncesi tamburdaki uç değişimini gösteren diğer bir fotoğraf Şekil 4.4'de sunulmuştur. İşletmeden alınan bilgiler

doğrultusunda Çizelge 4.1 ve 4.2 oluşturulmuştur. B sektörünün tavan ve taban yollarındaki kömür damarı ve arakesme kalınlıklarının değişimi Çizelge 4.1'de verilirken çalışmaların yürütüldüğü panoların özellikleri ise Çizelge 4.2'de sunulmuştur.



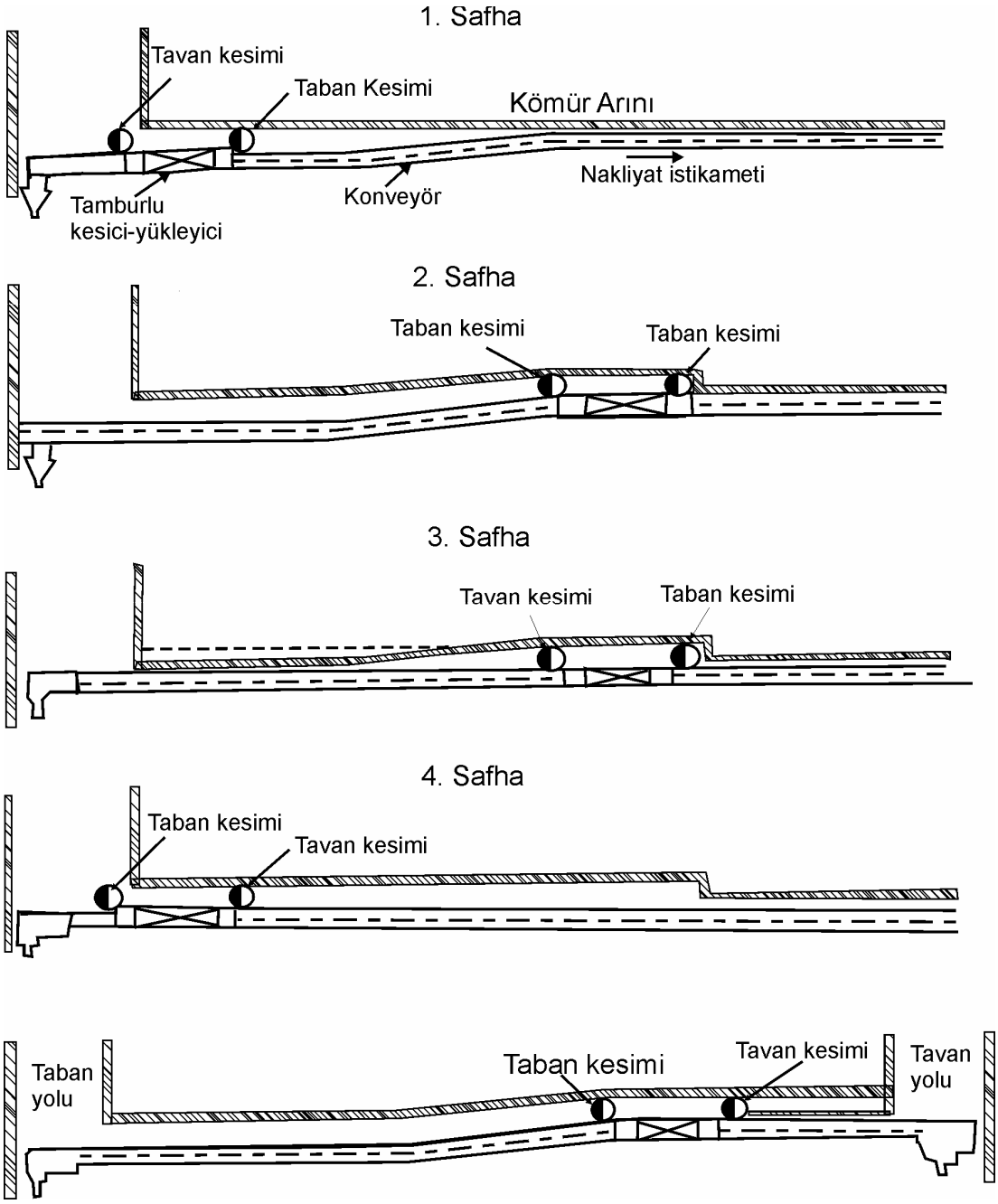
Şekil 4.1. B06 ve B08 panolarının tavan ve taban yollarının konumları.

Çizelge 4.1. B06 ve B08 panolarının tavan ve taban yollarındaki kömür damarı ve arakesme kalınlıklarının değişimi

Baca kodu	Baca uzunluğu (m)	Tavan kömürü kalınlığı, (m)	Taban kömürü kalınlığı, (m)	Arakesme kalınlığı, (m)
B410	1653	1.10–1.85	1.70–2.20	1.20–1.65
B610	1644	1.40–1.65	1.80–2.30	1.10–1.65
B810	1587	1.35–1.80	1.70–2.20	1.10–1.70

Çizelge 4.2. B06 ve B08 panoları hakkında genel bilgiler

Pano kodu	Pano uzunluğu	Ayak uzunluğu (m)	Ayak eğimi (Derece)	Pano eğimi (Derece)	Ayak içi tahkimat sayısı
B06	1612	230	1–4.5	3	147
B08	1603	185	2–6	3	112



Şekil 4.2. Yeni kazı havesine geçişte ayak başı yöntemi (Tatar ve Özfırat, 2003).

230 m uzunluğundaki pano arınının her iki ayak başında yaklaşık 20 birim yürüyen tahkimat boyunca (yaklaşık 30 m) tamburlu kesici-yükleyici özel bir manevra yaparak yeni kazı arınında kazıya hazır olmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.3. B06 panosu ayak içi görünümü ve yürüyen tahkimatlar.



Şekil 4.4 Kazı çalışmalarına başlamadan önce yapılan uç bakımı.

Birinci aşamada tamburlu kesici-yükleyici ayak başına yada kuyruğa gelince son 30 m hariç zincirli konveyör arına yaklaştırılır (1. safha), daha sonra kesici ayak içine hareket ettirilir ve böylece yeni haveye dalınmış olunur (2 ve 3. safha), 4. safhada kesici tekrar geri gelerek son 30 m'lik kısımdaki zincirli konveyöründe öne çekilmesine olanak sağlar. Böylece tüm arında zincirli konveyör aynı hizaya gelmiş olur. Sonuçta 5. safha oluşmuş olur ve yeni kazı başlatılır. Bu işlem yaklaşık 30 dakika sürmektedir. Bu aşamada ayak başlarındaki yoğun tahkimat öne kaydırılmakta ve bir sonraki bakir panonun çalışılmasında da kullanılacak taban yolunun korunması amacıyla beton dolgu yapılmaktadır (Şekil 3.6 ve 3.7). Dolgulu çalışılan panonun tavan ve taban ayakları göçük tarafında ve göçük ile taban yolu arasında ince bir şerit halinde yapılmaktadır. Bu beton dolgunun genişliği 2–25 m; yüksekliği 1.5–1.7 ve üçüncü boyutu ise pano boyuncadır. Bu işlem ayrı ayrı her tavan ve taban ayak için gerçekleştirilerek sonuçta yaklaşık 1.5 m kalınlığındaki arakesmeyi de içeren bir topuk yapılmış olmaktadır.

Tamburlu kesici-yükleyici makinasının 230 m uzunluğundaki uzun ayak arınındaki bir kesimi, ayak başındaki hazırlık hariç yaklaşık 60–90 dakika da tamamayabilmektedir. Vardiya sistemi ile çalışan işletmede, bir vardiyada normal şartlar altında 2 yada 3 kesim yapılmaktadır. Ancak üretim miktarı ile ilgili özel durumlarda 5 kesimin yapılabileceği işletme yönetimi tarafından ifade edilmektedir. Arında gerçekleştirilen her kesim ile, tambur dalma derinliğine bağlı olarak 60–70 cm arın ilerlemesi sağlanmaktadır.

Tüm pano uzun ayak arınında gerçekleştirilmesi planlanan bu tez çalışmalarının yukarıda anlatılan yoğun çalışma arasında yapılmasının oldukça zor olduğu işletme yönetimiyle yapılan ön görüşmeler ile belirlenmiştir. Bu görüşmeler sırasında kömür arını üzerinde analiz edilmesi planlanan ayak uzunluğunun öncelikle ayak içerisinde çalışan tamburlu kesici-yükleyici makinanın boyundan fazla olması gerektiği belirlenmiştir. Çünkü tamburlu kesicinin kesme esnasındaki akım, güç, kesme hızı gibi değerlerini doğru bir şekilde analiz edebilmek için kendi uzunluğundan daha büyük bir yeri kazması esnasındaki verilerin değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Bu amaç doğrultusunda, işletme mühendisleriyle yapılan irdelemelerinde yardımıyla bu ana ölçüm uzunluğunun tamburlu kesici-yükleyici makina uzunluğunun 4 katına denk miktar olan 48 m olmasına karar verilmiştir.

Ayak içerisindeki kömür damarının kalınlığı yaklaşık olarak 1.5 m olduğu için, kömür arını üzerinde 72 m^2'lik dikdörtgen bir alanın "ana ölçüm alanı" olarak seçilmesine karar verilmiştir (Şekil 4.5). Daha sonraki aşamada üzerinde çalışılması düşünülen 72 m^2'lik alanın uzun ayak arınının neresinde seçileceği sorunu ile karşılaşılmıştır. Ayağın başı ve kuyruk tarafında tavan gerilmelerinin fazla olmasından dolayı ana ölçüm alanın bu bölgelere yakın yerlerde seçilmesinin uygun olmayacağı düşünülerek tavan gerilmelerinin hemen hemen düzenli bir dağılım göstereceği uzun ayak orta kesimi (Şekil 4.5), ana ölçüm bölgesi olarak seçilmiştir.



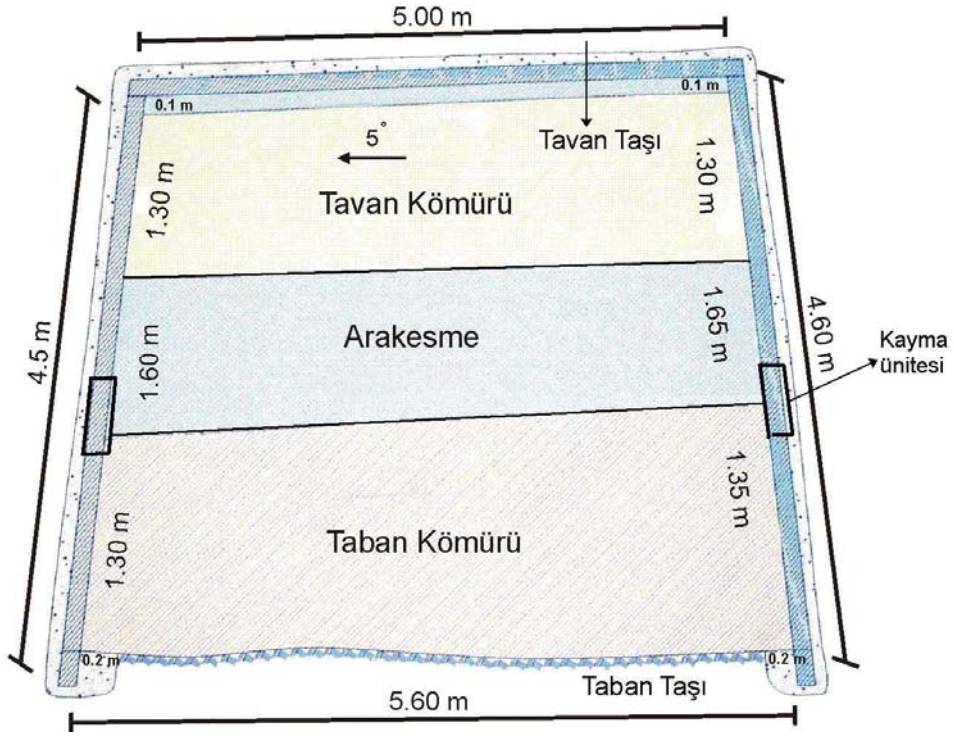
Şekil 4.5. Kömür kazı arınındaki ana ölçüm bölgesi.

4.5. Taban Yollarının Belirlenmesi

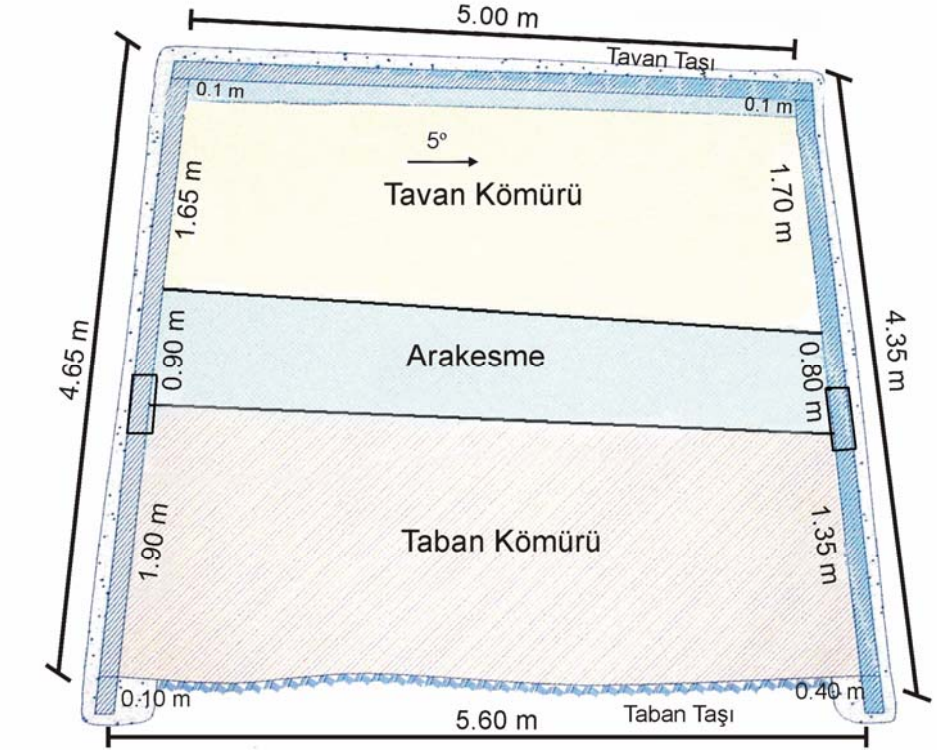
Hazırlık çalışmaları kapsamında panoların oluşturulmasında kullanılan taban yolları Dosco MK-2B kollu galeri açma makinası ile kazılmaktadır. Yapılan kazı çalışmaları kömür içerisinde gerçekleştirilmektedir. Ancak kömür içerisinde arakesme olarak nitelenen silttaşı da bulunduğundan dolayı bu kaya birimi de kömür ile beraber kazılmaktadır.

Bu tür çalışmaların, B ve C sektörlerinin hazırlık aşamasında olan panoların taban yollarında da yürütülmesi planlanmıştır. Bu taban yolları C1310, B810 kodlu taban yollarıdır. B08 ve C13 panosunun taban yollarının oluşturulması için 21–27 Temmuz 2006 tarihlerinde sürülmekte olan C1310 ve B810 kodlu galerilerin kesitleri Şekil 4.6 ve 4.7'de sunulmuştur.

Kollu galeri açma makinası ile açılan galeri açıklığının kesiti yaklaşık 26.5 m^2 olmaktadır. B810 ve C1310 galerilerinin kazı arınında kaya birimleri üstten alta doğru tavan taşı, tavan kömürü, arakesme, taban kömürü ve taban taşı olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4.6 ve 4.7).



Şekil 4.6. B08 panosunun B810 kodlu bacasının 21–27 Temmuz 2006 tarihlerindeki durumu.



Şekil 4.7. C13 panosunun C1310 kodlu bacasının 21-27 Temmuz 2006 tarihlerindeki durumu.

Bu doktora tez çalışmasında **k**ollu galeri açma makinası ile açılan hazırlık galerilerinin kazı arınında da yapılması planlanan ölçümler bulunduğundan ilgili galerilerin kazı arını "ana ölçüm alanı" olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9). Daha sonra, bu ölçüm alanı üç farklı kaya biriminden oluşmasından dolayı üç parçaya bölünmüştür. Böylelikle ana ölçüm alanı tavan kömürü, taban kömürü ve arakesme olarak adlandırılan üç alt bölüme ayrılmıştır. Çalışmaların yürütülmesi için hazırlanan bu alt ölçüm alanlarının boyutları B810 ve C1310 panolarında farklılık göstermektedir (Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Çizelge 4.3). Bu farklılığın nedeni B810 ve C1310 taban yollarındaki arakesmenin kalınlığının farklılıklar göstermesindendir.

Çizelge 4.3. B810 ve C1310 taban yollarındaki ölçüm alanlarına ait büyüklükler (18 Temmuz 2006)

Taban Yolu Kodu	Kaya Birimi	Alan (m^2)
B810	Tavan taşı	0.50
B810	Tavan kömürü	6.63
B810	Arakesme	8.62
B810	Taban kömürü	7.33
B810	Taban taşı	1.12
C1310	Tavan taşı	0.50
C1310	Tavan kömürü	8.55
C1310	Arakesme	4.48
C1310	Taban kömürü	8.77
C1310	Taban taşı	1.68



Şekil 4.8. Ana ölçüm alanı olarak seçilen B810 taban yolundaki galeri arını.



Şekil 4.9. Ana ölçüm alanı olarak seçilen C1310 taban yolundaki galeri arını.

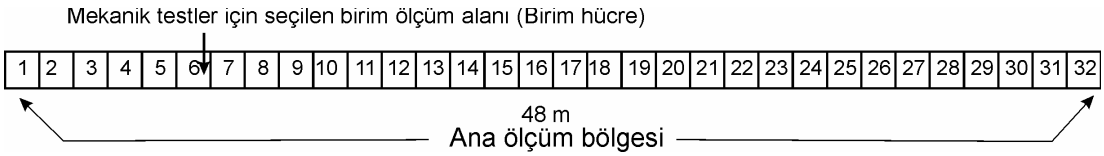
5. ARAZİDE GERÇEKLEŞTİRİLEN MEKANİK DENEYLER

5.1. Genel

Bu bölümde, arazide tamburlu kesici-yükleyici makinanın ve kollu galeri açma makinasının performans değerlendirmesinde kullanmak amacıyla arazide yapılan mekanik deneylerin sistematiği ve sonuçları sunulmuştur.

5.2. Ayak İçerisinde Mekanik Deney Sistematiğinin Belirlenmesi

Arazide ölçümlerin gerçekleştirileceği ölçüm bölgesinin yeri tespit edildikten sonra bu bölgenin mekanik özelliklerini belirlemek için yapılacak çalışmalara geçilmiştir. Ayak içerisindeki kömür arınının ortasında seçilen ve ana ölçüm bölgesi olarak isimlendirilen bölgenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi planlanmıştır. Damar kalınlığı 1.5 m olan arın içerisinde belirlenen 48 m uzunluğundaki bu bölgenin karşısında 32 adet yürüyen tahkimat ünitesi bulunmaktadır. Her tahkimat ünitesinin karşısına denk gelen 1.5x1.5 m boyutlarındaki her bölge, mekanik testler için birim hücre olarak seçilmiş ve Şekil 5.1'deki gibi adreslenmiştir.



Şekil 5.1. Mekanik testler için seçilen ana ölçüm bölgesi üzerinde belirlenen birim ölçüm hücreleri.

Kömür kazı arınının mekanik özelliklerini belirlemek için Schmidt sertliği deneyi, nokta yükleme dayanımı deneyi ve yoğunluk ve gözeneklilik deneylerinin yapılması planlanmıştır. Bu mekanik deneylerin seçilme nedeni, deneylerin arazide kolay bir şekilde uygulanabilmesi ve sık aralıklarla fazla miktarda deney yapılabilmesinin mümkün olmasıdır.

Ana ölçüm bölgesi üzerinde belirlenen birim hücre içerisinde, arazide planlanan mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Her bir birim hücre içerisinde kazı yapılmadan önce sırasıyla aşağıdaki çalışmalar yürütülmüştür.

1. Schmidt sertliği deneyi için birim hücre üzerinde ölçüm noktalarının belirlenmesi,
2. Belirlenen ölçüm noktalarında Schmidt çekici ile sertlik ölçümlerinin alınması,
3. Nokta yükleme dayanımı deneyi için kömür numunesinin alınması,
4. Yoğunluk ve gözeneklilik deneyleri için numunelerin alınması,
5. Kömür arınının o anki durumunu belirlemek için dijital fotoğraf makinası ile birim hücrelerin fotoğraflarının çekilmesi.

5.2.1. Schmidt sertliği ölçüm sistematiğinin belirlenmesi

İşletmenin üretim miktarını çok fazla etkilememek için kömür arını üzerinde yapılması planlanan Schmidt sertliği deneylerinin mümkün olduğunca kısa sürede bitirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Belirli bir zaman aralığında daha fazla ölçüm yapabilmek ve ölçüm hassasiyetinin fazla olması amacıyla deneylerde Şekil 5.2'de görülen L tipi dijital bir Schmidt çekicinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Bu çekicin ölçülen sertlik verilerini hafızasına kayıt ederek kolaylıkla bir bilgisayara aktarabilme özelliğinden dolayı ve ayrıca alınan ölçümlerin ortalamasını, standart sapmasını ekranda gösterebildiği için elektronik olmayan diğer Schmidt çekiçlerine göre üstünlükleri bulunmaktadır (Şekil 5.2).

Schmidt sertlik deneyinin uygulanmasında karşılaşılan problemler ve bulunan çözüm yolları aşağıda sunulmuştur.

5.2.1.1. Schmidt sertlik deneyi için yapılan önceki çalışmalar

Kayaların sertlikleri ve dayanımları aynı kaya birimi olsalar bile homojen olmayan yapılarından dolayı değişiklik gösterebilmektedir. Dolaylı deney yöntemlerinden olan ve geniş bir kullanım alanı bulunan Schmidt çekici için ISRM (1981) ve ASTM (2005) tarafından çeşitli deney metotları önerilmiştir. Çizelge 5.1'de en çok kullanılan bu iki standardın karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 5.2. Sertlik ölçümü deneylerinde kullanılan L tipi dijital Schmidt çekici.

Çizelge 5.1. ASTM (2005) ve ISRM (1981) standartlarının karşılaştırılması (Özkan ve Bilim, 2008)

Parametre	ISRM'nin Önerisi	ASTM'nin Önerisi
Çekiç tipi	L-tipi	Öneri yok
Örnek	Karot, blok ve arazide	Karot, blok ve arazide
Karot boyutu	NX veya daha büyük	NX veya daha büyük ve en az 15 cm uzunluğunda
Blok uzunluğu	6 cm	15 cm
Yerinde örnekleme	Öneri yok	En az 15 cm çapında düz bir test alanı
Test yüzeyi	Pürüzsüz-düz	Pürüzsüz-düz
Örnek tanımlama (özellikle arazide)	Kaya maddesinin aşağıya doğru kalınlığı 6 cm olmalı, kaya kütlesinde çatlak ve süreksizlikler olmamalı	Kaya maddesinin aşağıya doğru kalınlığı 6 cm olmalı, kaya kütlesinde çatlak ve süreksizlikler olmamalı
Uygulama aralığı	Öneri yok	σ_c=1-100 MPa Çok zayıf ve çok sert kayalar hariç
Test sayısı	Numune üzerindeki farklı noklardan 20 ölçüm	Numune üzerindeki farklı noktalardan 10 ölçüm
Hesaplama	Numune üzerinden alınan 20 okumanın içerisindeki en yüksek 10 okumanın ortalaması	10 okumanın ortalama değerinden 7 birim sapan değerleri çıkarılır ve kalanların ortalaması alınır
Sertlik değerlerinin düzeltilmesi	Düzeltme faktörü ile	Düzeltme faktörü ile

Schmidt çekicinin arazide nasıl kullanılacağı konusunda hem ISRM (1981) hem de ASTM (2005) tarafından yeterli bir bilgi verilmemiştir. Sadece test alanının düzgün olması ve test bölgesinin en az 15 cm çapında olması gerektiği konusunda ASTM (2005)'in tavsiyeleri bulunmaktadır. En düşük test alanının ne olması gerektiği belirtilmesine karşın en büyük test alanının ne olması gerektiği konusunda bir tavsiye bulunmamaktadır. Kaya kütlesi yüzeyinde seçilen deney alanının en büyük boyutunun ne olması gerektiği araştırmacılar tarafından tartışılmıştır. Ayrıca tartışılan diğer bir konu ise ASTM (2005) tarafından önerilen 15 cm'den daha büyük bir alan üzerinde uygulanacak deney sayısı konusundadır. Bir başka deyişle, 15 cm çapındaki bir alan için 10 okuma yeterli olurken, aynı deney sayısı daha büyük test alanları için yeterli olacak mı dır ?

Schmidt çekici testi ile ilgili yayınlanmış olan çalışmaların çoğu bozulmamış kayalardan küçük numuneler hazırlanmasına odaklanmıştır. Bu sebeple silindir ve blok kaya numuneleri için, en uygun test sayısı araştırmacılar tarafından belirlenebilmiştir (Çizelge 5.2). Geçmişten günümüze kadar Schmidt çekici testi için uygulanmakta olan test metotları kaya yüzeyindeki bir noktaya "tek vuruş" veya "sürekli vuruş" sistemini temel almışlardır (Çizelge 5.2). Schmidt çekici testinin güvenilirliği birçok araştırmacı tarafından karot veya sağlam blok numuneler üzerinde denenmiştir. Bu konu hakkında çalışan bazı araştırmacılar Schmidt sertliği deneyi ile tek eksenli basınç dayanımı arasında güçlü ilişkilerin olduğunu ifade etmişlerdir. Ancak, uzun ayak, bina kolonu, tünel yüzeyi gibi yerlerde Schmidt çekicinin uygulamasında hala bazı problemler bulunmaktadır. Schmidt çekicinin kaya yüzeylerinde uygulanması için en uygun test sayısının bilinmesi gerekmektedir. Kazıcı makinaların performanslarını tahmin etmek için kaya malzeme ve kütle özelliklerinden yararlanılmaktadır. Bir kazı yüzeyinin Schmidt sertliğine göre kazı performansı tahmin edilebilmektedir. Ancak Schmidt çekicinin arazide nasıl kullanılacağı konusunda yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Zayıf ve dayanıklı kaya özelliklerini Schmidt çekici ile belirleyerek, tavan duraylılığını karakterize edebilmek için çok az araştırmacı arazide Schmidt çekici deneyini kullanmıştır. Schmidt çekici değeri tek eksenli basınç dayanımı ve kayaç süreksizliklerinin belirlenmesinde iyi bir belirleyici olmaktadır (Young ve Fowel, 1978).

Çizelge 5.2. Uygulanmakta olan Schmidt test metotlarından bazıları (Özkan ve Bilim, 2008)

Yazar	Test Yöntemi
Hucka V (1965)	Tek bir noktada alınan 10 adet okumanın en büyük değeri alınır. Bu işlem üç farklı noktada tekrar edilir ve elde edilen en büyük üç değerin ortalaması alınır.
Deere D.U ve Miller R.P (1966)	NX boyutundaki bir karot üzerinde her seferinde 45º çevirerek üç ölçüm alınır. Hatalı okumalar çıkarıldıktan sonra 24 değerin ortalaması alınır.
Soiltest (1976)	Farklı noktalardan 15 ölçüm alınır ve bu değerler içerisindeki en büyük 10 değerin ortalaması alınır. Ortalama değerden maksimum sapma 2.5'den az olmalıdır.
Fowell R.J. ve McFeat Smith I (1976)	Tek bir noktada alınan 10 ölçüm içerisindeki en son alınan 5 değerin ortalaması alınır.
Young R.P ve Fowell R.J (1978)	Kaya kütlesi yüzeyi ızgaralara bölünür, her bir ızgaradan bir ölçüm alınarak, yapılan ölçümlerin ortalaması alınır.
ISRM (1981)	Farklı noktalardan toplam 20 adet ölçüm alınır ve bu değerler içerisindeki en büyük 10 değerin ortalaması alınır.
Kazi A ve Al-Mansour Z.R (1980)	En az 35 okuma alınır ve en küçük 10 okuma değeri iptal edilir. Geriye kalan 25 ölçümün okuması alınır.
Poole R.W ve Farmer I.W (1980)	Tek bir noktada uygulanan 5 ölçüm içerisinden en büyük ölçüm değeri seçilir. Bu ölçüm sistematiği farklı üç noktada tekrar edilir ve elde edilen en büyük üç değerin ortalaması alınır.
Matthews J.A ve Shakesby R.A (1984)	Herhangi bir numuneden 15 ölçüm alınır. Bu değerlerin ortalaması bulunur ve ortalamadan en çok sapan 5 değer çıkarılır.
Goktan R.M ve Ayday C (1993)	Farklı noktalarda 20 ölçüm alınır. Chauvenet's kriterine uymayan değerler çıkarıldıktan sonra geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.
USBR (1998)	Farklı noktalardan 10 okuma alınır. En küçük 5 okuma değeri iptal edilerek geriye kalan en büyük 5 değerin ortalaması alınır.
Katz, O ve ark. (2000)	32–40 arasında ölçüm alınır ve ölçüm sayısının yarısı kadar en büyük ölçümlerin ortalaması alınır.
Sumner P. ve Nel W. (2002)	Farklı noktalarda 15 ölçüm alınır ve en kötü 5 değer çıkarılarak geriye kalan 10 değerin ortalaması alınır.
GBG	Paralel kenar şeklindeki bir test alanında 12 okuma alınır. En yüksek ve en küçük değer çıkarılarak geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.
ASTM (2005)	Farklı noktalardan 10 ölçüm alınır ve ortalama değerden 7 birim sapan değerler çıkarılarak geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.

Bazı araştırmacılar Schmidt çekici değeri ile kollu galeri açma makinası ve TBM'nin kesme oranları ve maden tavan sınıflandırması arasında güçlü ilişkiler bulmuşlardır (Kidybinski, 1968; Howarth ve ark., 1986; Bilgin ve ark., 1996; Bilgin ve ark., 2002; Göktan ve Güneş, 2005). Fakat en uygun test sayısını belirlemeye yönelik araştırmalar hem az hem de yetersizdir.

Bu çalışmanın başlangıcında, Schmidt çekicinin arazide kullanımı konusunda önemli bir problem ile karşılaşılmıştır. Karşılaşılan ana problem kaya yüzeyinde seçilmiş olan bir test alanında bu deneyin nasıl uygulanacağı olmuştur. Diğer bir deyişle, kaç tane Schmidt test değeri yeterli olacak ve yeraltında seçilen arazi test

yüzeyi için ölçüm sistematiği nasıl yapılacaktır. Bu amaçla, bu sorunların üstesinden gelinmesi için bir ön çalışmanın yapılmasının uygun olacağı düşünülmüş ve bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

5.2.1.2. Arında gerçekleştirilecek deney sayısının belirlenmesi

Schmidt çekici ile alınacak ölçümlerin kaç tanesinin yeterli olacağını kestirmek zordur. Bu yüzden ana ölçüm bölgesi olarak belirlenen kömür arınının sertliğini Schmidt çekici kullanarak belirleme çalışmalarına başlamadan önce bir ön çalışmanın yapılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bu sorunu çözmek için yapılan literatür çalışmaları sonucunda da yeterli bir bilgiye ulaşılamamıştır. Sonuç olarak Schmidt çekicinin arazide büyük bir alanda nasıl uygulanması gerektiği ve kaç ölçümün yeterli olacağı konusunda yeterli bir bilgi bulunmamaktadır. Ayrıca ISRM ve ASTM'de Schmidt çekici ile arazide yapılacak ölçümler hakkında yeterli bir bilgi vermemiştir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için bir ön çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir. Bu ön çalışma, kömür arını üzerinde seçilen 6 m^2'lik bir alanda yapılmıştır. Seçilen bu alanda 45 adet ölçüm alınmasına karar verilmiştir. Fakat alınması planlanan bu ölçüm miktarının yeterli olup olmadığına karar verilememiştir. Bu şartlar altında araştırmaya devam etmek için 6 m^2'lik ölçüm alanı 45 ölçüm sayısına bölünerek her bir alt ölçüm bölgesinin temsil edilebileceği alan olan 0.133 m^2 sayısı elde edilmiştir. Elde edilen bu her bir alanda tek bir ölçüm uygulanmıştır. Böylece, belirlenen ölçüm alanında, 45 adet Schmidt sertliği deneyi sistematik bir şekilde uygulanmıştır. Burada elde edilen sertlik değerleri 15–60 arasında değişirken ortalama sertlik ise 33.6 olarak bulunmuştur.

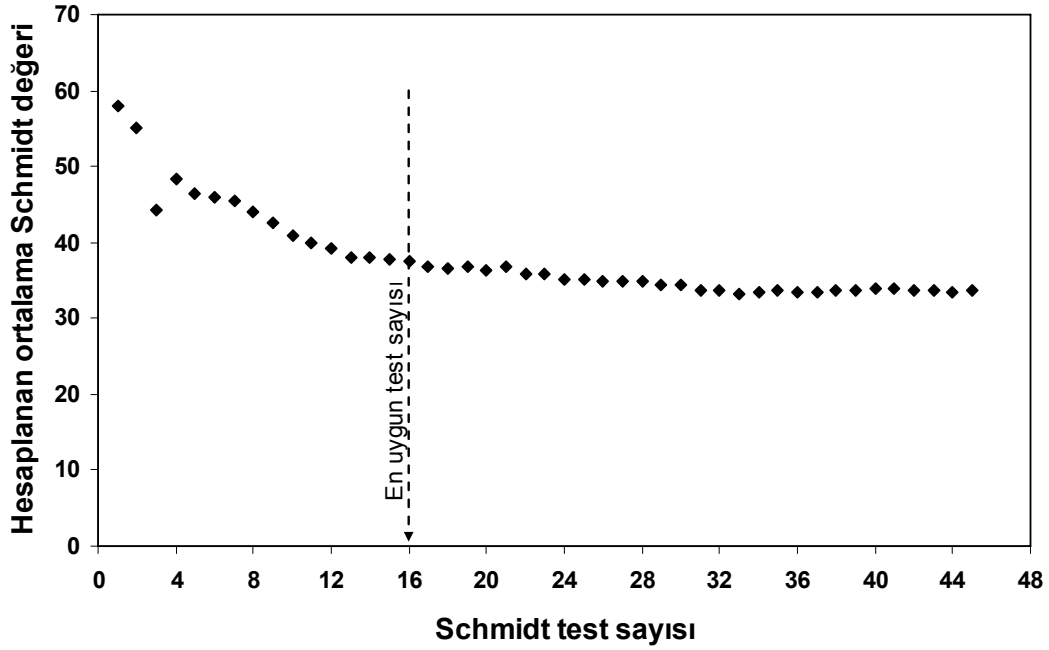
Deneylerden sonra ölçüm alanından elde edilen sonuçlar detaylı olarak analiz edilmiştir. Ölçümler Çizelge 5.3'de görüldüğü gibi hesaplanmaya tabii tutulduktan sonra Çizelge 5.3'de belirtildiği gibi hesaplanan veriler sayesinde Şekil 5.3'deki grafik oluşturulmuştur. Grafiksel analiz sonucu eğrinin dönüm noktasına denk gelen 16 adet Schmidt çekici deneyinin bu bölgenin sertlik değerinin belirlenmesi için yeterli bir miktar olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle, geriye kalan 29 Schmidt çekici değeri, hesaplanan ortalama Schmidt çekici değerini ve onun standart sapmasını önemli bir miktarda değiştirmeyecektir. Sonuçta, 6 m^2'lik bir alanının

sertlik değerini karakterize edebilmek için 16 adet ölçümün yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sebeple, 6 m^2'lik alan 16 adet ölçüm sayısına bölünerek tek bir ölçümün temsil edileceği alan olan 0.375 m^2 sayısına ulaşılmıştır. Yapılan bu ön araştırma sonucunda; arındaki sertlik değerlerini belirlemek amacıyla yapılacak Schmidt sertliği deneylerinde arındaki en küçük birim alanın 0.375 m^2 alınmasının yeterli olacağı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.3. Arazide Schmidt çekici kullanımı için ölçülen verilerin değerlendirilmesi yöntemi (Özkan ve Bilim, 2008).

İşlem Sayısı	Test alanları (A_i)	Test alanları, A_i (m^2)	Sertlik değerleri (N_i)	Ortalama sertlik değerleri (N)
1	a_1	0.133	N_1	N_1
2	a_1+a_2	0.266	N_1,N_2	$[N_1+N_2]/2$
3	$a_1+a_2+a_3$	0.399	N_1,N_2,N_3	$[N_1+N_2+N_3]/3$
4	$a_1+a_2+a_3+a_4$	0.532	N_1,N_2,N_3,N_4	$[N_1+N_2+N_3+N_4]/4$
.	.	.	.	.
45	$a_1+a_2+a_3+a_4\ldots a_{45}$	6	$N_1,N_2,N_3,N_4,\ldots,N_{192}$	$[N_1+N_2+N_3+N_{4+\ldots+}N_{192}]/45$

ai: Tek Schmidt sertliği deneyinin temsil ettiği alan, Ni=Her bir test alanından elde edilen Schmidt sertliği değeri, $Ai = \sum_{i=0}^{n} a_i$



Şekil 5.3. En uygun deney sayısını belirlemek amacıyla yapılan ön çalışmanın değerlendirmesi (Özkan ve Bilim, 2008).

5.2.1.3. Arında zamana bağlı Schmidt sertlik değerlerindeki değişimin belirlenmesi

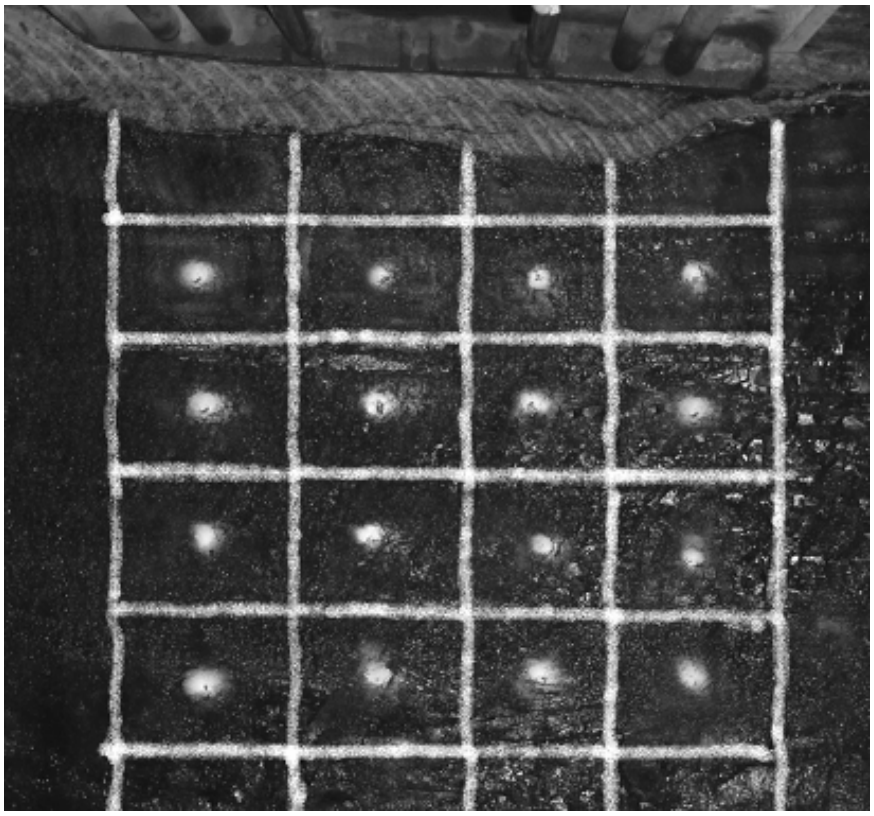
Kömür arınında zamana bağlı olarak Schmidt serlik değerlerinin nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla B sektörünün çalışmakta olan B06 panosunun taban ayak arınında deneylerin yapılmasına karar verilmiştir. B06 panosunun taban uzun ayak arınında uygulanması planlanan çalışmalar, 16 Şubat 2005 ve 23 Ağustos 2005 tarihlerinde taban ayak arınında hazırlanan ölçüm alanlarında (Şekil 5.4) gerçekleştirilmiştir. Ölçümler tamburlu kesici yükleyici uzun ayak arınını kazdıktan hemen sonra yapılmıştır.

Kömür arınındaki ölçüm alanının genişliği bir yürüyen tahkimatın genişliği (1.5 m) kadar, yüksekliği ise kömür damarının kalınlığı (1.5 m) kadar seçilmiştir. Böylelikle 2.25 m^2 büyüklüğünde oluşturulan bir kömür arınında sertlik deneylerinin yapılması planlanmıştır. Seçilen bu alanda Schmidt sertliği deneylerinin düzgün bir şekilde uygulanabilmesi için kömür arını tamburlu kesici ile kesilmiş ve hemen deneylere geçilmiştir. Ayrıca Schmidt sertlik deneyi için gerekli düzgünlükte olmayan deney noktaları ISRM (1981) ve ASTM (2005)'e göre düzeltilmiştir.

Schmidt sertliği deneyleri için kömür üzerinde düzgün bir şekilde hazırlanmış olan ölçüm alanı, Schmidt çekici ölçümleri için sprey boya kullanılarak 0.14 m^2 alana sahip ızgaralara bölünmüştür. Daha sonra her bir ızgaranın ortası ölçüm noktası olarak belirlenmiştir. Şekil 5.4'de görüldüğü gibi ölçüm arını üzerinde toplam 16 adet ölçüm noktası oluşturulmuştur. Bu çalışmada yürüyen tahkimat yardımıyla tavan basıncı okumaları ve Schmidt sertlik ölçümleri zamana bağlı olarak eş zamanlı yapılmıştır.

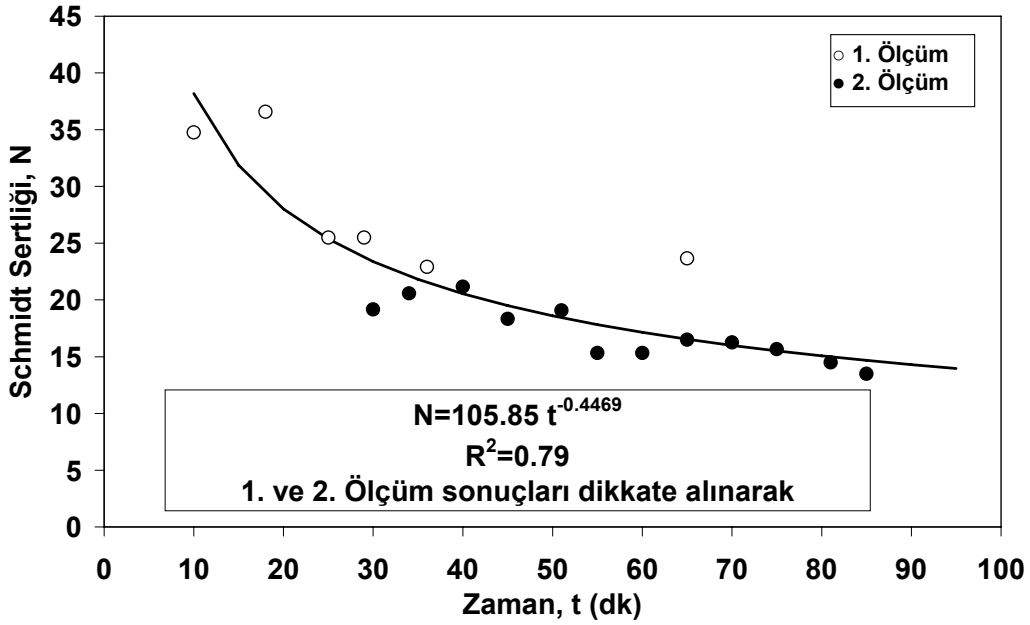
Kömür arını üzerinde oluşturulan 1.5x1.5 boyutlarındaki ölçüm alanı üzerinde belirlenen 16 adet ölçüm noktasında (Şekil 5.4) zamana bağlı Schmidt sertliği deneyi gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 0.14 m^2 alana sahip her bir ölçüm noktasına birer adet vuruş uygulanmıştır. Bu şekilde bir seri ölçüm (16 adet ölçüm) yaklaşık 5–10 dakika zaman aralığında yapılmıştır. Böylece arın üzerinden yaklaşık 70–90 dakika boyunca 16 Şubat 2006 tarihinde toplam 112 adet ve 23 Ağustos 2006 tarihinde ise toplam 192 adet arın sertlik değeri elde edilmiştir. Hazırlanan veri tabanı kullanılarak her bir ölçüm aralığında okunan 16 okumanın ortalaması alınmış ve böylece ilgili ölçüm zamanını temsil eden bir Schmidt sertlik değeri elde edilmiştir.

Sonuçta, kömür arınındaki kömürün zamana bağlı olarak sertlik değerinin azaldığı belirlenmiştir (Şekil 5.5). Arının sertlik değeri düşerken arında yaklaşık 30–45 cm kalınlığında ölçüm alanını kapsayan büyük bir kavlağın yavaş yavaş oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 5.6). bu kavlağın düşüşü sonrasında arındaki ana kütlenin sertlik değeri yine zamana bağlı olarak tekrar azalmakta ve tekrar kavlak oluşmaktadır. Bu durum sonra yine tekrarlanmaktadır.

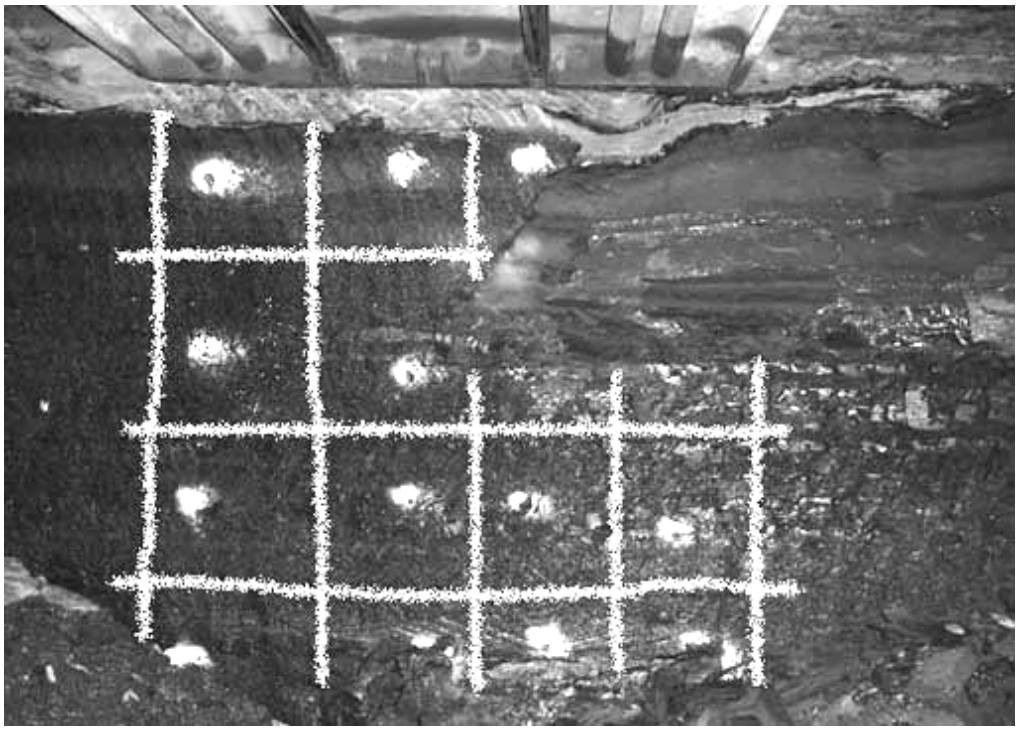


Şekil 5.4. Kömür arınının zamana bağlı olarak Schmidt sertlik değerlerindeki değişiminin izlendiği deney alanı (Bilim ve Özkan, 2007).

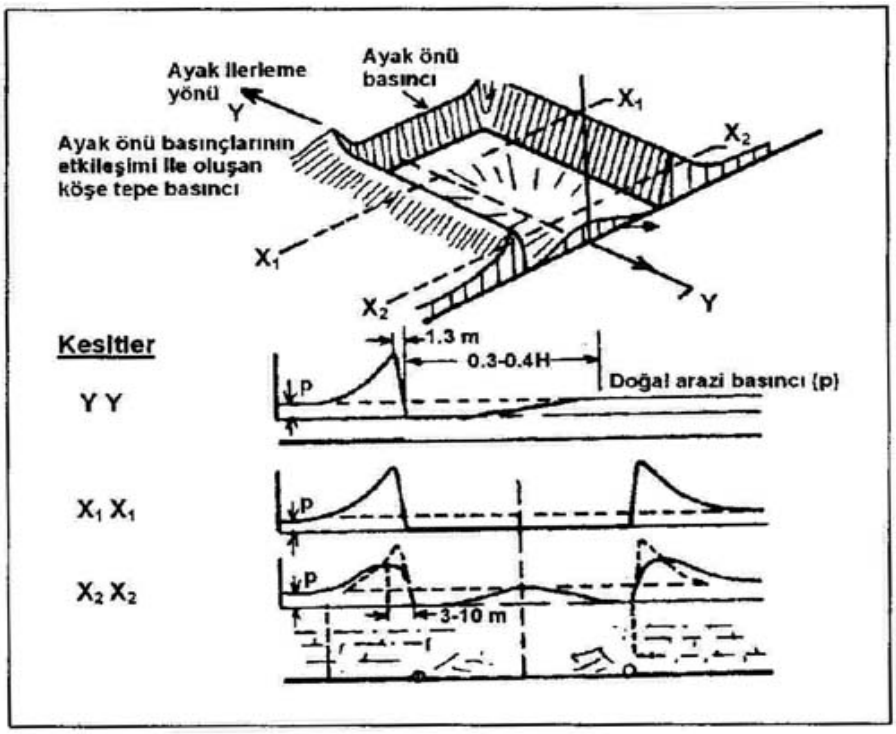
Sonuçta, kömür arını üzerinde ölçülen Schmidt sertliği değerinin zamanla azaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla kömürün dayanımı da düşmektedir. Tavan basıncı ile oluşan bu durum kazının nispeten kolay yapılmasına imkân vermektedir. Uzun ayak işletme metodunun uygulandığı yerlerde tavan basıncı etkisinin nasıl olduğu Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi ayak başı ve ayak sonlarında tavan basıncı yüksek olurken ayak ortasına gelindikçe azaldığı ve daha düzenli olduğu ifade edilmektedir.



Şekil 5.5. Kömür arını üzerindeki Schmidt sertliğinin zamana bağlı olarak değişimi (Bilim ve Özkan, 2007).



Şekil 5.6. Tavan basıncı nedeniyle kömür arını üzerinde zaman içerisinde kavlakların oluşması ve oluşan bu kavlakların koparak düşmesi.



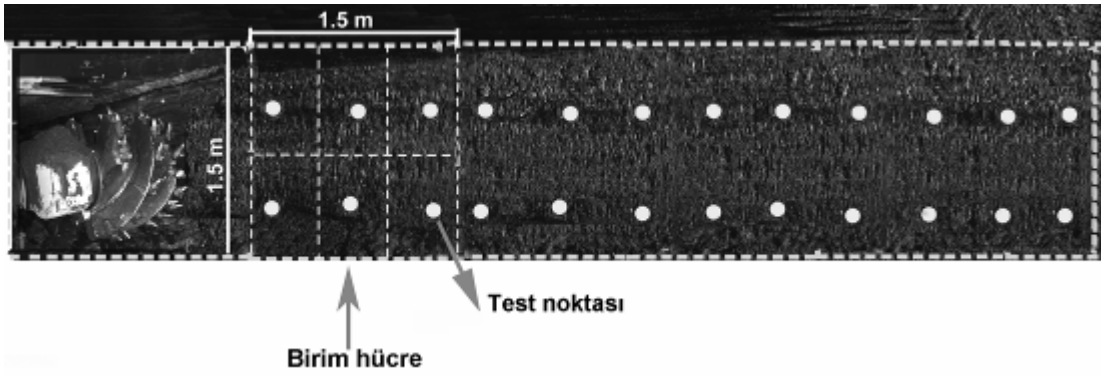
Şekil 5.7. Uzun ayak civarında, kömür damarı üzerindeki düşey gerilme dağılımları (Whittaker, 1974).

5.2.1.4. Schmidt sertlik deneyleri için arının hazırlanması

Ölçüm için seçilecek deney alanı için yeterli olan Schmidt deneyi sayısı belirlendikten sonra, ne kadar büyüklükte bir alanda tek bir deneyin yapılacağı hesaplanmıştır. Böylece tek bir Schmidt deneyinin 0.375 m^2'lik alanda yapılmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Buradan elde edilen bilgiler arazide uygulanacak olan Schmidt deneyleri için bir ön adım oluşturulmuştur.

Kömür arını üzerinde 0.375 m^2'lik bir alanda bir tane Schmidt deneyinin yapılmasının yeterli olacağı belirlendikten sonra birim hücrenin alanı yani 2.25 m^2'lik alan 0.375 m^2 sayısına bölünerek birim hücre içerisinde kaç tane ölçümün yapılması gerektiği hesaplandı. Böylece, birim hücre içerisinde 6 adet Schmidt sertliği deneyinin yapılması gerektiği belirlenmiştir (Şekil 5.8). Daha sonra arın üzerinde seçilen ana ölçüm alanında ölçüm yapılacak noktalar sprey boya ile belirlenmiştir (Şekil 5.8 ve 5.9). böylece arının tam orta bölgesinde seçilen 48 m uzunluğundaki ana ölçüm bölgesi (Şekil 5.1) önce 2.25 m^2 alanlı birim hücrelere

(toplam 32 adet) daha sonra ise bu alanlarda 0.375 m^2'lik alanlara bölünerek toplam 192 adet ölçüm noktası hazırlanmıştır (Şekil 5.8 ve 5.9).



Şekil 5.8. Mekanik testler için belirlenen birim hücre içinde Schmidt sertliği ölçümlerinin uygulanışı.



Şekil 5.9. Birim hücre olarak belirlenen bölgede Schmidt sertliği deneyi için hücrelerin hazırlanışı.

5.2.2. Nokta yükleme dayanımı deney sistematiğinin belirlenmesi

Kömür arının üzerinde belirlenen ana ölçüm bölgesinde oluşturulan 32 birim hücre içerisinden parça şeklinde numuneler alınarak bu numuneler üzerinde nokta yükleme dayanımı deneyleri (NYD) gerçekleştirilmiştir. Nokta yükleme deneyinin

yapılabilmesi için her bir birim hücre içerisinden ortalama 3 adet numune alınmıştır. Kömür arını üzerinden alınan numuneler, doğal nemlerini korumaları için numune torbalarına konulmuştur. 32 birim hücre içerisinden alınan numuneler ayrı ayrı numune torbalarına konularak numunelerin birbirleriyle karışması engellenmiştir (Şekil 5.10). Ayak içerisinden toplanan numuneler, araziye götürülen nokta yükleme deney aleti yardımıyla test edilmişlerdir.



Şekil 5.10. Birim hücre olarak belirlenen bölgede nokta yükleme dayanımı deneyi için alınan numunelerin numune torbalarına konulması.

5.2.3. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sistematiğinin belirlenmesi

Nokta yükleme dayanımı deneyinde olduğu gibi ana ölçüm alanında oluşturulan her birim hücreden toplanan numuneler üzerinde yoğunluk belirleme deneylerinin yapılmasına karar verilmiştir. 32 adet olarak belirlenen birim hücrelerin her birisi için ortalama 2 tane yoğunluk belirleme deneyi yapılmıştır. Deneylerin işletmede yapılması için gereken laboratuar olanağının olmaması nedeniyle numuneler, Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuarına getirilerek deneyler burada gerçekleştirilmiştir. Numunelerin araziden laboratuara getirilirken doğal nemlerini korumaları için her biri numune poşetlerine konulmuş, hava ve ışık almayan bir ortamda laboratuara ulaşması sağlanmıştır (Şekil 5.10).

5.2.4. Ölçüm arınının fotoğraflanarak arşivlenmesi

Kömür arını üzerinde belirlenen 32 birim hücrenin ayrı ayrı dijital olarak fotoğrafları çekilmiştir. Kömür arınının o anki durumunu belirlemek ve geriye dönük analizlerin yapılabilmesinin sağlanması amacıyla kömür arınının fotoğrafları çekilmiştir.

5.3. B06 ve B08 Pano Arınında Gerçekleştirilen Mekanik Deneyler

B06 ve B08 panolarında gerçekleştirilmiş olan mekanik deneylerin uygulama koşulları her iki pano içinde aynı olmuştur. Her iki panodaki deneysel çalışmalar 14 kez tekrar edilmiştir.

5.3.1. Schmidt sertliği belirleme deneyleri

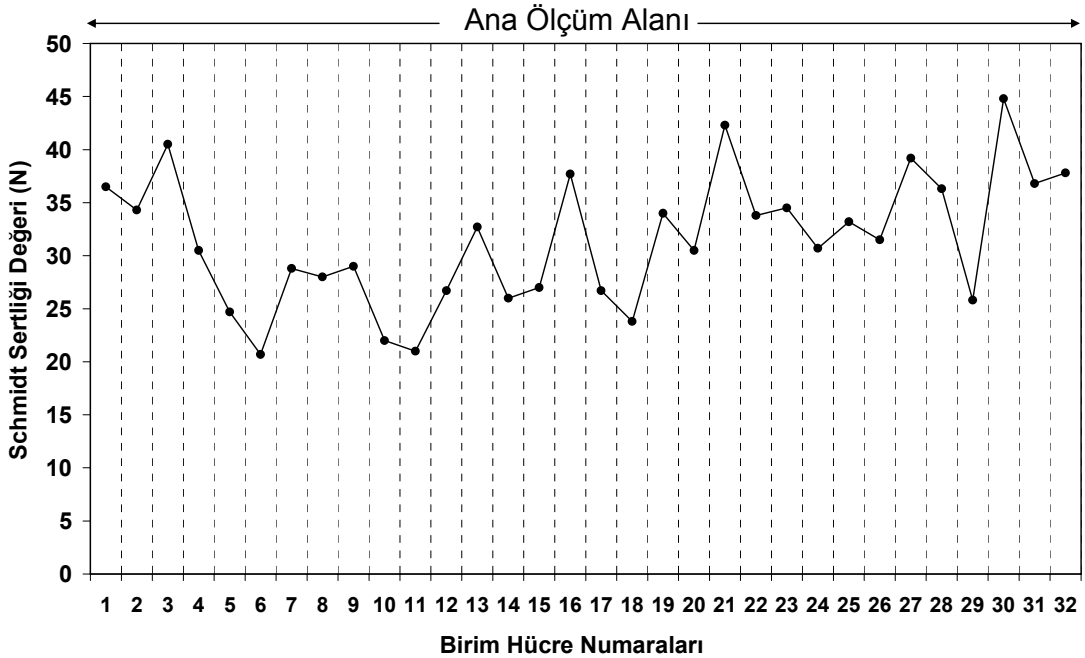
Kömür arını üzerinde belirlenmiş olan 32 adet birim hücre içerisinde daha önceden belirlenen alanlarda Schmidt sertliği deneyi yapılmıştır (Şekil 5.11). Böylece "ana ölçüm bölgesi" olarak belirlenmiş olan her uzun ayak arını bölgesinde toplam 192 adet Schmidt sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. İlgili ölçümler bu tez çalışmasında çalışma farklı zamanlarda, B06 ve B08 panolarında bulunan uzun ayak arınlarında 14 defa tekrarlanarak toplam 2733 adet Schmidt sertliği ölçümü alınmıştır. Daha sonra her bir birim ölçüm alanında gerçekleştirilen 6 adet Schmidt sertlik ölçümünün ortalaması hesaplanmıştır. Böylece elde edilen sonuçlara göre çizilen grafiklerden elde edilen tipik iki örnek Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'de görülmektedir. Ana ölçüm alanı olarak belirlenen alan (72 m^2) (Şekil 4.5) birim ölçüm alanlarına bölünmüştür (Şekil 5.1). Aynı zamanda Bölüm 7'de anlatıldığı nedenlerden dolayı 48 m'lik bu ana ölüm alanı, her biri bir tamburlu kesici uzunluğuna (12 m) eşit dört bölgeye bölünmüştür (48 m^2) (Şekil 7.7). Sonuç olarak çalışmanın gerçekleştirildiği zamanlar ve ortalama sertlik değerleri bu dikkate alınarak Çizelge 5.4'de sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Schmidt sertliği deneylerinin yapıldığı zamanlar ve ortalama sertlik değerleri.

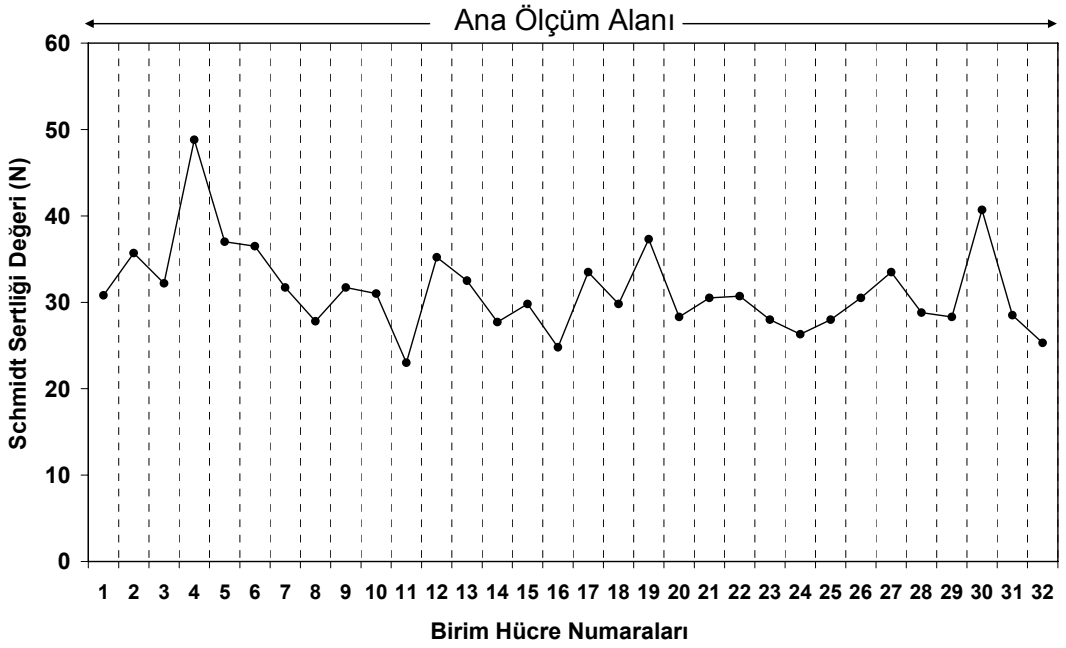
Tarih	Pano-Ayak adı	Ana ölçüm alanı, (m^2)	Schmidt sertlik değeri	Schmidt sertliği deneyi sayısı
10 Şubat 2005 (Ön hazırlık)	B06-Taban Ayak	6	33.6±10.31	45
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	18	30.59±4.47	48
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	18	35.66±6.11	48
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	18	37.30±3.49	48
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	18	31.09±4.49	48
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	18	34.18±7.75	48
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	18	31.81±10.53	48
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	18	35.26±9.86	48
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	18	31.35±7.33	48
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	18	35.79±6.24	48
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	18	33.76±7.80	48
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	18	29.14±7.95	48
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	18	28.60±4.20	48
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	18	36.65±5.05	48
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	18	31.96±3.40	48
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	18	34.28±4.77	48
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	18	35.03±7.82	48
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	18	34.33±4.94	48
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	18	30.98±3.54	48
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	18	32.50±4.21	48
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	18	33.35±3.49	48
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	18	30.50±6.43	48
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	18	27.76±5.46	48
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	18	32.04±5.59	48
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	18	35.68±5.64	48
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	18	33.24±4.20	48
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	18	30.90±3.06	48
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	18	30.06±3.81	48
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	18	30.04±4.49	48
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	30.38±6.01	48
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	30.06±4.59	48
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	32.51±4.78	48
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	28.64±5.75	48
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	30.43±7.74	48
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	28.79±5.34	48
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	28.09±6.35	48
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	30.28±6.99	48
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	27.70±4.71	48
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	29.76±4.33	48
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	29.73±4.49	48
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	28.83±4.37	48
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08-Tavan Ayak	18	29.68±2.87	48
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08-Tavan Ayak	18	30.39±6.95	48
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08-Tavan Ayak	18	30.05±4.79	48
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08-Tavan Ayak	18	32.56±5.19	48
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08-Tavan Ayak	18	30.79±6.97	48
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08-Tavan Ayak	18	31.44±6.35	48
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08-Tavan Ayak	18	32.99±6.44	48
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08-Tavan Ayak	18	29.53±3.94	48
20 Temmuz 2006	B08-Taban Ayak	18	35.06±6.38	48
20 Temmuz 2006	B08-Taban Ayak	18	29.46±4.07	48
20 Temmuz 2006	B08-Taban Ayak	18	30.55±3.47	48
20 Temmuz 2006	B08-Taban Ayak	18	30.45±4.75	48
25 Temmuz 2006	B08-Taban Ayak	18	28.59±3.90	48
25 Temmuz 2006	B08-Taban Ayak	18	24.08±3.59	48
25 Temmuz 2006	B08-Taban Ayak	18	23.48±1.59	48
25 Temmuz 2006	B08-Taban Ayak	18	27.48±3.85	48



Şekil 5.11. Birim hücre olarak belirlenen bölgede yapılan Schmidt sertliği deneyleri.



Şekil 5.12. B06 panosunda kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan Schmidt sertliği ölçümlerinin ana ölçüm alanı boyunca görünüşü (5 Mayıs 2005).



Şekil 5.13. B08 panosunda kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan Schmidt sertliği deneyinin ana ölçüm alanı boyunca görünüşü (20 Temmuz2006).

Kömür arınında belirlenen ana ölçüm alanı üzerinde yapılan Schmidt sertlik değerleri içerisinde sertlik değeri en yüksek bulunduğu tarih 15 Şubat 2005 olurken en düşük değerin ölçüldüğü tarih ise 25 Temmuz 2006'dır. Yapılan ölçümlerin hepsinin genel ortalaması ise 31.22'dir.

5.3.2. Nokta yükleme dayanımı deneyleri

B06 ve B08 panolarında uygulanan nokta yükleme dayanımı deneyleri kazı arını üzerinde belirlenen 32 birim hücreden parça şeklinde düzensiz numuneler alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.14). Bu işlem farklı tarihlerde yapılan her kazı öncesinde tekrarlanarak toplam 1035 adet nokta yükleme dayanımı deneyi yapılmıştır (Çizelge 5.5). Yapılan deneylerin bazılarının geçersiz olmasından dolayı deney sayıları birbirinden farklı olmuştur (Çizelge 5.5). Burada görülen deney sayıları ISRM (1981)'in geçerli gördüğü şartların sağlanabildiği deney sayılarını ifade etmektedir. Deney sonuçlarına göre en düşük nokta yükleme dayanımı (0.3 MPa) 16 Şubat 2005 en yüksek dayanım ise (1.29 MPa) 23 Ağustos 2006 tarihli deneyler ile elde edilmiştir. B06 ve B08 panosuna ait ortalama nota yükleme dayanımları sırasıyla 0.65 MPa ve 0.66 MPa olduğu belirlenmiştir.

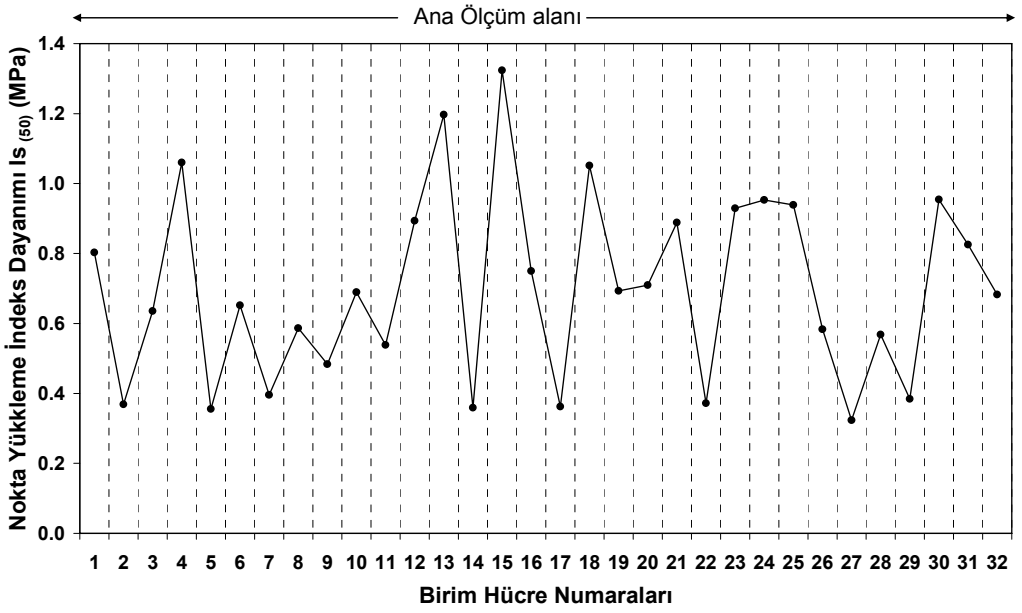
Çizelge 5.5. Arazide gerçekleştirilen nokta yükleme dayanımı deney sonuçları

Tarih	Pano-ayak adı	Deney sayısı	Nokta Yükleme Dayanımı Değeri, $Is_{(50)}$, (MPa)
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	23	0.61±0.33
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	18	0.63±0.20
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	30	0.50±0.16
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	25	0.59±0.14
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	14	0.36±0.13
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	15	0.30±0.14
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	10	0.36±0.22
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	12	0.50±0.30
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	13	0.49±0.18
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	14	0.50±0.09
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	11	0.53±0.14
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	10	0.58±0.34
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	16	0.61±0.35
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	11	0.69±0.42
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	10	0.63±0.30
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	13	0.58±0.22
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	13	0.33±0.07
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	15	0.45±0.14
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	12	0.47±0.06
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	14	0.53±0.16
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	23	0.66±0.21
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	20	0.74±0.23
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	20	0.78±0.33
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	22	0.61±0.22
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	23	0.49±0.06
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	23	0.73±0.36
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	27	0.49±0.17
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	22	0.52±0.28
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	15	1.29±0.62
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	15	0.91±0.62
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	14	0.74±0.44
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	13	0.98±0.52
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	19	0.90±0.44
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	11	0.76±0.37
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	17	0.85±0.26
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	12	0.80±0.32
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	16	0.85±0.18
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	14	0.85±0.33
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	18	0.98±0.73
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	15	0.81±0.28
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B06-Tavan Ayak	23	0.68±0.31
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B06-Tavan Ayak	19	0.57±0.10
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B06-Tavan Ayak	24	0.66±0.33
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B06-Tavan Ayak	20	0.40±0.11
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B06-Tavan Ayak	28	0.77±0.42
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B06-Tavan Ayak	27	0.87±0.37
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B06-Tavan Ayak	21	0.95±0.56
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B06-Tavan Ayak	25	0.65±0.28
20 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	21	0.66±0.17
20 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	26	0.65±0.15
20 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	24	0.83±0.19
20 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	30	0.73±0.17
25 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	20	0.50±0.11
25 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	24	0.52±0.11
25 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	24	0.49±0.09
25 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	21	0.63±0.21

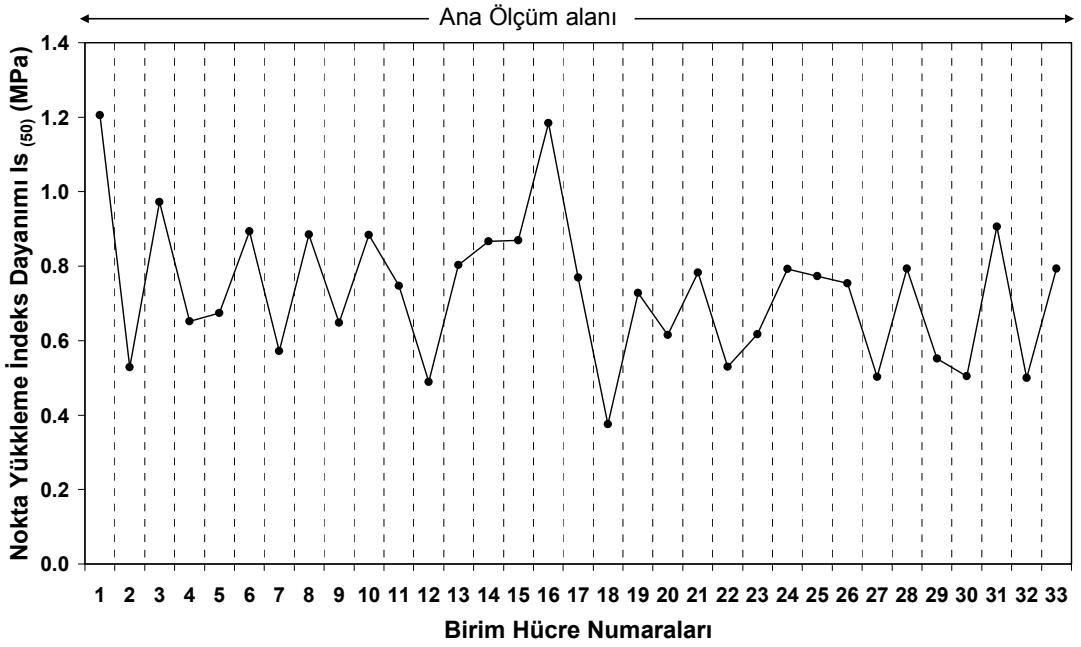


Şekil 5.14. Kömür arınında toplanan numuneler üzerinde nokta yükleme dayanımı deneylerinin gerçekleştirilmesi.

5 Mayıs 2005 ve 20 Temmuz 2006 tarihinde kömür arını üzerinden alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen nokta yükleme dayanımı deneyinin ana ölçüm bölgesi boyunca dağılımı Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da görülmektedir. Grafikler üzerinde belirtilen her bir nokta, her bir birim hücre içerisinden alınarak deneye tabi tutulan numunelere ait deney sonuçlarının ortalamasını yansıtmaktadır.



Şekil 5.15. B06 panosu kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan nokta yükleme dayanımı değerlerinin ana ölçüm alanı boyunca dağılımı (5 Mayıs 2005).



Şekil 5.16. B08 panosu kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan nokta yükleme dayanımı değerlerinin ana ölçüm alanı boyunca dağılımı (20 Temmuz 2006).

5.3.3. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyleri

B06 ve B08 pano arınlarından belirtilen sistematik dahilinde toplanan şekilsiz numuneler üzerinde yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Farklı tarihlerde hazırlanan pano arınlarından toplanan bu numuneler doğal nemlerini muhafaza etmeleri sağlanacak şekilde Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuarına getirilerek deneyler burada gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.17). Doğal yoğunlukların belirlenmesi amacıyla laboratuara getirilen numuneler düzensiz şekilli numunelerden oluşmaktadır. Bu sebeple numunelerin Bulk hacimleri Buoyancy metoduna göre hesaplanmış ve daha sonra doğal yoğunlukları ve gözeneklilikleri belirlenmiştir.

Araziden getirilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Çizelge 5.6'da topluca sunulmuştur. Burada sunulan sonuçlar Şekil 7.7 dikkate alınarak verilmiştir. Çizelge 5.6'ya göre B06 ve B08 panolarının genel ortalama yoğunluk değerleri sırasıyla 1.49 gr/cm^3 ve 1.42 gr/cm^3 iken etkili porozite değerlerinin sırasıyla % 3.16 ve % 9.45 olduğu belirlenmiştir.

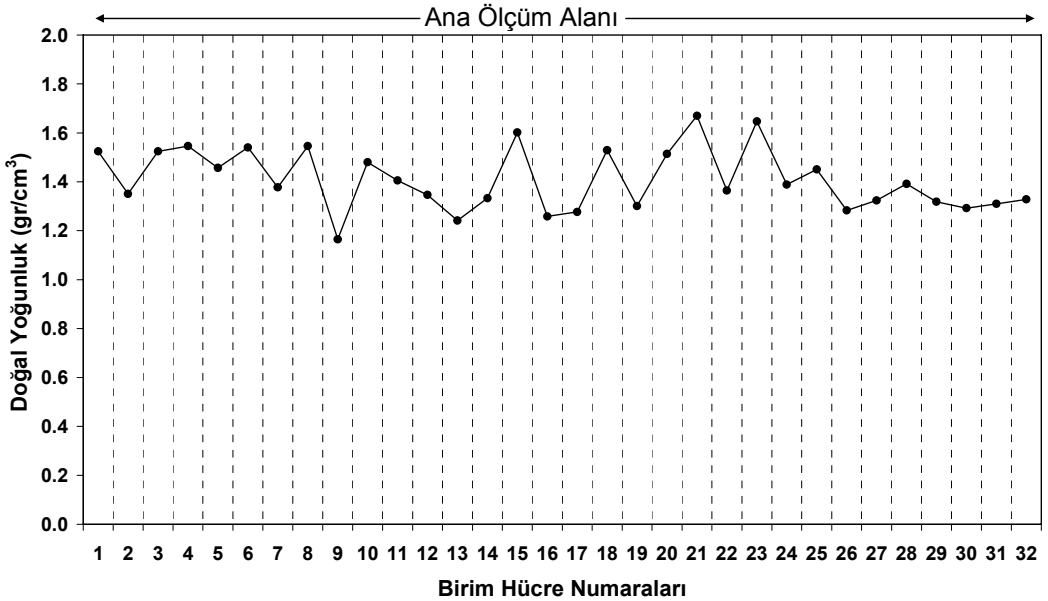
Çizelge 5.6. Laboratuarda yapılan doğal yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sonuçları

Tarih	Pano-Ayak adı	Deney sayısı	Etkili Porozite (%)	Doğal Yoğunluk Değeri (gr/cm^3)
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	12	6.54±2.51	1.58±0.46
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	12	6.16±3.06	1.53±0.11
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	14	6.72±3.25	1.25±0.22
15 Şubat 2005	B06-Taban Ayak	10	5.31±3.90	1.45±0.21
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	14	3.26±1.29	1.49±0.18
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	14	3.38±1.62	1.44±0.20
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	11	3.94±0.91	1.38±0.08
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	10	2.71±0.99	1.45±0.07
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	13	5.41±3.60	1.45±0.18
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	12	4.51±3.02	1.48±0.23
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	13	3.17±1.34	1.63±0.17
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	10	3.17±1.15	1.43±0.14
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	12	4.16±1.13	1.49±0.19
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	11	4.24±2.29	1.47±0.17
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	11	3.68±1.34	1.46±0.18
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06-Taban Ayak	8	4.13±1.28	1.44±0.15
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	15	4.75±2.01	1.43±0.50
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	10	3.91±2.47	1.54±0.39
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	12	3.05±2.25	1.72±0.65
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06-Taban Ayak	10	3.39±1.36	1.33±0.29
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	13	1.89±1.35	1.48±0.08
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	9	2.33±1.52	1.35±0.14
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	8	2.90±1.97	1.55±0.36
5 Mayıs 2005	B06-Tavan Ayak	7	1.42±0.80	1.34±0.06
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	6	2.19±0.65	1.39±0.16
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	7	3.19±1.53	1.58±0.12
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	10	2.94±1.37	1.52±0.24
6 Mayıs 2005	B06-Taban Ayak	9	3.40±1.05	1.39±0.16
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	10	1.74±0.52	1.67±0.23
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	12	1.47±0.73	1.61±0.24
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	11	1.55±0.89	1.48±0.10
23 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	9	1.31±0.53	1.54±0.16
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	13	1.97±0.76	1.54±0.20
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	15	2.91±1.34	1.52±0.15
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	13	1.74±0.80	1.46±0.13
24 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	13	2.67±0.99	1.55±0.19
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	14	0.88±0.65	1.65±0.17
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	13	0.86±0.32	1.57±0.20
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	15	1.74±0.78	1.59±0.16
25 Ağustos 2005	B06-Taban Ayak	17	1.59±0.88	1.53±0.11
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B06-Tavan Ayak	14	11.95±2.42	1.34±0.17
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B06-Tavan Ayak	13	12.93±5.11	1.37±0.11
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B06-Tavan Ayak	18	9.45±3.54	1.34±0.04
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B06-Tavan Ayak	15	9.09±3.78	1.31±0.06
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B06-Tavan Ayak	14	12.86±3.27	1.45±0.20
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B06-Tavan Ayak	17	12.70±4.51	1.45±0.24
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B06-Tavan Ayak	15	11.29±5.25	1.56±0.12
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B06-Tavan Ayak	12	10.57±4.37	1.39±0.25
20 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	18	6.24±2.38	1.46±0.12
20 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	14	7.26±3.28	1.32±0.07
20 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	16	8.90±2.97	1.43±0.13
20 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	16	7.45±3.56	1.47±0.21
25 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	19	7.30±1.66	1.41±0.07
25 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	13	8.49±2.21	1.38±0.20
25 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	16	8.46±2.83	1.38±0.11
25 Temmuz 2006	B06-Taban Ayak	14	6.28±2.08	1.60±0.19

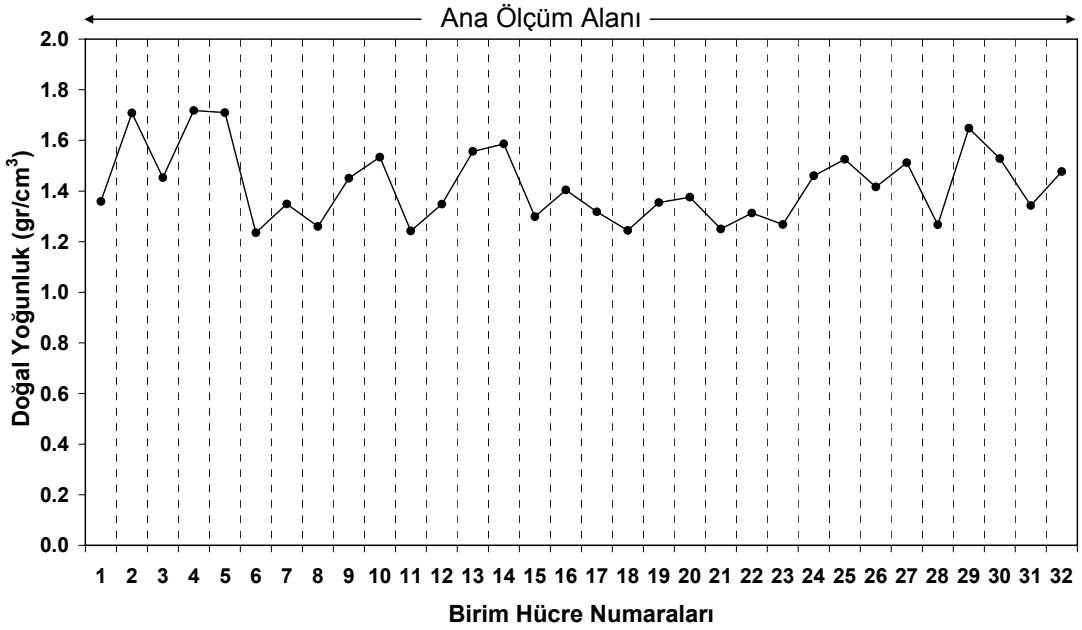


Şekil 5.17. Laboratuarda yoğunluk belirleme deneyinin gerçekleştirmesi.

Tipik olarak 20 Temmuz 2006 tarihinde ana ölçüm bölgesinden toplanan numuneler üzerinde gerçekleştirilen yoğunluk belirleme deneyinin ölçüm bölgesi boyunca dağılımı Şekil 5.18 ve 5.19'da sunulmuştur.



Şekil 5.18. B06 panosunun kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan yoğunluk deneyi sonuçlarının ana ölçüm alanı boyunca görünüşü (5 Mayıs 2005).



Şekil 5.19. B08 panosunun kömür arını üzerinde belirlenen birim hücrelerde yapılan yoğunluk deney sonuçlarının ana ölçüm alanı boyunca görünüşü (20 Temmuz 2006).

5.3.4. Arşiv için arının fotoğraflanması

B08 ve B06 pano arınları üzerinde belirlenen ana ölçüm bölgeleri üzerinde oluşturulan 32 adet birim hücrenin her birinin fotoğrafları çekilerek arşivlenmiştir. Farklı tarihlerdeki 14 faklı kazı arınının her birinde bu işlem tekrarlanmıştır. Bu kazı arınları içinden tipik olarak seçilen 6 Mayıs 2006 tarihindeki kazı arınının kazı öncesi durumunu gösteren fotoğraflar Şekil 5.20a, b, c, d, e ve f'de sunulmuştur. Şekil 5.20'de sunulan fotoğraflar Şekil 5.1'de sunulan sırada arka arkaya sıralanmıştır.



(1) (2) (3)



(4) (5) (6)

Şekil 5.20a. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 1-6 bölgelerinin resimleri.



(7)



(8)



(9)



(10)



(11)



(12)

Şekil 5.20b. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 7–12 bölgelerinin resimleri.



(13)



(14)



(15)



(16)



(17)



(18)

Şekil 5.20c. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 13–18 bölgelerinin resimleri.



(19)



(20)



(21)



(22)



(23)



(24)

Şekil 5.20d. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 19–24 bölgelerinin resimleri.


(25)


(26)


(27)


(28)


(29)


(30)

Şekil 5.20e. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 25–30 bölgelerinin resimleri.




(31) (32)

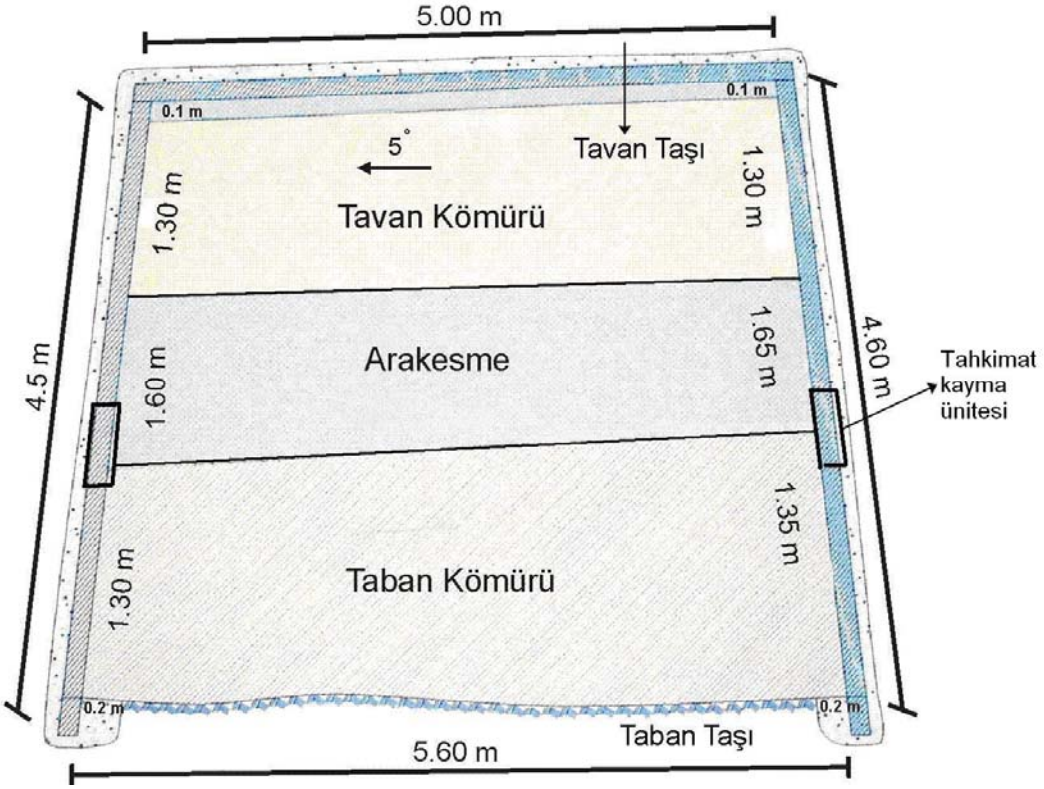
Şekil 5.20f. 5 Mayıs 2006 tarihinde kömür arını üzerinde birim hücre olarak isimlendirilen 31–32 bölgelerinin resimleri.

5.4. Taban Yolları İçerisinde Mekanik Deney Sistematiğinin Belirlenmesi

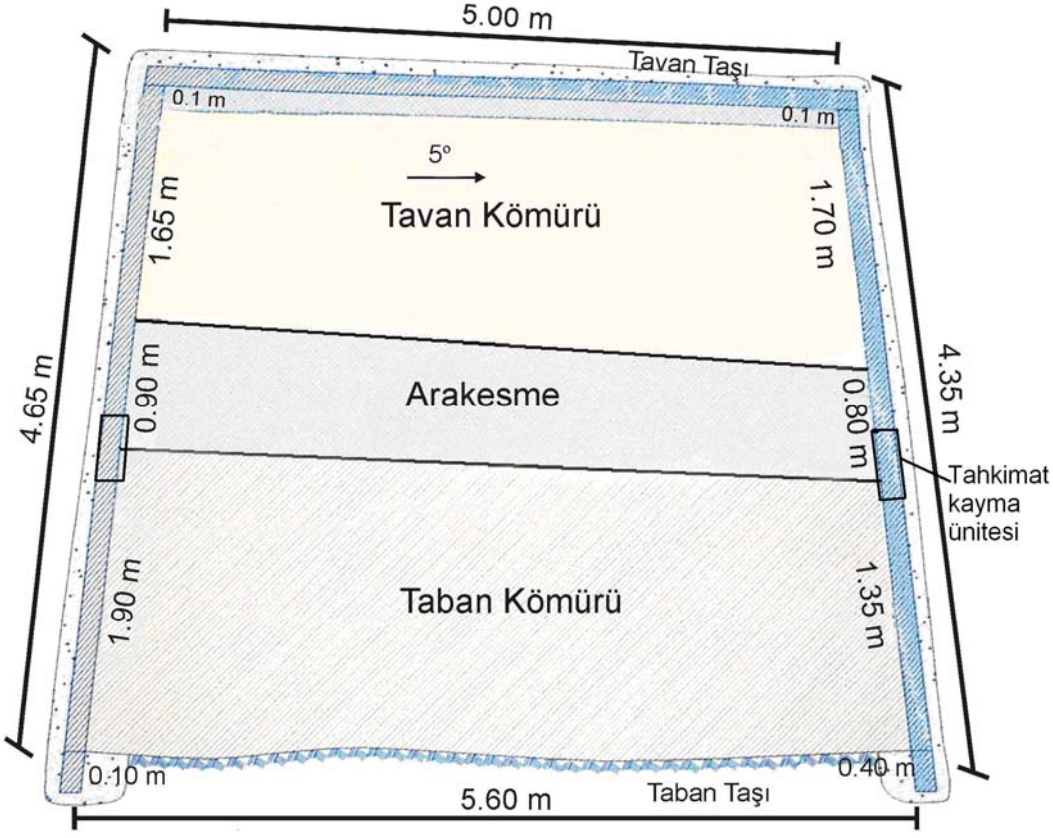
Taban yollarında ayak içerisindeki çalışmalara benzer bir çalışmanın gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu çalışmalar, B810 ve C1310 taban yollarında yapılmıştır. Taban yollarının galeri arınlarında yürütülmesi planlanan çalışmalara başlamadan önce galeri arını üç parçaya bölünmüştür. Çünkü galeri arınındaki kömür galeriyi hemen hemen yatay eksende ikiye bölen bir arakesme ile ayrılmaktadır. Arakesmenin üstünde kalan kömür, tavan kömürü olarak, altında kalan kömür ise taban kömürü olarak adlandırılmaktadır. Galeri arınında bu tip farklı yapıların olmasından dolayı temel olarak galeri arını tavan kömürü, taban kömürü ve arakesme olarak üç bölüme ayrılmıştır (Şekil 5.21 ve 5.22). Galeri arınında gerçekleştirilen mekanik deneyler aşağıda sunulmuştur.

5.4.1. Schmidt sertliği belirleme deneyleri için deney sistematiği

Schmidt sertliği belirleme deneyleri tavan kömürü, taban kömürü ve arakesme olarak üç parçaya bölünen galeri arınların da gerçekleştirmiştir. Uzun ayak kazı arınlarında gerçekleştirilen Schmidt sertliği deneyleri için uygulanan sistematik burada da uygulanmıştır. Uzun ayak kazı arını için yapılan çalışmalarda 0.375 m^2'lik bir alanda tek bir Schmidt sertliği deneyinin yeterli olacağı bulunmuştur. Bu sebeple galeri arınındaki her 0.375 m^2'lik alanda tek bir Schmidt sertliği deneyi yapılmıştır.



Şekil 5.21. B810 bacasının tipik bir şekli.



Şekil 5.22. C1310 bacasının tipik bir şekli.

Deneylerin düzgün bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için galeri arını üzerinde düzgün bir şekilde hazırlanmış olan ölçüm alanı, 0.375 m^2'lik alana sahip ızgaralara bölünmüştür. Daha sonra her bir ızgaranın ortasından tek bir ölçüm noktası belirlenmiştir. Izgara şeklinde bölünen galeri arınındaki her ızgaranın ortasından bir adet sertlik değeri alınacak şekilde Schmidt sertliği deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.23). Galeri arının üzerinde gerçekleştirilen deneyler yardımıyla elde edilen sonuçlar her bir kaya birimi için ayrı ayrı sınıflandırılmıştır.



Şekil 5.23. Taban yollarında gerçekleştirilen Schmidt sertliği ölçümleri.

5.4.2. Nokta yükleme dayanımı deney sistematiği

Galeri arını üzerinde belirlenmiş olan tavan kömürü, taban kömürü ve arakesme birimlerinin her birinden sistematik olarak nokta yükleme deneyi için numuneler alınmıştır. Alınan bu numuneler doğal nemlerini kaybetmelerini engellemek için numune torbalarına konulmuştur. Galeri arınından alınan bu numuneler ocak içerisinden çıkarılarak, nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

5.4.3. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sistematiği

Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneylerini gerçekleştirebilmek için galeri arınından numuneler alınmıştır. Burada da diğer deneyler gibi numuneler galerin arını üzerindeki üç farklı kaya biriminden de alınmıştır. Alınan bu numunelerin doğal nemlerini muhafaza etmelerini sağlamak için numune torbalarına konulmuştur. Bu numuneler Selçuk Üniversitesi-Maden Mühendisliği laboratuarlarına getirilerek yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneylerine tabi tutulmuştur.

5.5. B810 ve C1310 Taban Yollarında Gerçekleştirilen Mekanik Deneyler

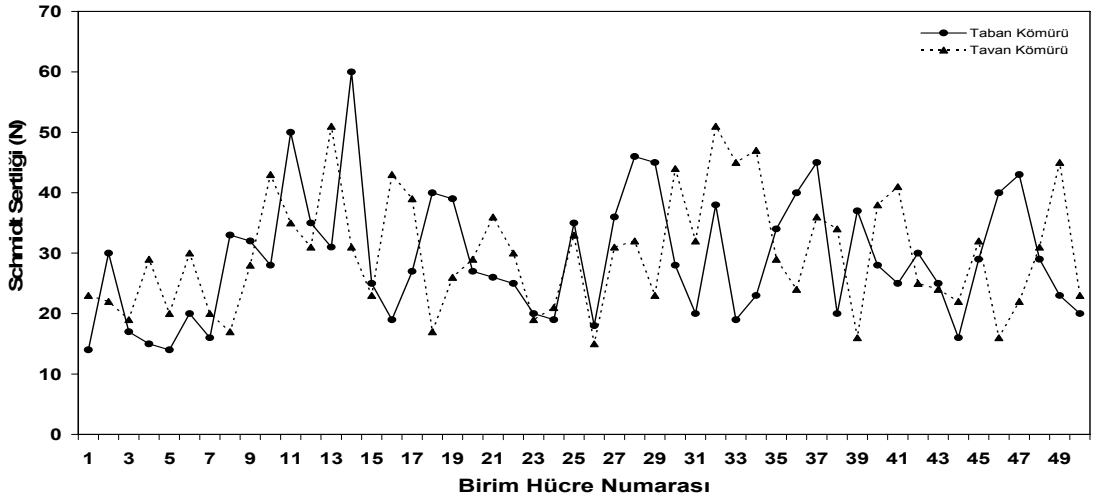
B810 ve C1310 taban yollarında gerçekleştirilmiş olan mekanik deneylerin uygulama koşulları her iki taban yolu içinde aynı olmuştur. Her iki taban yolunda galeri yüksekliği pek fazla değişim göstermemesinden dolayı her iki taban yolunda da yapılan mekanik deneylerin sistematikleri aynı alınmıştır.

5.6.1. Schmidt sertliği belirleme deneyleri

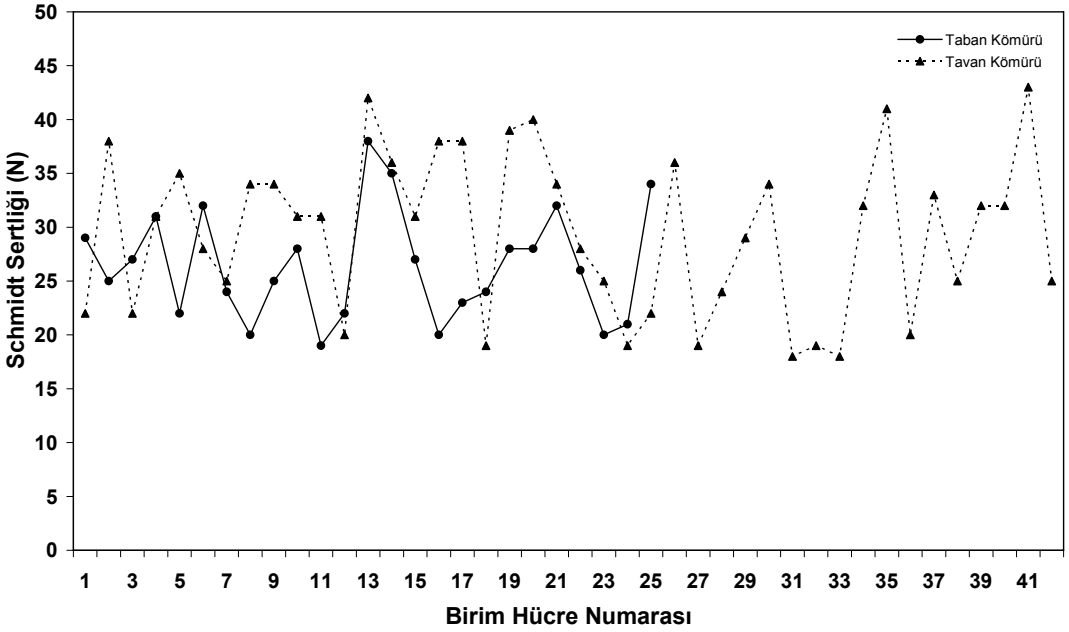
Farklı tarihlerde ve farklı taban yollarında gerçekleştirilen Schmidt sertliği deneylerinin sonuçları Çizelge 5.7'de sunulmuştur. Çizelgeden de görüldüğü gibi en yüksek Schmidt sertlik değeri 22 Temmuz 2006'da C1310 bacasında taban kömüründe yapılan ölçümde elde edilmiştir. En küçük sertlik değeri ise 26 Temmuz 2006'da B810 bacasında arakesme üzerinde yapılan ölçümlerde elde edilmiştir. Arakesme üzerinde sertlik değerinin bu şekilde küçük çıkmasının sebebi, arakesmenin yüzeyinin yeraltı sularının etkisi ile yumuşamasından kaynaklanmıştır. B810 ve C1310 taban yolları arınındaki alansal sertlik dağılımı kömür birimi için Şekil 5.24 ve 5.25'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Taban yollarında uygulanan Schmidt sertliği belirleme deneyleri

Ölçüm Tarihi	Taban yolu	Ölçülen malzeme	Deney Alanı, (m^2)	Deney sayısı	Schmidt değeri
21 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	6.69	50	29.9±9.6
21 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	7.19	50	29.1±10.4
21 Temmuz 2006	B810	Arakesme	8.67	42	20.2±5.2
21 Temmuz 2006	B810	Tavan taşı	0.25	45	24.8±10.7
26 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	6.69	41	25.4±8.5
26 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	7.19	33	27.5±8.8
26 Temmuz 2006	B810	Arakesme	8.67	20	18.7±6.3
26 Temmuz 2006	B810	Tavan taşı	0.50	7	18.6±4.6
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	8.55	26	30.2±9.6
22 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	8.83	25	34.3±10.9
22 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	4.60	21	20.3±4.9
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan taşı	0.50	14	22.4±4.8
22 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	1.23	8	26.0±5.2
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	8.66	42	29.6±7.5
27 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	8.68	25	26.4±5.2
27 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	4.55	22	21.9±2.6
27 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	1.23	6	19.7±2.7
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan taşı	0.25	6	22.3±3.2



Şekil 5.24. B810 tavan ve taban kömürü üzerinde gerçekleştirilen Schmidt sertliği deneyinin galeri arını boyunca dağılımı (21 Temmuz 2006).



Şekil 5.25. C1310 tavan ve taban kömürü üzerinde gerçekleştirilen Schmidt sertliği deney sonuçlarının galeri arını boyunca dağılımı (27 Temmuz 2006).

5.6.2. Nokta yükleme dayanımı belirleme deneyleri

Farklı tarihlerde ve iki farklı taban yolunda gerçekleştirilen nokta yükleme dayanımı deneylerinin sonuçları Çizelge 5.8'de sunulmuştur. Çizelgeden de görüldüğü gibi en yüksek nokta yükleme dayanımı değeri 22 Temmuz 2006'da ölçülen taban taşında elde edilirken en düşük değer ise 21 Temmuz 2006'da ölçülen arakesme numunelerinden elde edilmiştir.

Çizelge 5.8. Taban yollarında uygulanan nokta yükleme dayanımı deney sonuçları

Ölçüm Tarihi	Taban yolu	Ölçülen malzeme	Deney Alanı, (m^2)	Deney sayısı	Nokta yükleme dayanımı değeri, $Is_{(50)}$ (MPa)
21 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	6.69	10	0.52±0.23
21 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	7.19	7	0.82±0.35
21 Temmuz 2006	B810	Arakesme	8.67	6	0.22±0.17
26 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	6.69	13	0.52±0.41
26 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	7.19	10	0.66±0.16
26 Temmuz 2006	B810	Arakesme	8.67	6	0.69±0.22
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	8.55	7	0.44±0.20
22 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	4.60	5	0.69±0.55
22 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	8.83	7	0.40±0.09
22 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	1.12	8	3.34±1.98
22 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	4.60	7	0.64±0.18
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	8.66	8	0.43±0.12
27 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	8.68	9	0.31±0.12

5.6.3. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyleri

Dört faklı tarihte ve iki farklı taban yolunda gerçekleştirilen yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneylerinin sonuçları Çizelge 5.9'da görülmektedir. En yüksek yoğunluk değeri 22 Temmuz 2006'da ölçülen taban taşında elde edilirken, en düşük yoğunluk değerinin 27 Temmuz 2006'da ölçülen taban kömüründe ölçüldüğü Çizelge 5.9'da görülmektedir. Gözeneklilik yapısı ise kömür birimleri için hemen hemen aynı iken (%5.05-7.64), arakesme kaya birimlerinde bu değerin yüksek (%12.14 ve %12.69) buna karşın taban taşı kaya biriminde düşük olduğu (%1.64) Çizelge 5.9'dan görülmektedir.

Çizelge 5.9. Taban yollarında uygulanan doğal yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sonuçları

Ölçüm Tarihi	Taban yolu	Ölçülen malzeme	Deney Alanı, (m^2)	Deney sayısı	Doğal Yoğunluk (gr/cm^3)	Gözeneklilik (%)
21 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	6.69	8	1.51±0.07	4.62±0.88
21 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	7.19	7	1.58±0.23	5.05±1.07
26 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	6.69	5	1.31±0.05	7.64±2.63
26 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	7.19	8	1.45±0.19	5.59±2.12
26 Temmuz 2006	B810	Arakesme	8.67	5	1.31±0.06	12.69±1.13
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	8.55	6	1.34±0.17	7.20±1.20
22 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	8.83	6	1.29±0.05	6.96±2.68
22 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	1.12	10	2.16±0.11	1.64±1.13
22 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	4.60	10	1.92±0.08	12.14±5.38
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	8.66	8	1.41±0.06	7.04±1.14
27 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	8.68	9	1.28±0.06	7.37±1.18

6. LABORATUARDA GERÇEKLEŞTİRİLEN MEKANİK DENEYLER

6.1. Genel

Bu bölümde, tez çalışmasının laboratuarda yürütülen kısmı hakkında bilgiler verilmektedir. Çayırhan yeraltı linyit madeninden Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuarına getirilen kömür ve arakesme numuneleri üzerinde yapılan mekanik testler ve sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

6.2. Numunelerin Temini

Çayırhan yeraltı linyit işletmesinde yürütülen arazi çalışmalarına paralel laboratuar çalışmalarının yürütülmesi planlanmıştır. Laboratuarda mekanik deneylerin gerçekleştirilmesi amacıyla kömür numunelerinin hazırlık çalışmalarının yürütüldüğü taban yollarından ve ayak arınından alınması ve Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm laboratuarına getirilmesi planlanmıştır. Uzun ayak içerisindeki taze kömür arını üzerinden karot numunelerin alınmasına karar verilmiştir. Bu iş için portatif bir karot alma makinasından faydalanılmıştır (Şekil 6.1a ve 6.1.b). Şekil 6.2'de kömür arınındaki bir karot deliği görülmektedir. Fakat kömür içerisindeki doğal süreksizlikler ve tavan basıncının kömür içerisinde düşey çatlaklar oluşturması sebebiyle 54 mm (NX) çapında alınan karot numunelerinin boyları yapılması planlanan mekanik testler için yeterli olmamıştır. Ayrıca karot alımı esnasında kömür tozlarının karotiyere yapışması karot alma işini zor ve zahmetli bir hale getirmiştir. Portatif karot alma makinası ile yerinden karot alma çalışmaları zaman alıcı, zor ve verimi düşük olduğu için kömür arınından blokların çıkarılmasının daha uygun olacağına karar verilmiştir.



(6.1a)



(6.1b)

Şekil 6.1. Kömür arını üzerinde gerçekleştirilen tipik karot alma çalışmaları.



Şekil 6.2. Karot alınmış kömür yüzeyi.

6.2.1. Uzun ayak arınından blok temini

Üretim yapılan B06 ve B08 pano arınlarından blok şeklinde numune alınmasına öncelikle karar verilmiştir. Ancak ayak arını üzerinde oluşan tavan basıncı zamanla artmakta olduğu ve sonuçta yaklaşık 20-25 cm kalınlığında düşey kavlakların oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 6.3). Bu kalınlıkta alınacak bir kömür bloğundan laboratuarda karot alma makinası ile ISRM (1981) standartlarına göre tek eksenli basınç ve deformabilite deneyleri için NX karotların alınamayacağı anlaşılmıştır. Bu söz konusu kavlakların düşürülmesinden sonra arından blok alımının zor ve çok zaman alıcı olacağı için ocak yönetimi buradan blok alımına sıcak bakmamıştır. Böylece arazi gerilmelerinin daha az etkin olduğu taban yollarından blok numunelerin alınmasına karar verilmiştir. Taban yollarından numune alma çalışmaları aşağıdaki bölümde sunulmuştur.



Şekil 6.3. Tavan basıncı nedeniyle arında oluşan kavlaklanmalar.

6.2.2. B810 ve C1310 taban yollarından blok alımı

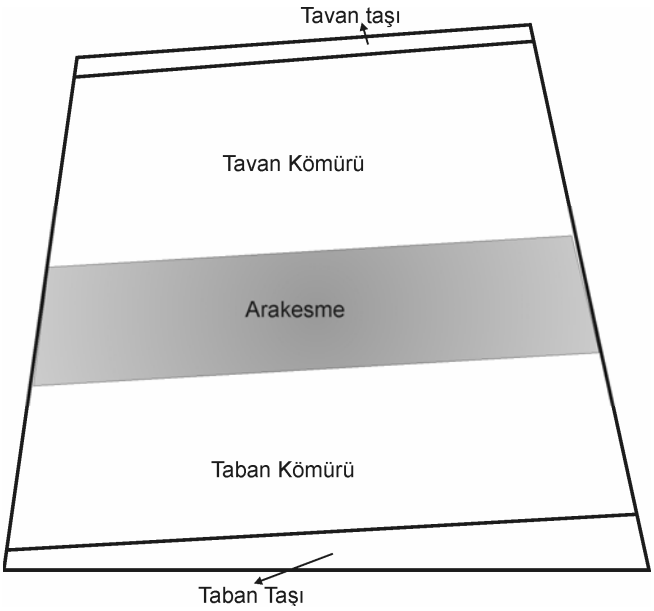
Laboratuarda mekanik deneyleri gerçekleştirebilmek için hazırlık çalışmaları çerçevesinde sürülen B810 ve C1310 taban yollarındaki kömür ve arakesmeden blok numunelerin alınması planlanmıştır. B810 ve C1310 taban yollarının galeri arınlarından blok şeklinde numunelerin alınarak bunların ocak içerisinden çıkarılması ve laboratuara nakledilmesi programlanmıştır. Ayak içerisinde oluşan tavan basıncının taban yolu arınınında oluşan tavan basıncına nazaran fazla olması sebebiyle kömür zamanla düşey yönde çatlayarak kavlaklanırken (Şekil 6.3) benzer durum taban yollarındaki galeri arınlarında oluşan tavan basıncının düşük olmasından dolayı nispeten daha az görüldüğü tespit edilmiştir. Fakat yine de belli bir zaman geçtikten sonra tavan basıncına maruz kalan arın kömürü içerisinde azda olsa süreksizliklerin oluştuğu bilinmektedir. Bu nedenle taze kömür arınından blok numune alımı gerçekleştirilmiştir.

Çayırhan yeraltı kömür ocağında üretim panolarının hazırlanması amacıyla hazırlık servisi tarafından gerçekleştirilen taban yolunun sürülmesi, Dosco Mk2B

marka tek kollu galeri açma makinası ile yapılmaktadır (Şekil 6.4). Galeri arınından numune alma işlemine geçilmeden önce arın galeri açma makinası ile bir kez taranarak taze arın yüzeyi hazırlanmıştır. Sürülen galeri arınında tavan ve taban kömürü arasında konumlanan arakesme (silttaşı) izlenmektedir. Bunların haricinde tavan kömürü üzerinde tavan taşı ve taban kömürü altında taban taşı da galeri arınında izlenmekle birlikte kesilen tavan ve taban taşının yükseklikleri yaklaşık 10–20 cm'dir. Galeri arınının genel cephe görünüşü Şekil 6.5'de sunulmuştur. Taze arından blok alımı sadece tavan kömürü, arakesme ve taban kömüründen gerçekleştirilmiştir. Arından blok çıkarılmasında galeri açma makinasından faydalanılmıştır. B810 ve C1310 taban yolu arınlarında blok alımı için gerçekleştirilen çalışmalar sırasıyla aşağıda sunulmuştur.



Şekil 6.4. Taban yollarının açılmasında kullanılan Dosco Mk2B kollu galeri açma makinası.



Şekil 6.5. Çayırhan kömür havzasında sürülen taban yollarında karşılaşılan genel cephe görünüşü.

İlk olarak galeri arını üzerinden alınması planlanan kömür bloğunun yeri tespit edilmiştir. Alınması planlanan kömür bloğunun üst kısmı kollu galeri açma makinası ile kazılarak serbest bir yüzey oluşturulmuştur. Daha sonra sırasıyla kömür bloğunun altı ve yanları kazılarak bloğun yerinden kopması sağlanmıştır. Bu blok numune esnek filmlere, ardından da naylon poşetlere sarılarak doğal nemini muhafaza etmesi sağlanmıştır (Şekil 6.6 ve 6.7). Ocak içerisinden çıkarılan numune özel olarak yaptırılan ahşap sandıklara yerleştirilmiştir (Şekil 6.8). Araziden laboratuara nakil edilen blokların genel dökümü Çizelge 6.1'de sunulmuştur.



Şekil 6.6. Doğal nemlerini muhafaza etmeleri için esnek filme sarılan tipik bir blok numune.

Çizelge 6.1. Blok numunelerin genel durumu.

Kömür lokasyonu	Alındığı taban yolu	Blok adı	Boyutları (cm)
Taban Kömürü	B810	BTB-1	20x25x27
Taban Kömürü	B810	BTB-2	19x27x22
Taban Kömürü	B810	BTB-3	18x19x20
Taban Kömürü	B810	BTB-4	20x20x20
Taban Kömürü	B810	BTB-5	20x20x10
Tavan Kömürü	B810	BTV-1	18x20x38
Tavan Kömürü	B810	BTV-2	12x20x26
Tavan Kömürü	B810	BTV-3	21x21x19
Tavan Kömürü	B810	BTV-4	18x20x38
Tavan Kömürü	B810	BTV-5	20x20x25
Taban Kömürü	C1310	CTB-1	25x25x25
Taban Kömürü	C1310	CTB-2	25x25x25
Taban Kömürü	C1310	CTB-3	20x20x25
Tavan Kömürü	C1310	CTV-1	23x16x25
Tavan Kömürü	C1310	CTV-2	25x25x27
Arakesme	C1310	CAK	24x25x25



Şekil 6.7. Streçe sarılmış numuneyi daha iyi muhafaza etmek amacıyla naylon poşetlere konulan tipik bir numune.



Şekil 6.8. Numunelerin araziden laboratuara nakli için kullanılan ahşap sandıklar.

6.3. Numunelerin Hazırlanması

Taban yollarından alınan blok numuneler üzerinde mekanik deneylerin gerçekleştirilebilmesi için numuneler ISRM (1981) deney şartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmalar aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

6.3.1. Tek eksenli basınç dayanımı deney numunelerinin hazırlanması

ISRM (1981) tek eksenli basınç ve deformabilite deneyleri için karot numuneler önerirken karot numune hazırlamanın zor olduğu kaya tuzu ve kömür gibi özel malzemeler için küp numunelerinde kullanılabileceği Jeremic (1994) tarafından önerilmektedir. Araziden getirilen kömür bloklarından öncelikle karot numuneler hazırlanmaya çalışılmış ancak karot verimi düşük olunca karot numune yanında değişik boyutlarda küp numunelerinde hazırlanmasına karar verilmiştir.

B810 ve C1310 taban yollarından alınan bloklardan tek eksenli basınç dayanımı deneyi için numuneler karot ve küp şeklinde olmak üzere iki tipte hazırlanmıştır. Silindir numuneler ISRM (1981) standardına göre 54 mm (NX), 42 mm (BX) ve 24 mm (1 inç) çaplarında hazırlanmıştır. Küp numuneler ise 5 farklı

boyutta hazırlanmıştır. Numuneler arakesme, tavan kömürü ve taban kömürü numunelerinden ayrı ayrı hazırlanmıştır (Çizelge 6.2.).

Çizelge 6.2. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için hazırlanan numuneler

Blok adı	Numune tipi	Alındığı taban yolu	Boy (mm)	Çap (mm)	Küp boyutu (mm)	Adet	Her bir birim için toplam adet
BTV-1	Tavan Kömürü	B810	110	42	-	17	17
BTB-1	Taban Kömürü	B810	67	24	-	6	17
BTB-2	Taban Kömürü	B810	110	42	-	5	
BTB-3	Taban Kömürü	B810	145	54	-	6	
BTV-1	Tavan Kömürü	C1310	110	42	-	4	5
BTV-2	Tavan Kömürü	C1310	132	52	-	1	
CTB-1	Taban Kömürü	C1310	110	42	-	7	7
CAK	Arakesme	C1310	110	42	-	6	10
CAK	Arakesme	C1310	152	54	-	4	
BTV-2	Tavan Kömürü	B810	-	-	54	3	5
BTV-3	Tavan Kömürü	B810	-	-	74	2	
BTB-4	Taban Kömürü	B810	-	-	27	9	13
BTB-5	Taban Kömürü	B810	-	-	52	3	
BTB-6	Taban Kömürü	B810	-	-	60	1	
CTV-3	Tavan Kömürü	C1310	-	-	27	5	10
CTV-4	Tavan Kömürü	C1310	-	-	54	3	
CTV-5	Tavan Kömürü	C1310	-	-	78	1	
CTV-6	Tavan Kömürü	C1310	-	-	113	1	
Toplam Adet						**84**	**84**

6.3.2. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deney numunelerinin hazırlanması

B810 ve C1310 taban yollarından alınan bloklardan dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deneyi için iki farklı çapta (54 ve 42 mm) hazırlanan numuneler ISRM (1981) standartlarına göre hazırlanmıştır. Numuneler arakesme, tavan kömürü ve taban kömürü numunelerinden ayrı ayrı hazırlanmıştır (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deneyi için hazırlanan numuneler

Blok adı	Numune tipi	Alındığı taban yolu	Çap (mm)	Boy (mm)	Adet	Her bir birim için toplam adet
BTV-1	Tavan Kömürü	B810	42	22	5	32
BTV-2	Tavan Kömürü	B810	42	22	11	
BTV-3	Tavan Kömürü	B810	42	22	2	
BTV-4	Tavan Kömürü	B810	42	22	14	
BTB-1	Taban Kömürü	B810	42	23	13	56
BTB-2	Taban Kömürü	B810	54	27	6	
BTB-3	Taban Kömürü	B810	54	27	6	
BTB-3	Taban Kömürü	B810	42	22	4	
BTB-4	Taban Kömürü	B810	54	27	1	
BTB-5	Taban Kömürü	B810	54	27	13	
BTB-6	Taban Kömürü	B810	42	22	13	
CTV-1	Tavan Kömürü	C1310	42	22	5	23
CTV-2	Tavan Kömürü	C1310	54	27	6	
CTV-3	Tavan Kömürü	C1310	42	21	7	
CTV-4	Tavan Kömürü	C1310	42	22	5	
CTB-10	Taban Kömürü	C1310	42	21	10	19
CTB-1	Taban Kömürü	C1310	54	28	7	
CTB-2	Taban Kömürü	C1310	54	27	2	
C-1	Arakesme	C1310	42	21	4	4
Toplam					**134**	**134**

6.3.3. Tek eksenli deformabilite deney numunelerinin hazırlanması

B810 ve C1310 taban yollarından alınan bloklardan tek eksenli deformabilite dayanımı deneyi için karot numuneler hazırlanmıştır. Tek eksenli deformabilite deney numuneleri silindir şeklinde hazırlanmıştır. Silindir numuneler ISRM (1981) standardına göre 54 mm (NX), 42 mm (BX) çaplarında hazırlanmıştır. Numuneler arakesme, tavan kömürü ve taban kömürü numunelerinden ayrı ayrı hazırlanmıştır. Çizelge 6.4'de hazırlanan numunelere ait genel bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 6.4. Tek eksenli deformabilite deneyi için hazırlanan numuneler

Blok adı	Numune tipi	Alındığı taban yolu	Çap (mm)	Boy (mm)	Adet	Her bir birim için toplam adet
BTV-1	Tavan Kömürü	B810	42	113	3	3
BTB-1	Taban Kömürü	B810	54	150	4	4
CTV-1	Tavan Kömürü	C1310	42	110	3	4
CTV-1	Tavan Kömürü	C1310	52	132	1	
CTB-1	Taban Kömürü	C1310	42	112	1	1
CAK	Arakesme	C1310	54	150	4	4
CTV-2	Tavan Kömürü (Küp)	C1310	-	113	1	1
	Toplam					**17**

6.3.4. Nokta yükleme dayanım deneyi numunelerinin hazırlanması

B810 ve C1310 taban yollarından alınan bloklardan ISRM (1981)'e göre nokta yükleme dayanım deneyi için düzensiz parça numuneler hazırlanmıştır. Numuneler, tavan kömürü, taban kömürü ve arakesme biriminden hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere ait genel bilgiler Çizelge 6.5'de sunulmuştur.

Çizelge 6.5. Nokta yükleme dayanımı deneyi için hazırlanan numuneler

Blok adı	Numune tipi	Alındığı taban yolu	Adet	Her bir birim için toplam adet
BTV-1	Tavan Kömürü	B810	3	23
BTV-2	Tavan Kömürü	B810	3	
BTV-3	Tavan Kömürü	B810	2	
BTV-4	Tavan Kömürü	B810	3	
BTV-5	Tavan Kömürü	B810	2	
BTV-6	Tavan Kömürü	B810	10	
BTB-1	Taban Kömürü	B810	3	17
BTB-2	Taban Kömürü	B810	2	
BTB-3	Taban Kömürü	B810	2	
BTB-4	Taban Kömürü	B810	3	
BTB-5	Taban Kömürü	B810	7	
B-1	Arakesme	B810	5	11
B-2	Arakesme	B810	6	
CTV-1	Tavan Kömürü	C1310	2	11
CTV-2	Tavan Kömürü	C1310	2	
CTV-3	Tavan Kömürü	C1310	7	
CTB-1	Taban Kömürü	C1310	4	16
CTB-2	Taban Kömürü	C1310	3	
CTB-3	Taban Kömürü	C1310	2	
CTB-4	Taban Kömürü	C1310	7	
C-1	Arakesme	C1310	7	7
CTT-1	Taban Taşı	C1310	8	8
Toplam				**93**

6.3.5. Yoğunluk-gözeneklilik belirleme deney numunelerinin hazırlanması

Yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla laboratuara getirilen blok numunelerden düzensiz şekilli numuneler hazırlanmıştır. Bu sebeple numunelerin Bulk hacimleri Buoyancy metoduna göre hesaplanmış ve daha sonra yoğunlukları belirlenmiştir. Kömürün arazideki orijinal yoğunluğu gerekli olduğu için numunelerin laboratuarda doğal yoğunlukları ve etkili gözeneklilik değerleri belirlenmiştir. Hazırlanan numunelere ait genel bilgiler Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Yoğunluk belirleme deneyi için hazırlanan numuneler

Blok adı	Numune tipi	Alındığı taban yolu	Adet	Her bir birim için toplam adet
BTV-1	Tavan Kömürü	B810	8	14
BTV-2	Tavan Kömürü	B810	2	
BTV-3	Tavan Kömürü	B810	2	
BTV-4	Tavan Kömürü	B810	2	
BTB-1	Taban Kömürü	B810	2	15
BTB-2	Taban Kömürü	B810	2	
BTB-3	Taban Kömürü	B810	2	
BTB-4	Taban Kömürü	B810	2	
BTB-5	Taban Kömürü	B810	7	
B-1	Arakesme	B810	4	4
CTV-1	Tavan Kömürü	C1310	2	10
CTV-2	Tavan Kömürü	C1310	2	
CTV-3	Tavan Kömürü	C1310	6	
CTB-1	Taban Kömürü	C1310	2	10
CTB-2	Taban Kömürü	C1310	2	
CTB-3	Taban Kömürü	C1310	6	
C-1	Arakesme	C1310	10	10
CTT-1	Taban Taşı	C1310	10	10
Toplam				**73**

6.4. Mekanik Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Araziden nakil edilen bloklardan alınan karot ve küp numuneler üzerinde gerçekleştirilen mekanik deneylerin tümü Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuarlarında yapılmıştır. Hazırlanan numuneler ISRM (1981)'in tavsiye ettiği deney standartlarına göre deneye tabi tutulmuştur.

6.4.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri

Karot ve küp şeklinde hazırlanan numuneler tavan kömürü, taban kömürü ve arakesme olarak sınıflandırıldıktan sonra bu numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

6.4.1.1. Karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler

B810 ve C1310 bacalarından alınan tavan kömürü, taban kömürü ve arakesme numunelerinden karot şeklinde hazırlanan toplam 56 numune üzerinde tek eksenli basınç dayanım deneyleri (TEBD) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 3000 kN

kapasiteli hidrolik presten yararlanılmıştır. Hidrolik presin yükleme hızı saniyede 0.75 MPa olarak ayarlanmıştır. Çizelge 6.7'de bu numunelerin TEBD değerleri sunulmuştur.

Çizelge 6.7. Silindirik karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen TEBD deney sonuçları

Taban yolu kodu	Numune tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	l/d oranı	Adet	TEBD, σ_c (MPa)	Birimin genel TEBD, σ_c (MPa)
B810	Tavan Kömürü	110.04	42	2.62	17	11.93±2.13	11.93±2.13
B810	Taban Kömürü	66.96	24	2.79	6	13.67±6.32	15.20±6.35
B810	Taban Kömürü	110.04	42	2.62	5	22.18±7.26	
B810	Taban Kömürü	145.26	54	2.69	6	9.75±4.37	
C1310	Tavan Kömürü	110.04	42	2.62	4	10.56±0.96	9.67±1,27
C1310	Tavan Kömürü	132.08	52	2.54	1	8.77±0.00	
C1310	Taban Kömürü	110.04	42	2.62	7	9.05±1.78	9.05±1.78
C1310	Arakesme	110.04	42	2.62	6	14.17±2.09	12.70±2.08
C1310	Arakesme	151.74	54	2.81	4	11.23±2.07	

Üç farklı çapta toplam 56 adet karot numunesi hazırlanarak bu numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin boy/çap oranları 2.5–3.0 arasında seçilmiştir. B810 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün tek eksenli basınç dayanımı değeri 11.93 MPa, taban kömürünün ise 15.20 MPa olarak bulunmuştur. C1310 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün tek eksenli basınç dayanımı değeri 9.67 MPa, taban kömürünün 9.05 MPa ve arakesmenin 12.70 MPa olarak bulunmuştur.

6.4.1.2. Kübik numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler

B810 ve C1310 bacalarından alınan tavan kömürü, taban kömürü ve arakesme numunelerinden küp şeklinde hazırlanan toplam 28 numune üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyleri (TEBD) gerçekleştirmiştir. Deneylerde 3000 kN kapasiteli hidrolik presten yararlanılmıştır. Hidrolik presin yükleme hızı saniyede 0.75 MPa olarak ayarlanmıştır. Farklı boyutlarda hazırlanan numunelerin TEBD değerleri Çizelge 6.8'de sunulmuştur.

Çizelge 6.8. Kübik numuneler üzerinde gerçekleştirilen TEBD deney sonuçları

Taban yolu kodu	Numune tipi	Küp boyutu (mm)	Adet	TEBD, σ_c (MPa)	Birimin genel TEBD, σ_c (MPa)
B810	Tavan Kömürü	54	3	6.33±2.32	8.17±2.61
B810	Tavan Kömürü	74	2	10.02±2.49	
B810	Taban Kömürü	27	9	16.86±1.81	12.08±4.71
B810	Taban Kömürü	52	3	7.44±3.02	
B810	Taban Kömürü	60	1	11.95±0.00	
C1310	Tavan Kömürü	27	5	21.65±4.25	14.23±5.35
C1310	Tavan Kömürü	54	3	14.58±4.35	
C1310	Tavan Kömürü	78	1	10.90±0.00	
C1310	Tavan Kömürü	113	1	9.76±0.00	

Dokuz farklı boyutta toplam 28 adet küp şeklinde hazırlanan numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. B810 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün tek eksenli basınç dayanımı değeri 8.17 MPa, taban kömürünün 12.08 MPa olarak bulunmuştur. C1310 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün tek eksenli basınç dayanımı değeri 14.23 MPa olarak bulunmuştur.

6.4.2. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deneyleri

B810 ve C1310 bacalarından alınan tavan kömürü, taban kömürü ve arakesme numunelerinden hazırlanan toplam 134 numune üzerinde dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) deneyleri gerçekleştirmiştir. Farklı bloklardan alınan numuneler kodlanmış ve her blok için ayrı bir dayanım değeri bulunmuştur. Maden Mühendisliği Bölüm laboratuarında mevcut 3000 kN'luk hidrolik pres TEBD'da olduğu gibi bu deneylerde de kullanılmaya başlanmış ancak numuneler çok düşük kuvvetlerde kırıldığı için hidrolik preste deney yapmanın zorlaştığı tespit edilmiştir. Bunun üzerine bölüm laboratuarında mevcut 100 kN kapasiteli daha hassas okumaların yapılacağı bir başka hidrolik presin kullanılmasına karar verilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen, 54 ve 42 mm boyutlarında hazırlanan numunelerin dolaylı çekme (Brazilian) değerleri Çizelge 6.9'da sunulmuştur.

İki farklı çapta toplam 134 adet numune hazırlanarak bu numuneler üzerinde dolaylı çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. B810 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün dolaylı çekme dayanımı değeri 1.08 MPa, taban kömürünün 1.40 MPa olarak bulunmuştur. C1310 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün dolaylı çekme dayanımı değeri 1.07 MPa, taban kömürünün değeri ise 1.18 MPa olarak

bulunmuştur. C1310 taban yolunda karşılaşılan arakesmenin DÇD (σ_t) değeri 1.74 MPa belirlenmiştir.

Çizelge 6.9. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deney sonuçları

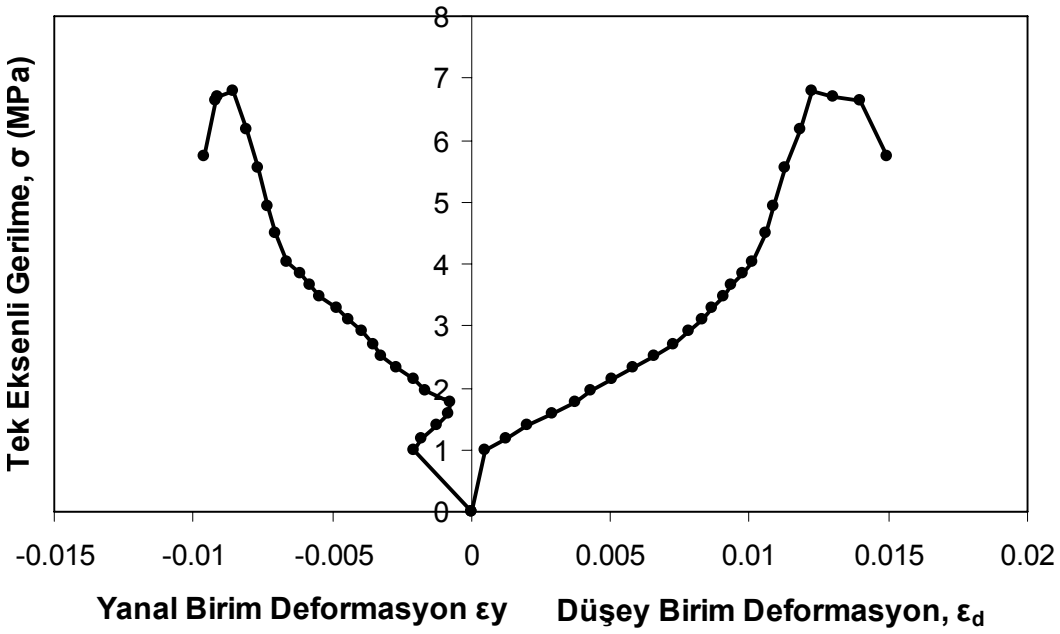
Taban Yolu Kodu	Numune tipi	Blok kodu	Numune çapı (mm)	Adet	DÇD, σ_t (MPa)	Birimin genel DÇD, σ_t (MPa)
B810	Tavan kömürü	BTV-1	42	5	0.92±0.13	
B810	Tavan kömürü	BTV-2	42	11	1.08±0.23	1.08±0.16
B810	Tavan kömürü	B TV-3	42	14	1.25±0.23	
B810	Taban kömürü	BTB-1	42	13	2.01±0.70	
B810	Taban kömürü	BTB-2	54	6	1.05±0.29	
B810	Taban kömürü	BTB-3	54	10	1.02±0.41	
B810	Taban kömürü	BTB-4	54	1	1.44±0.00	1.40±0.54
B810	Taban kömürü	BTB-5	54	13	1.75±0.52	
B810	Taban kömürü	BTB-6	42	13	1.98±0.71	
B810	Taban kömürü	BTB-7	42	7	0.58±0.11	
C1310	Tavan kömürü	CTV-1	42	5	0.99±0.19	
C1310	Tavan kömürü	CTV-2	54	6	1.43±0.22	1.07±0.25
C1310	Tavan kömürü	CTV-3	42	7	0.85±0.28	
C1310	Tavan kömürü	CTV-5	42	5	0.99±0.19	
C1310	Taban kömürü	CTB-1	54	7	1.25±0.35	
C1310	Taban kömürü	CTB-2	54	2	1.06±0.05	1.18±0.10
C1310	Taban kömürü	CTB-3	42	10	1.23±0.37	
C1310	Arakesme	C-1	42	4	1.74±0.79	1.74±0.79

6.4.3. Tek eksenli deformabilite deneyleri

B810 ve C1310 bacalarından alınan tavan kömürü, taban kömürü ve arakesme numunelerinden silindir şeklinde hazırlanan toplam 16 numune üzerinde tek eksenli deformabilite deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneylerde Şekil 6.9'da görülen 3000 kN kapasiteli hidrolik pres ve deformasyon ölçerlerden (komparatör) yararlanılmıştır. Deformasyon ölçümleri zamana bağlı olarak her 5 saniyede bir yatay ve düşey konumdaki deformasyon ölçerlerden okunmuştur. Komparatörler 20 mm stroklu ve 0.01 mm hassasiyetli seçilmiştir. Farklı boyutlarda hazırlanan numunelerin elastisite modülü değerleri Çizelge 6.10'da sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan tipik bir gerilme birim deformasyon eğrisi Şekil 6.10'da sunulmuştur.



Şekil 6.9. Tek eksenli deformabilite deneyi.



Şekil 6.10. Tek eksenli gerilme-birim deformasyon eğrisi.

Çizelge 6.10. Tek eksenli deformabilite deneyinden elde edilen elastik modülü değerleri

Taban Yolu Kodu	Numune tipi	Numune çapı (mm)	l/d oranı	Adet	E_t (GPa)	E_s (GPa)	E_{ort} (GPa)
B810	Tavan kömürü	42	2.74	3	0.53±0.13	0.54±0.09	0.61±0.10
B810	Taban kömürü	54	2.75	4	0.75±0.14	0.44±0.06	0.58±0.06
C1310	Tavan kömürü	52	2.57	1	0.63±0.00	0.53±0.00	0.74±0.00
C1310	Tavan kömürü	42	2.66	3	0.56±0.06	0.49±0.11	0.50±0.07
C1310	Taban kömürü	42	2.70	1	0.49±0.00	0.64±0.00	0.54±0.00
C1310	Arakesme	54	2.82	4	1.06±0.09	0.49±0.04	0.69±0.07
C1310	Tavan Kömürü (Küp)	Kenar boyu:113	-	1	1.2	0.43	0.98

Çizelge 6.10'da görüldüğü gibi en büyük elastik modülü değerleri tavan kömüründe tespit edilirken, en düşük elastik modülü değeri ise taban kömüründe bulunmuştur.

6.4.4. Nokta yükleme dayanımı deneyleri

B810 ve C1310 bacalarından alınan tavan kömürü ve taban kömürü numunelerinden parça şeklinde hazırlanan toplam 93 adet numune üzerinde nokta yükleme dayanımı deneyleri (NYD) gerçekleştirmiştir. Numunelerin NYD değerleri Çizelge 6.11'de sunulmuştur.

Çizelge 6.11. Parça numuneler üzerinde gerçekleştirilen NYD deney sonuçları

Taban Yolu Kodu	Blok Kodu	Numune tipi	Adet	NYD, $Is_{(50)}$ (MPa)	Birimin genel NYD, $Is_{(50)}$ (MPa)
B810	BTV-1	Tavan kömürü	3	0.96±0.77	
B810	BTV-2	Tavan kömürü	3	0.44±0.08	
B810	BTV-3	Tavan kömürü	2	0.27±0.03	0.50±.24
B810	BTV-4	Tavan kömürü	3	0.37±0.07	
B810	BTV-5	Tavan kömürü	2	0.45±0.26	
B810	BTV-6	Tavan kömürü	10	0.52±0.23	
B810	BTB-1	Taban kömürü	3	0.52±0.15	
B810	BTB-2	Taban kömürü	2	0.71±0.14	
B810	BTB-3	Taban kömürü	2	0.77±0.06	0.70±0.11
B810	BTB-4	Taban kömürü	3	0.69±0.19	
B810	BTB-5	Taban kömürü	7	0.82±0.35	
B810	B-1	Arakesme	5	0.70±0.55	0.46±0.34
B810	B-2	Arakesme	6	0.22±0.0.17	
C1310	CTV-1	Tavan kömürü	2	0.43±0.22	
C1310	CTV-2	Tavan kömürü	2	0.49±0.12	0.45±0.03
C1310	CTV-3	Tavan kömürü	7	0.44±0.19	
C1310	CTB-1	Taban kömürü	4	0.24±0.06	
C1310	CTB-2	Taban kömürü	3	0.36±0.15	0.35±0.07
C1310	CTB-3	Taban kömürü	2	0.38±0.17	
C1310	CTB-4	Taban kömürü	7	0.40±0.09	
C1310	C-1	Arakesme	7	0.64±0.18	0.64±0.18
C1310	CTT-1	Taban Taşı	8	3.34±1.98	3.34±1.98

Farklı kaya birimlerinden toplam 93 adet numune hazırlanarak bu numuneler üzerinde nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. B810 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün nokta yükleme dayanımı değeri 0.50 MPa, taban kömürünün değeri 0.70 MPa ve arakesmenin 0.46 MPa olarak bulunmuştur. C1310 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün nokta yükleme dayanımı değeri, 0.45 MPa,

taban kömürünün 0.35 MPa, arakesmenin 0.64 MPa ve taban taşının ise 3.34 MPa olarak bulunmuştur.

6.4.5. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyleri

B810 ve C1310 bacalarından alınan tavan kömürü ve taban kömürü numunelerinden hazırlanan toplam 73 adet numune üzerinde yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneyler parça numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple numunelerin Bulk hacimleri Buoyancy metoduna göre hesaplanmış ve daha sonra yoğunlukları belirlenmiştir. Numunelerin yoğunluk ve gözeneklilik değerleri Çizelge 6.12'de sunulmuştur.

Çizelge 6.12. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deney sonuçları

Taban Yolu Kodu	Blok kodu	*Numune tipi	Adet	Doğal Yoğunluk (gr/cm^3)	Etkili Gözeneklilik (%)	Birimin Genel Yoğunluğu (gr/cm^3)	Birimin Genel Gözenekliliği (%)
B810	BTV-1	TVK	8	1.50±0.07	4.62±0.88	1.36±0.11	6.88±2.21
B810	BTV-2	TVK	2	1.30±0.01	6.32±1.03		
B810	BTV-3	TVK	2	1.26±0.02	9.91±4.23		
B810	BTV-4	TVK	2	1.37±0.04	6.69±0.20		
B810	BTB-1	TBK	2	1.32±0.01	6.51±0.25	1.48±0.13	5.48±1.15
B810	BTB-2	TBK	2	1.56±0.18	6.86±0.97		
B810	BTB-3	TBK	2	1.57±0.36	4.80±4.50		
B810	BTB-4	TBK	2	1.35±0.01	4.18±0.18		
B810	BTB-5	TBK	7	1.58±0.23	5.05±1.07		
B810	B-1	AK	4	1.31±0.06	12.69±1.13	1.31±0.06	12.69±1.13
C1310	CTV-1	TVK	2	1.46±0.03	6.92±2.39	1.39±0.06	7.09±0.15
C1310	CTV-2	TVK	2	1.37±0.02	7.15±0.36		
C1310	CTV-3	TVK	6	1.34±0.17	7.20±1.20		
C1310	CTB-1	TBK	2	1.28±0.08	7.29±1.66	1.28±0.02	7.29±0.33
C1310	CTB-2	TBK	2	1.26±0.04	7.61±0.11		
C1310	CTB-3	TBK	6	1.29±0.05	6.96±2.68		
C1310	CTT-1	TBT	10	2.16±0.11	1.64±0.59	2.16±0.11	1.64±0.59

TVK: Tavan kömürü; TBK: Taban kömürü; AK: Arakesme; TBT: Taban taşı

Farklı kaya birimlerinden toplam 73 adet numune hazırlanarak bu numuneler üzerinde yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. B810 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün doğal yoğunluk değeri 1.36 gr/cm^3, etkili gözeneklilik değeri %6.88, taban kömürünün doğal yoğunluk değeri 1.48 gr/cm^3, etkili gözeneklilik değeri %5.48, arakesmenin doğal yoğunluk değeri 1.31 gr/cm^3 etkili gözeneklilik değeri %12.69 olarak bulunmuştur. C1310 taban yolunda ölçülen

tavan kömürünün doğal yoğunluk değeri 1.39 gr/cm^3, etkili gözeneklilik değeri %7.09, taban kömürünün doğal yoğunluk değeri 1.28 gr/cm^3, etkili gözeneklilik değeri %7.29, taban taşının doğal yoğunluk değeri 2.16 gr/cm^3, etkili gözeneklilik değeri ise %1.64 olarak bulunmuştur.

6.4.6. Schmidt sertliği belirleme deneyleri

B810 ve C1310 bacasından alınan blok numuneler üzerinde Schmidt sertliği belirleme deneyleri yapılmıştır. Laboratuara götürtülmesi amacıyla taban yollarından çıkarılan blok numuneler üzerindeki Schmidt sertliği ölçümleri laboratuara getirilmeden taban yolundan alınır alınmaz arazide gerçekleştirilmiştir. Deneyler tavan kömürü ve taban kömürü ve arakesme birimlerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Blok numuneler üzerinde gerçekleştirilen Schmidt sertliği deneyleri ISRM (1981) standartlarına göre yapılmıştır. Numunelerin Schmidt sertlik değerleri Çizelge 6.13'de sunulmuştur.

Çizelge 6.13. Blok numuneler üzerinde gerçekleştirilen Schmidt sertliği deney sonuçları

Taban Yolu Kodu	Blok Kodu	Numune Tipi	Schmidt Sertliği (N)	Birimin Genel Schmidt Sertliği
B810	BTV-1	Tavan kömürü	43.18±2.68	47.78±4.62
B810	BTV-2	Tavan kömürü	51.90±1.50	
B810	BTV-3	Tavan kömürü	48.50±1.90	
B810	BTV-4	Tavan kömürü	46.90±3.04	
B810	BTV-5	Tavan kömürü	53.90±2.07	
B810	BTV-6	Tavan kömürü	42.30±2.72	
B810	BAK	Arakesme	45.2±1.70	45.2±1.70
B810	BTB-1	Taban kömürü	41.90±2.07	47.83±4.06
B810	BTB-2	Taban kömürü	49.10±4.48	
B810	BTB-3	Taban kömürü	51.10±2.23	
B810	BTB-4	Taban kömürü	49.20±4.18	
C1310	CTV-1	Tavan kömürü	45.52±2.62	45.74±2.29
C1310	CTV-2	Tavan kömürü	45.96±1.96	
C1310	CTB-1	Taban kömürü	46.40±2.21	46.50±2.09
C1310	CTB-2	Taban kömürü	46.60±1.98	
C1310	CAK	Arakesme	48.38±1.48	48.38±1.48

Tavan, taban kömürü ve arakesme birimlerinden alınan 16 blok numune üzerinde Schmidt sertliği belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. B810 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün Schmidt sertlik değeri 47.78, taban kömürünün değeri 47.83 olarak bulunmuştur. C1310 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün Schmidt sertlik değeri 45.74, taban kömürünün değeri 46.50 olarak bulunmuştur.

6.4.7. Sonik hız deneyleri

B810 ve C1310 bacasından alınan blok numuneler laboratuara getirilerek bu numunelerden silindirik numuneler alınmıştır. Bu numuneler üzerinde sonik hız deneyleri yapılmıştır. Deneyler, B810 ve C1310 bacalarındaki tavan ve taban kömürü birimlerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Toplam 20 silindirik numune üzerinde gerçekleştirilen sonik ses yayılım hızı deneyleri ISRM (1981) standartlarına göre yapılmıştır. Ses yayılım hızları bulunurken hem S dalgası hem de P dalgasına göre aynı numunenin ses geçirme hızları bulunmuştur. Numunelerin sonik ses yayılım hızı değerleri Çizelge 6.14'de sunulmuştur.

Çizelge 6.14. Silindirik numuneler üzerinde gerçekleştirilen sonik hız deney sonuçları

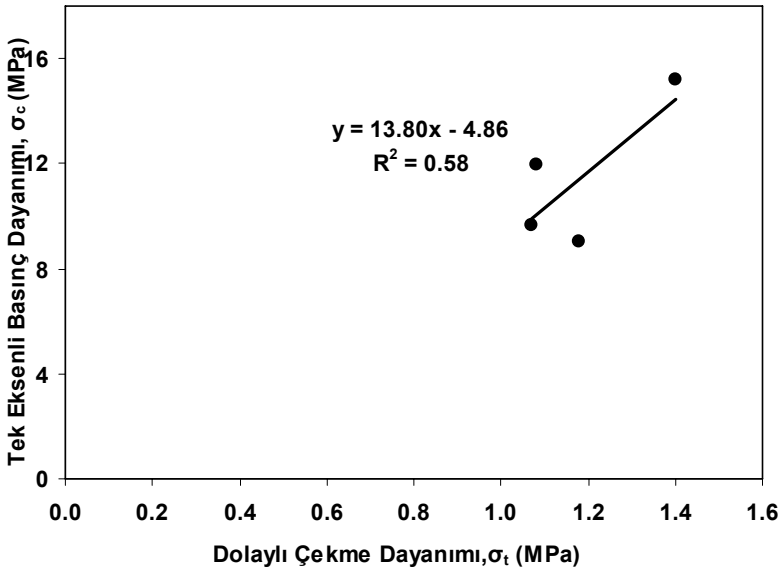
Taban Yolu Kodu	Blok Kodu	Numune Yeri	P dalgası hızı (m/sn)	S dalgası hızı (m/sn)	Birimin Genel P dalgası hızı (m/sn)	Birimin Genel S dalgası hızı (m/sn)
B810	BTV-1	Tavan kömürü	564.4	445.3	614.5	512.6
B810	BTV-2	Tavan kömürü	629.4	653.6		
B810	BTV-3	Tavan kömürü	468.2	486.3		
B810	BTV-4	Tavan kömürü	-	472.1		
B810	BTV-5	Tavan kömürü	717.1	612.9		
B810	BTV-6	Tavan kömürü	918.0	555.0		
B810	BTV-7	Tavan kömürü	-	373.3		
B810	BTV-8	Tavan kömürü	389.7	502.2		
B810	BTB-1	Taban kömürü	726.5	431.4	567.0	447.5
B810	BTB-2	Taban kömürü	527.8	690.3		
B810	BTB-3	Taban kömürü	-	498.6		
B810	BTB-4	Taban kömürü	446.8	169.8		
C1310	CTV-1	Tavan kömürü	1997.0	1776.6	1961.7	1180.0
C1310	CTV-2	Tavan kömürü	1571.4	421.3		
C1310	CTV-3	Tavan kömürü	2244.9	2144.2		
C1310	CTV-4	Tavan kömürü	2033.3	378.0		
C1310	CTB-1	Taban kömürü	1646.3	723.3	2008.6	1334.3
C1310	CTB-2	Taban kömürü	2270.6	1767.4		
C1310	CTB-3	Taban kömürü	2109.0	1512.1		

Deneyler sonucunda, S dalgasından elde edilen değerlerin P dalgasından elde edilenlerden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. En büyük ses geçirme hızı B810 bacasında alınan taban kömürü numunelerinde bulunurken en küçük ses geçirme hızı ise C1310 bacasındaki taban kömüründe elde edilmiştir.

6.5. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

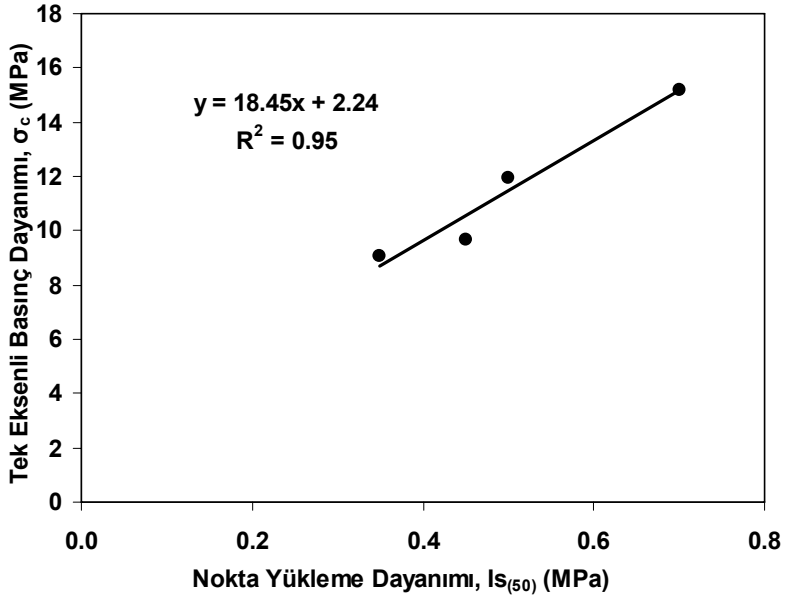
Laboratuarda yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerlerin birbiri ile ilişkilerini gösteren grafikler aşağıda sunulmuştur. Grafikler oluşturulurken B810 ve C1310 bacalarında karşılaşılan sadece tavan ve taban kömürü dikkate alınmıştır. Arakesme, tavan taşı ve taban taşı için yeteri kadar numune deneye tabi tutulamadığı için değerlendirmeye alınmamıştır.

Karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 6.11'de görülmektedir. Buradan da açıkça görüldüğü gibi, dolaylı çekme dayanımı arttıkça tek eksenli basınç dayanımının da doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir.



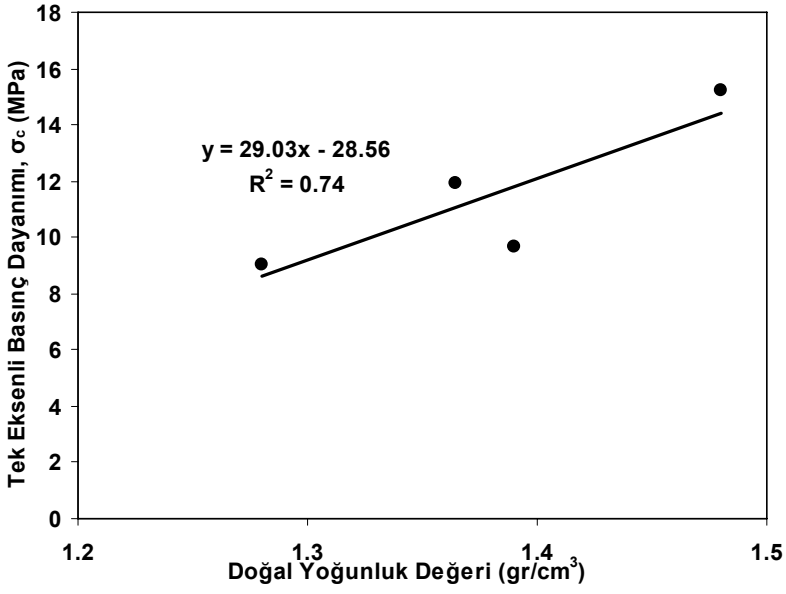
Şekil 6.11. Tek eksenli basınç dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki.

Karot şeklindeki numunelerden elde edilen tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 6.12'de görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi, nokta yükleme dayanımı arttıkça tek eksenli basınç dayanım da doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir.



Şekil 6.12. Tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki.

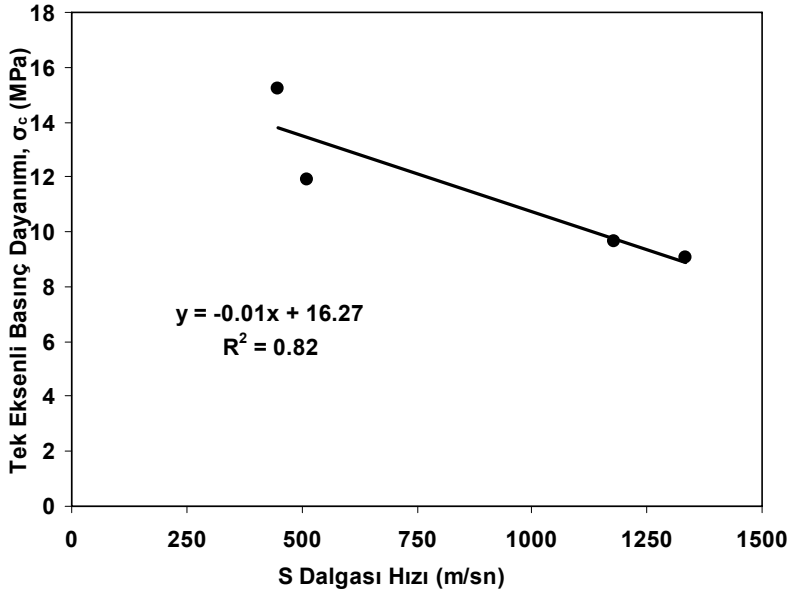
Karot şeklindeki kömür numunelerine ait tek eksenli basınç dayanımı ile doğal yoğunluk arasındaki ilişki Şekil 6.13'de görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi, doğal yoğunluk değeri arttıkça tek eksenli basınç dayanımının da doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir.



Şekil 6.13. Tek eksenli basınç dayanımı ile doğal yoğunluk değeri arasındaki ilişki.

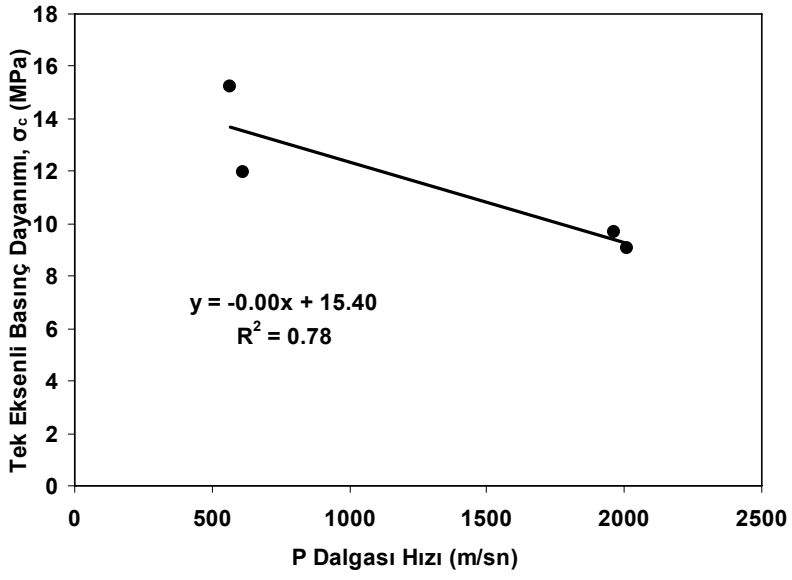
Karot şeklindeki kömüre ait tek eksenli basınç dayanımı ile S dalgası hızı arasındaki ilişki Şekil 6.14'de görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi, S dalga

hızı arttıkça tek eksenli basınç dayanım da doğrusal bir şekilde azaldığı görülmektedir.



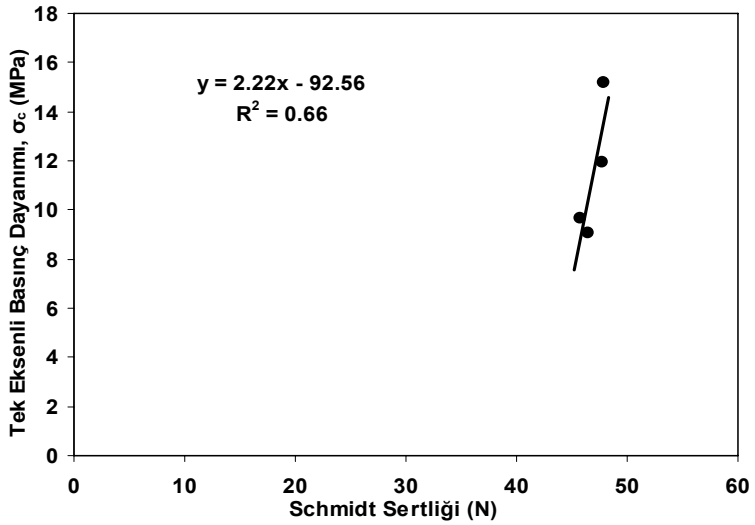
Şekil 6.14. Tek eksenli basınç dayanımı ile S dalgası hızı arasındaki ilişki.

Karot şeklindeki kömüre ait tek eksenli basınç dayanımı ile P dalgası hızı arasındaki ilişki Şekil 6.15'de görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi, P dalga hızı arttıkça tek eksenli basınç dayanım da doğrusal bir şekilde azaldığı görülmektedir.



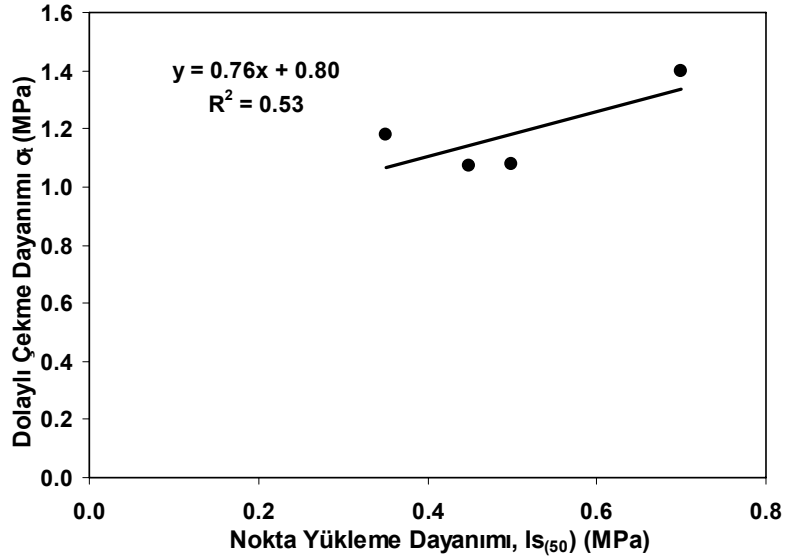
Şekil 6.15. Tek eksenli basınç dayanımı ile P dalgası hızı arasındaki ilişki.

Karot şeklindeki kömüre ait tek eksenli basınç dayanımı ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki Şekil 6.16'da görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, Schmidt sertliği arttıkça tek eksenli basınç dayanım de doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir.



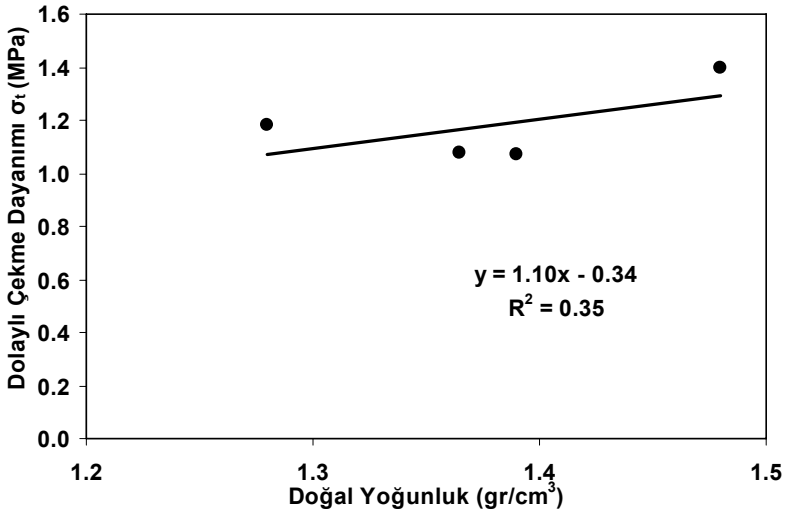
Şekil 6.16. Tek eksenli basınç dayanımı ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki.

Dolaylı çekme dayanımı ile nokta yükleme dayanımı değeri arasındaki ilişki Şekil 6.17'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, nokta yükleme dayanımı arttıkça dolaylı çekme dayanımı de doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir.



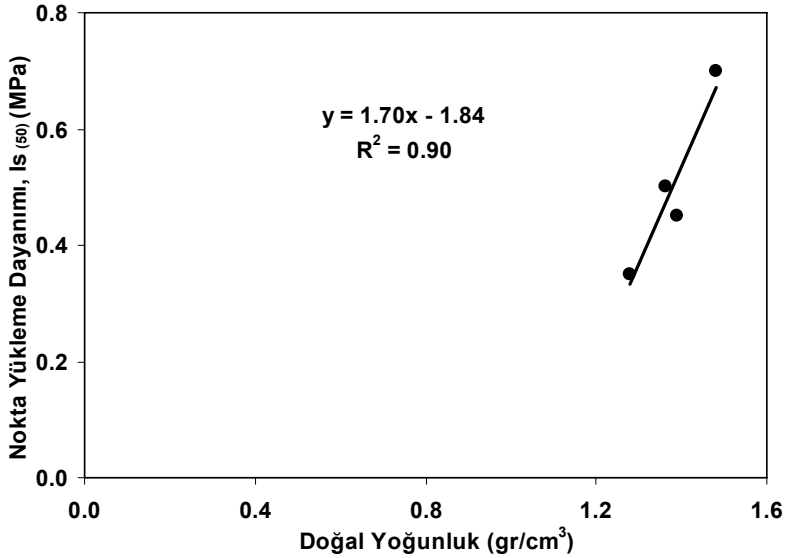
Şekil 6.17. Dolaylı çekme dayanımı ile nokta yükleme dayanımı değeri arasındaki ilişki.

Dolaylı çekme dayanımı ile doğal yoğunluk arasındaki ilişki Şekil 6.18'de görülmektedir. Şekil 6.18'de görüldüğü gibi, doğal yoğunluk arttıkça dolaylı çekme dayanımı da doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir. Fakat burada düşük bir ilişki elde edilmiştir.



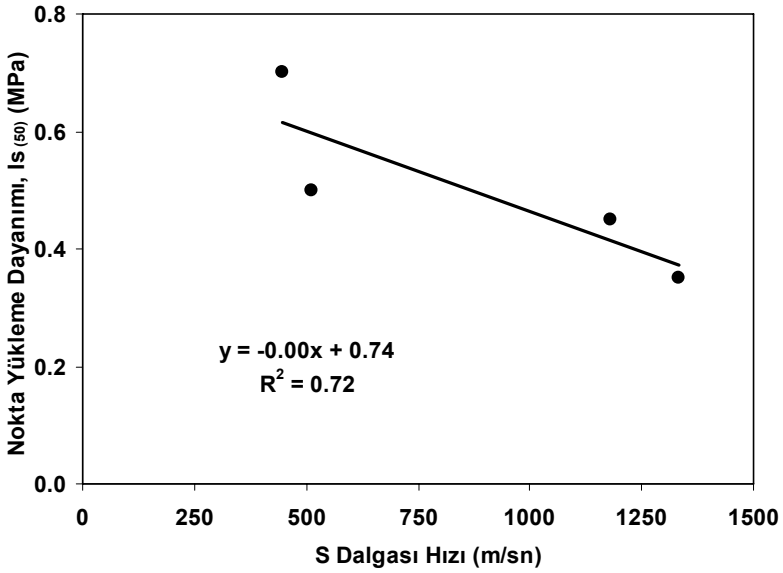
Şekil 6.18. Dolaylı çekme dayanımı ile doğal yoğunluk arasındaki ilişki.

Nokta yükleme dayanımı ile doğal yoğunluk değeri arasındaki ilişki Şekil 6.19'de görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, doğal yoğunluk değeri arttıkça nokta yükleme dayanımını da doğrusal bir şekilde artmaktadır.

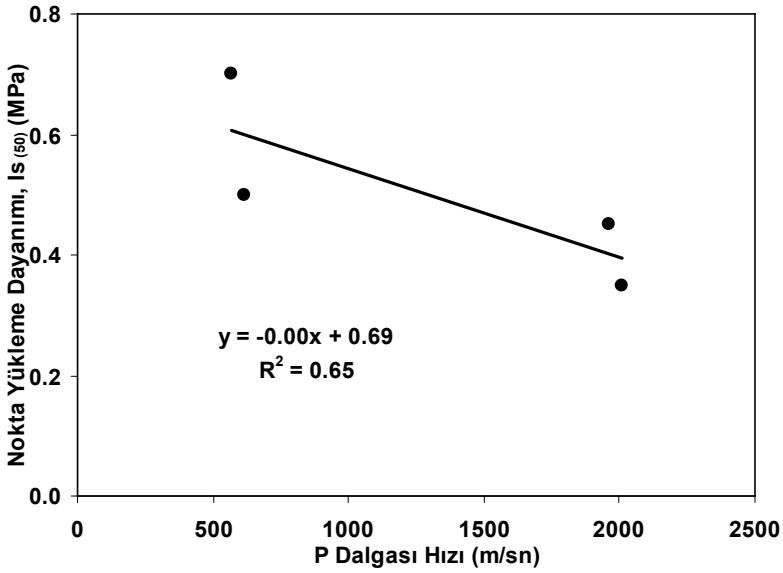


Şekil 6.19. Nokta yükleme dayanımı ile doğal yoğunluk arasındaki ilişki.

Nokta yükleme dayanımı değeri ile S ve P dalga hızları arasındaki ilişki Şekil 6.20 ve 6.21'de görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi, S ve P dalgalarının hızları arttıkça nokta yükleme dayanımının doğrusal bir şekilde azaldığı görülmektedir.

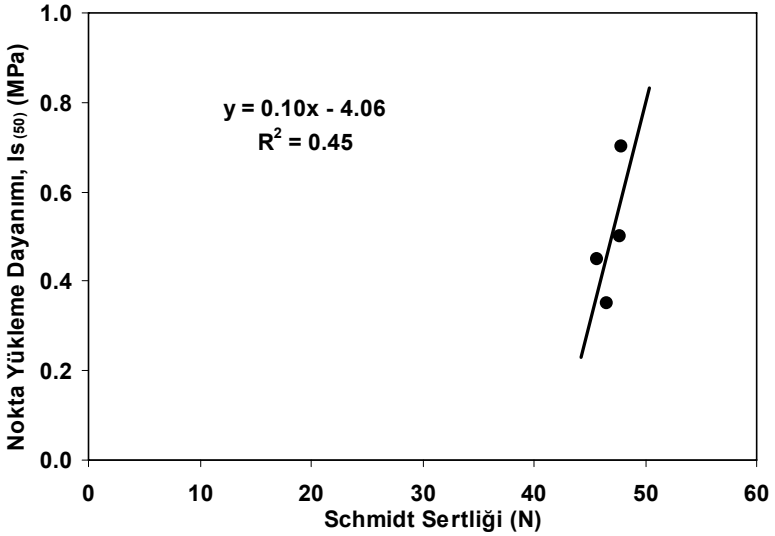


Şekil 6.20. Nokta yükleme dayanımı ile S dalgası hızı arasındaki ilişki.



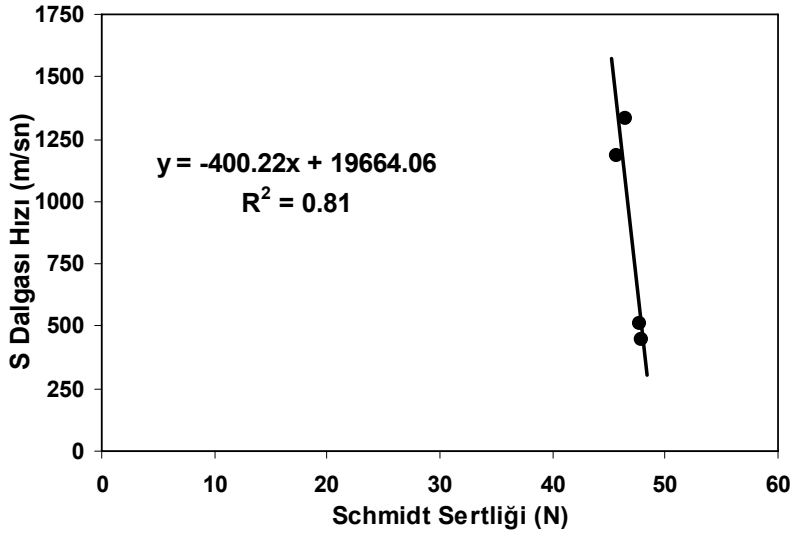
Şekil 6.21. Nokta yükleme dayanımı ile P dalgası hızı arasındaki ilişki.

Nokta yükleme dayanım değeri ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki Şekil 6.22'de görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi, Schmidt sertliği arttıkça nokta yükleme dayanımı değeri de doğrusal bir şekilde artmaktadır.



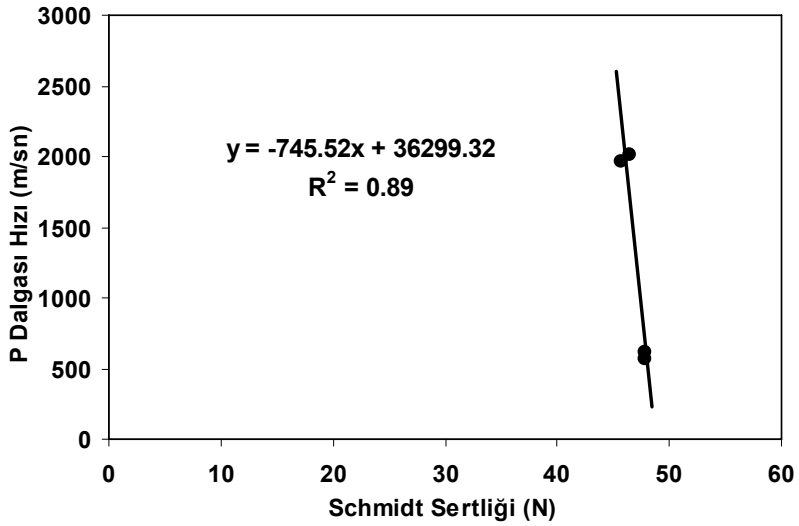
Şekil 6.22. Nokta yükleme dayanımı ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki.

Schmidt sertliği ile S dalgası hızı arasındaki ilişki Şekil 6.23'de görülmektedir. Schmidt sertliği arttıkça S dalgası hızının doğrusal bir şekilde düştüğü görülmektedir.



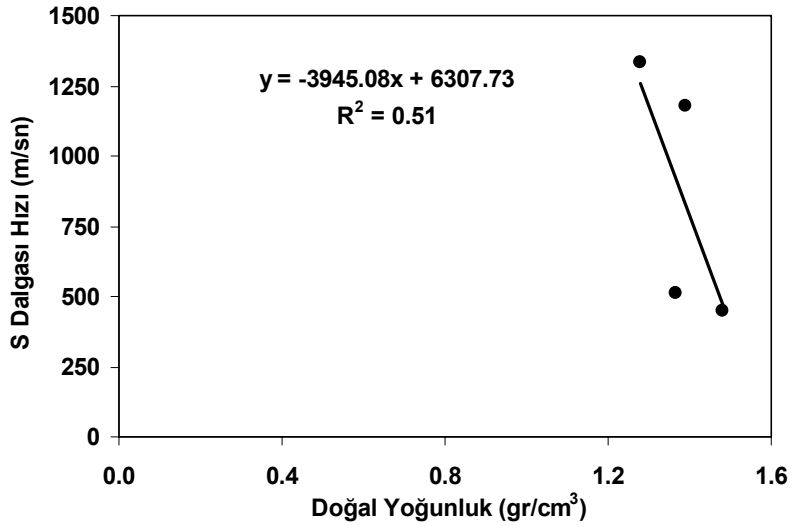
Şekil 6.23. Schmidt sertliği ile S dalgası hızı arasındaki ilişki.

Schmidt sertliği ile P dalgası hızı arasındaki ilişki Şekil 6.24'de görülmektedir. Schmidt sertliği arttıkça S dalgası hızının doğrusal bir şekilde düştüğü görülmektedir.



Şekil 6.24. Schmidt sertliği ile P dalgası hızı arasındaki ilişki.

Son olarak araştırılan ilişki S dalgası hızı ile doğal yoğunluk değeri arasındaki ilişkidir ve Şekil 6.25'de ilgili ilişki eğrisi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, doğal yoğunluk değeri arttıkça S dalgası hızı doğrusal bir şekilde azalmaktadır. P dalgası hızı ile doğal yoğunluk arasında iyi bir ilişki tespit edilememiştir.



Şekil 6.25. Doğal yoğunluk ile S dalgası hızı arasındaki ilişki.

7. ARAZİDE GERÇEKLEŞTİRİLEN KAZICI MAKİNA PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ

7.1. Genel

Bu bölümde doktora tez çalışmasına konu olan tamburlu-kesici yükleyici makina ve kollu galeri açma makinalarının performans değerlendirilmelerinin yapılabilmesi için makinaya bağlı parametrelerin ölçüm sistematiği, veri tabanının hazırlanması ve ölçümlerin değerlendirmeye hazırlanış metodu sunulmuştur.

7.2. Uzun Ayak Arınında Performans Ölçümleri için Arının Hazırlanması

Tamburlu kesici-yükleyici makinanın performans ölçüm sistematiğinin oluşturulabilmesi için makinanın kazı esnasında zorlanma büyüklüğünü gösteren parametrelerin belirlenmesi planlandı. Çalışma bölgesindeki şartlar dahilinde ölçülebilecek olan parametreler belirlendikten sonra bu parametrelerin ölçümüne başlanmasına karar verilmiştir. Kazıcı makinaların performans değerlendirilmesinde en çok kullanılan ve arazi koşullarında, makinanın performans konusunda en belirleyici kriter; spesifik enerji (kWh/m^3) olmaktadır. Çalışma bölgesinde bu parametrenin tespit edilebilmesi için gerekli ölçümlerin yapılmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

Spesifik enerjinin (SE) girdi parametreleri; birim zamanda (h) kazılan malzeme miktarı (m^3) ve bu hacimdeki malzemenin kazılmasında harcanan güçtür (kW). Kazı makinası tarafından harcanan gücün belirlenmesinde makinanın çektiği akım (Amper) ve makinanın voltaj (Volt) değerleri dikkate alınmaktadır. Kazıcı makinanın harcadığı güç (G);

G= Akım*Voltaj (kW) [7.1]

Eşitlik 7.1'de belirlenen güç net kazı hızına (NKH, m^3/h) bölünerek SE belirlenir. Net kazı hızı ise aşağıdaki eşitlikten bulunur;

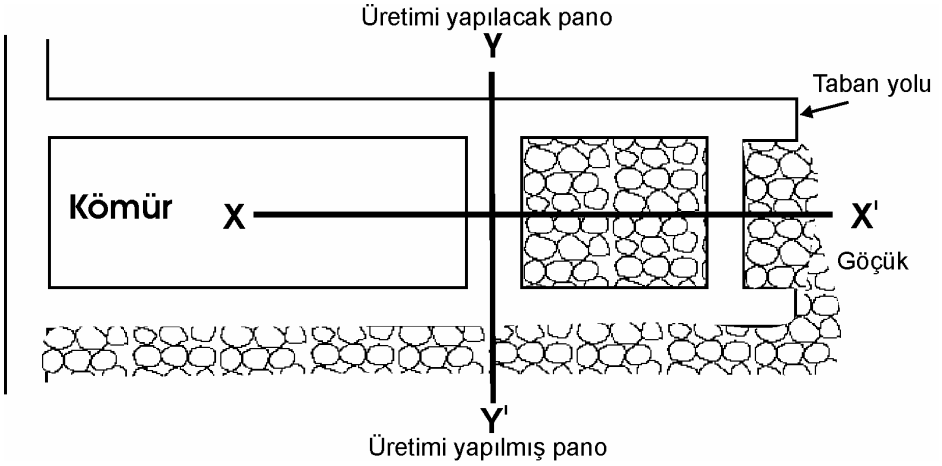
$$NKH = \frac{\text{Kazılan malzemenin hacim cinsinden miktarı } (m^3)}{\text{Kazı süresi (h)}} \quad [7.2]$$

Böylece Eşitlik 7.1, Eşitlik 7.2'ye bölünerek SE hesaplanabilir;

$$SE = \frac{G}{NKH} \left(\frac{kWh}{m^3} \right)$$

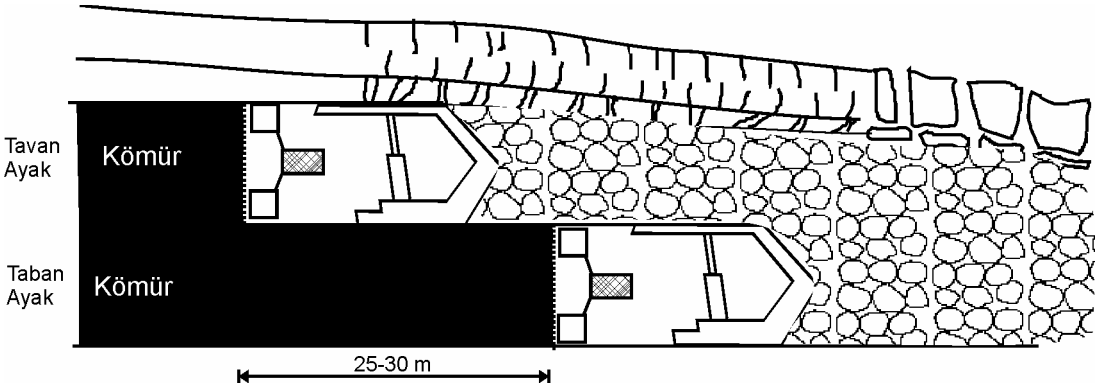
[7.3]

Eickhoff SL300 tamburlu kesici-yükleyicinin kullanıldığı B06 ve B08 panolarında uygulanan madencilik çalışmalarını yansıtan şematik şekil aşağıda sunulmuştur (Şekil 7.1). Şekil 7.1'de görülen çalışma ortamı içerisinde tamburlu kesici-yükleyicilerin performans ölçümlerinin tüm arında yapılması planlanmış ancak yoğun çalışma ortamından dolayı ocak yönetimi kabul etmemiştir. Ocak yönetimi tarafından planlanan çalışma programına göre tamburlu kesici-yükleyici arında her vardiyada genelde 3 kesim yapmaktadır. Üretim panosunun tavan ayağında 3 kesim taban ayağında 3 kesim olmak üzere her vardiyada toplam yaklaşık 2000 ton, bir üretim panosundan ise günlük 5000–6000 ton arasında kömür üretimi yapılmaktadır. Bu yoğun çalışma ortamında tüm arın için performans ölçümünün yapılamamasından dolayı arın içerisinden belirli bir bölge üzerinde çalışmaların yürütülmesine karar verilmiştir. Uzun ayak arınının tavanında oluşan ikincil arazi gerilmeleri (Bkz. Şekil 5.7) göz önüne alınınca gerilmelerin oldukça etkin olduğu taban yollarına yakın yerlerde ölçüm alanının seçiminin uygun olmayacağı sonucuna varılmıştır. Ayak içerisinde tavanda oluşan arazi gerilmelerinin daha küçük ve düzgün yayılı bir durum arz etmesinden dolayı deneysel çalışmaların ayak ortasında yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 4.5).

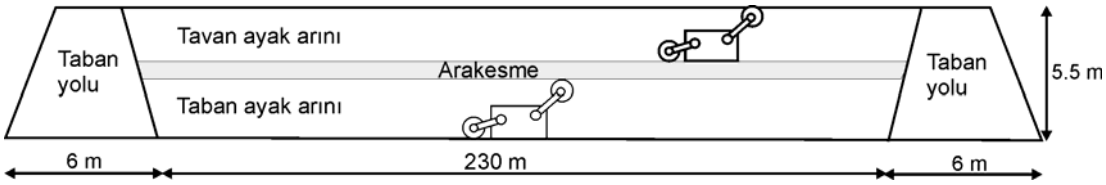


a) Üretim panosuna plan bakış

Şekil 7.1. Üretim panolarına ait şematik geometrik durum.



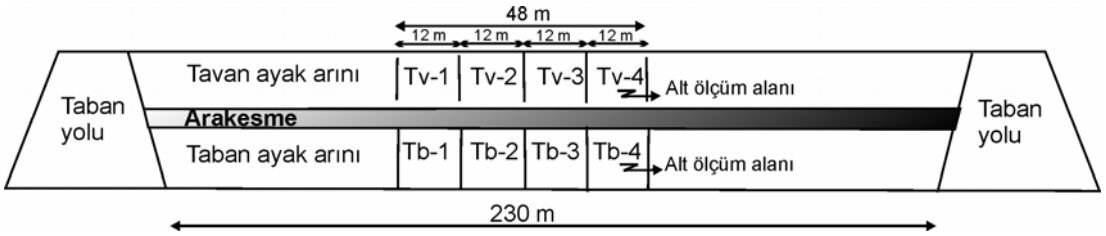
b) X-X[1] kesiti



c) Y-Y[1] kesiti

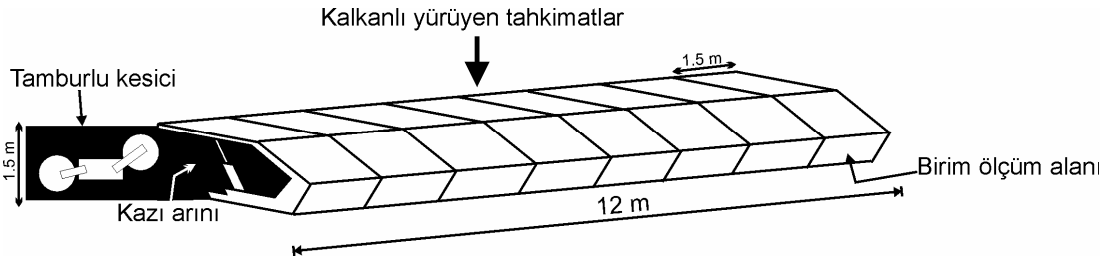
Şekil 7.1. (devam).

Kazı arınında SE'nin belirlenebilmesi için toplam 230 m olan kazı arınının tam ortasında konumlanan bölgeden 48 m uzunluğundaki bir kısım çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bölüm 6'da sunulan mekanik arazi deneyleri de bu alan üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.2'de görüldüğü gibi ana ölçüm alanı, üretim panosunun 230 m'lik arınının yaklaşık %21.8'lik kısmını oluşturmuştur. Ölçümler ya tavan ayakta ya da taban ayakta gerçekleştirilmiştir. Ana ölçüm alanı, tamburlu kesici-yükleyici uzunluğunun 4 katına eşit seçilmiş ve dört alt bölgeye bölünmüş olup her alt bölgenin uzunluğu ise tamburlu kesici uzunluğuna eşittir (12 m). Şekil 7.2'de sunulduğu gibi ana ölçüm alanı tavan ayakta Tv-1, Tv-2, Tv-3, Tv-4 olarak, taban ayakta ise Tb-1, Tb-2, Tb-3 ve Tb-4 olarak alt bölgelerde adreslenmiştir. Her bir alana alt ölçüm alanı tanımı yapılmıştır.



Şekil 7.2. Tavan ve taban ayakta oluşturulan deneysel ana ölçüm alanının şematik gösterimi.

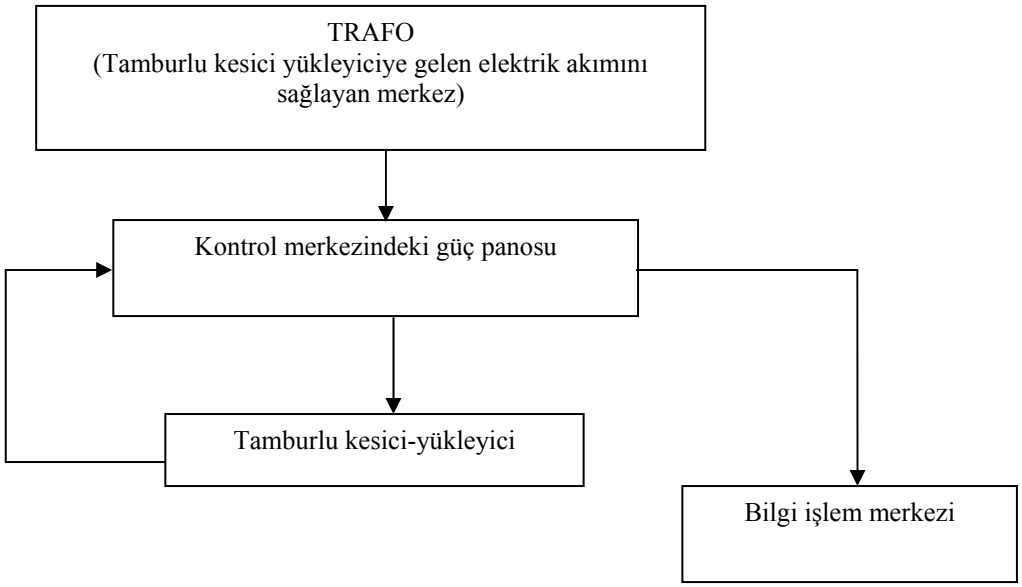
Deneysel ana ölçüm alanı içerisindeki bölgeye 32 adet yürüyen tahkimat ünitesi tesadüf etmektedir. Tavan ayakta Tv-1, Tv-2 Tv-3, Tv-4 taban ayakta Tb-1, Tb-2, Tb-3 ve Tb-4 olarak adlandırılan (Şekil 7.3) her bir alt ölçüm alanına ise 8 adet yürüyen tahkimat ünitesi denk gelmektedir. Böylece araştırmada 1.5 m genişliğe sahip olan her bir yürüyen tahkimat ünitesinin karşısına gelen alana, birim ölçüm alanı ismi verilmiştir (Şekil 7.3). Böylece 48 m uzunluğundaki arındaki ana ölçüm alanında toplam 32 adet birim ölçüm alanı oluşturulmuştur.



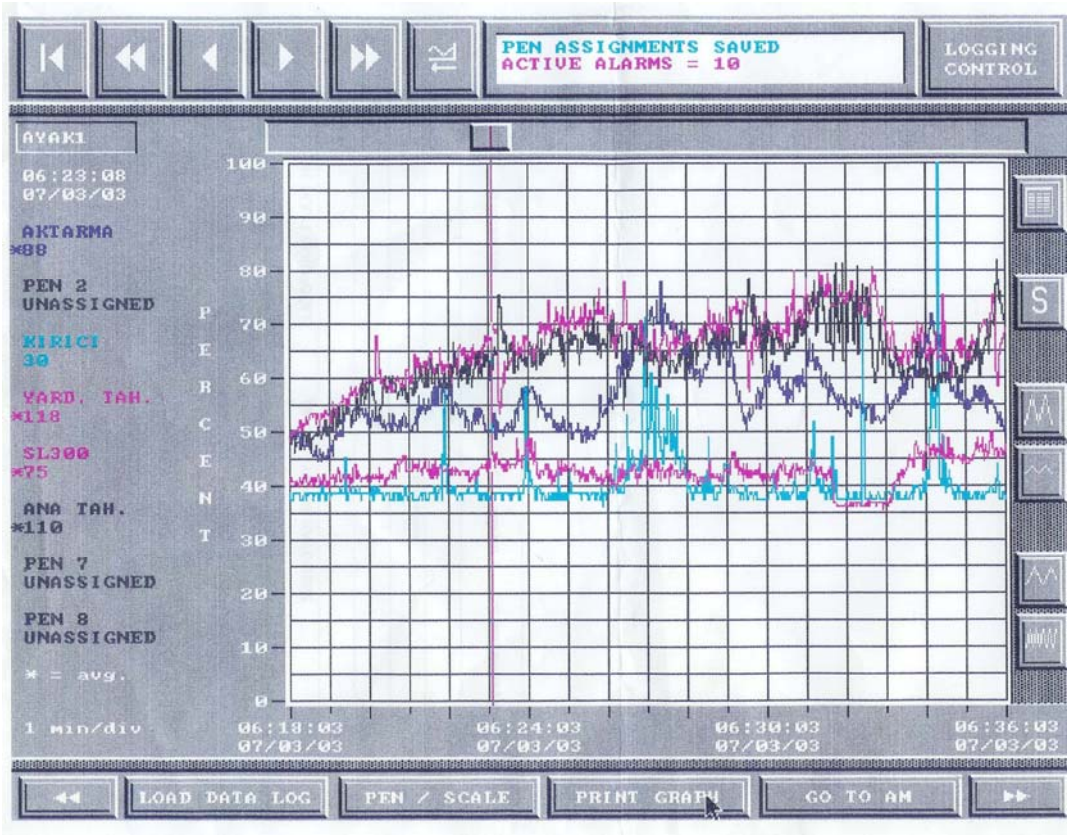
Şekil 7.3. Akım değerlerinin ölçümü için oluşturulan alt ölçüm alanı ve bu alanda hazırlanan birim ölçüm alanları.

7.3. Tamburlu Kesici-Yükleyiciyi İzleyen Veri Toplama Ünitesi Yardımıyla Performans Ölçüm Sistematiği

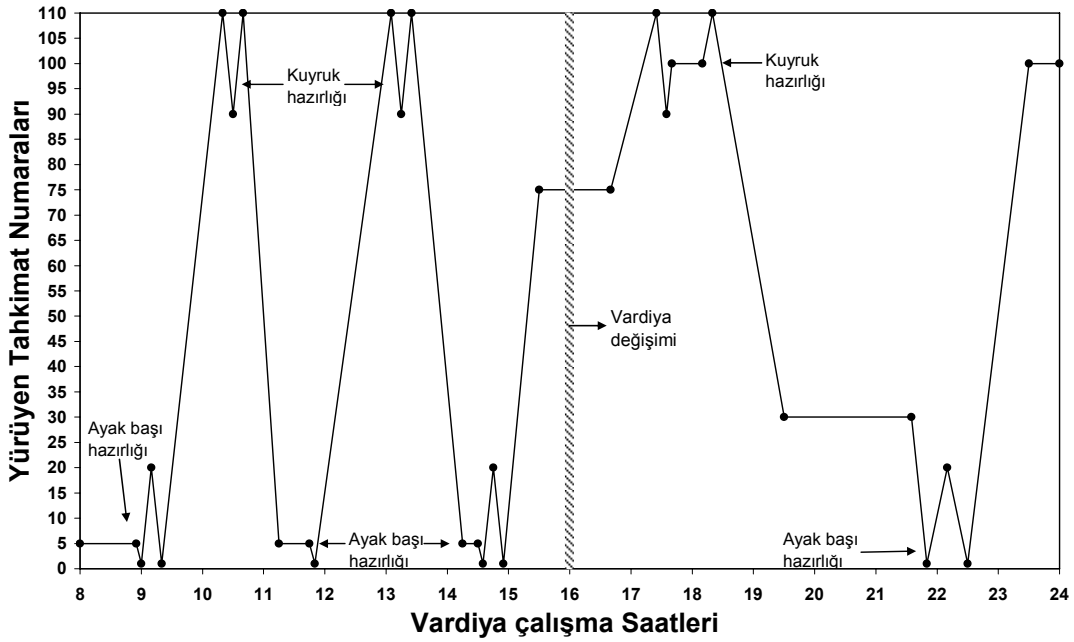
Ayak içerisinde B panosunda kullanılan tamburlu kesicinin kazı esnasındaki akım değişimlerinin saniye saniye izlenmesi planlanmıştır. Hem tavan ayakta hem taban ayakta kullanılan Eickhoff SL300 tipli tamburlu kesicinin çektiği akım değerleri işletmedeki bilgi işlem merkezi tarafından izlenip kayıt altına alınmaktadır (Şekil 7.4). Makinanın üzerine ve ocak içine yerleştirilmiş olan sistemler ile makinanın saniye bazında çektiği akım değerleri ocak dışındaki bilgi işlem ünitesine gönderilmektedir. Bilgi işlem merkezinde ocak içerisinde çalışan makinaların (konveyör, tamburlu kesici, kırıcı) çektiği akımlar grafiksel olarak izlenebilmektedir (Şekil 7.5). Bu sistem sayesinde, makinanın ayak içerisinde çalışıp çalışmadığı, kazı sırasında zorlanma derecesi ve arıza durumları hakkındaki bilgiler bilgi işlem merkezindeki bilgisayarlardan izlenebilmekte ve kayıt edilebilmektedir (Şekil 7.6). Ocak yönetimi bu çıktılar üzerinden ocaktaki çalışmaları sürekli olarak takip edebilmektedir.



Şekil 7.4. Tamburlu kesici-yükleyiciden Bilgi İşlem Merkezine bilgi akış şeması.



Şekil 7.5. Bilgi İşlem Merkezi'nde ocak içerisinde kullanılan makinaların grafiksel izlenimi.



Şekil 7.6. B08 panosu tavan ayakta 25 Temmuz 2006 tarihinde iki vardiya (08–16 ve 16–24 vardiyaları) halinde yapılan üretim esnasında tamburlu kesicinin ayak içindeki konumları.

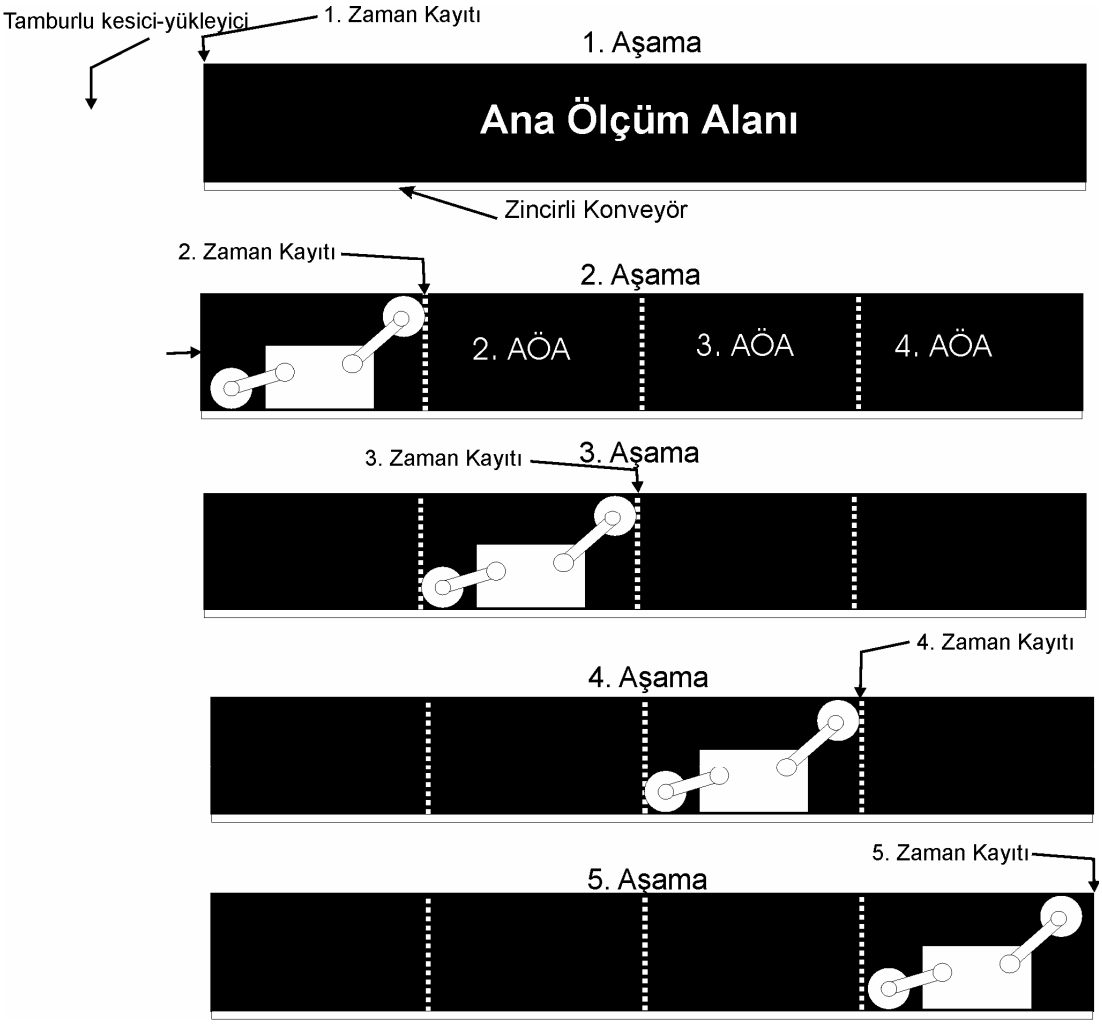
7.3.1. Bilgi İşlem Merkezinden akımların izlenmesi

Bilgi işlem merkezinde tamburlu kesicinin akım değerleri, üretim panosunu izleyen bilgisayarın saatine göre kaydedilmektedir. Diğer bir değişle yeraltından yerüstüne ulaşan bilgileri tutan bilgisayarın saatine göre bu bilgiler depolanmaktadır. Yeraltında çalışan makinaların çektiği akım değerlerinin Bilgi İşlem Merkezinde izlenmesi sırasında veri akışı 3 saniye'de olmaktadır. Bu zaman aralığı bu çalışmada ihmal edilmiştir. Bilgisayardaki saate göre veri diskine kaydedilen verilerin zaman değerleri ile yeraltında çalışma esnasında ölçülen zaman değerleri arasında uyuşmazlık olmasını önlemek için, ocak içerisine inilmeden önce bilgisayarın saati ile araştırmada kullanılan saat aynı zamana ayarlanmıştır. Böylece tamburlu kesicinin yeraltında hangi zaman aralığında hangi bölgeyi kazdığının belirlenebilmesi mümkün olmuştur.

7.3.2. Kazı arınında tamburlu kesici makinanın izlenmesi

Kazı arınının mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla, kazı arını üzerinde yaklaşık 45 dakika süren Schmidt sertlik ölçümleri, nokta yükleme dayanımı ve yoğunluk-gözeneklilik deneyleri için arından numune alma işlemleri tamamlandıktan sonra belirlenen bölgenin kazı işlemine geçilmiştir. Her performans ölçümü öncesinde ayaktaki çalışmalar yaklaşık 30–45 dakika mekanik deneyler ve arının performans ölçümüne hazırlanması için durdurulmuştur. Bu çalışmalar genellikle kazıcının ayak başında ya da kuyrukta arını yeni kazıya hazırlarken yapılmasına gayret edilmiştir (Şekil 4.2 ve Şekil 7.6). Performans ölçümlerinde ilk olarak tamburlu kesici ana ölçüm alanı olarak belirlenen bölgenin başına, öndeki tamburu gelecek şekilde getirilerek burada durdurulmuştur (Şekil 7.7). Kazı yapılan yöndeki tambur ön, diğeri arka tambur olarak adlandırılmıştır. Şekil 7.7'de görüldüğü gibi ana ölçüm alanında oluşturulan 4 eşit alt ölçüm alanının başlangıç ve bitiş sınırları daha önceden belirlenmiştir. Yapılan bu hazırlıklardan sonra sabit bir hızla bu bölgeyi kazma işlemine başlanmıştır. Bu işleme başlanırken de kazının ilk başladığı zaman kayıt altına alınmıştır. Ana ölçüm alanının içerisinde oluşturulan her alt alanın başlangıç yerine makinanın ön tamburu geldiğinde tekrar zaman kayıt edilmiştir (Şekil 7.7). Şekil 7.7'de belirtilen 5. aşamada görüldüğü gibi 4. alt ölçüm alanının sonuna ön tambur geldiği anda ölçüm çalışmalarına son verilmiştir. Böylece kazı işlemi bitene kadar 5 adet zaman bilgisi kayıt altına alınmıştır.

Daha önce bahsedildiği gibi ana ölçüm bölgesi olarak ayak içerisinde 48 m uzunluğunda bir kazı arını seçilmiş ve ana ölçüm alanı olarak adlandırılmıştır. Bu bölgede kazı öncesi mekanik yüzey sertlik belirleme deneyleri gerçekleştirilmiş ve arından numuneler alınmıştır (Bölüm 6).



Şekil 7.7. Ana ölçüm alanı üzerindeki kesim işleminin aşamaları.

7.3.3. Bilgi işlem merkezinden alınan değerlerin yorumlanması

Mekanik özellikleri tanımlanmış olan ana ölçüm alanı tamburlu kesici ile kazılarak, kazı esnasındaki akım değerlerindeki değişimlerin bu çalışmada belirlenmesi planlanmıştır.

Bilgi İşlem Merkezi'nden tamburlu kesici-yükleyici makinanın ölçüm bölgesini kazarken çektiği akım değerleri saniye bazında izlenebilmekte ve bilgisayarda kayıt edilebilmektedir. Tamburlu kesici üzerinde 3 adet elektrik motoru bulunmaktadır. Bunlardan ikisi kesici kafaların enerji ihtiyacının sağlarken diğeri makinanın yürüyüşü için gereken enerjiyi sağlamaktadır. Bilgi işlem merkezinden alınan akım değerleri bu 3 motorun harcadığı akım değerinin toplamı olmaktadır.

Park Teknik Çayırhan kömür işletmesinde kurulu olan mevcut veri izleme ünitesinin teknik yapısı ile bu toplam akım değerlerinin birbirinden tamamen ayrılmasının mümkün olmadığı yetkililerce beyan edilmiştir. Kazı yapan iki tamburun çektiği akım değerlerinin birbirinden ayrılmasının mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Ancak tamburlu kesicinin kazı yapmaksızın boşta çalışması durumunda yaklaşık 22–24 amper arasında akım çektiği tespit edilmiştir.

Öndeki ve arkadaki kesici kafalar arasında yaklaşık 12 m'lik bir uzaklık bulunmaktadır (Şekil 7.7). Bu durum mekanik deneylerin yapıldığı birim ölçüm alanı bazında (Şekil 7.3) akım değerlerinin analizini güçleştirmektedir. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için tamburlu kesici-yükleyici boyuna eşit (12 m) olan alt ölçüm bölgelerine tekabül eden akım değerlerinin dikkate alınmasının daha uygun olacağı görüşü benimsenmiştir. Akım değerleri bu bölgelere göre değerlendirilmiştir. Analizler birim ölçüm alanı (Şekil 7.3) bazında değil alt ölçüm alanları bazında (Şekil 7.2 ve 7.7) yapılmıştır. Şekil 7.3'de ifade edilen birim ölçüm bölgeleri, arında gerçekleştirilen mekanik deneylerde kullanılmıştır.

Farklı tarihlerde Şekil 7.7 görüldüğü gibi çalışmalar yürütülmüştür. 4 bölgeye bölünen ana ölçüm alanından elde edilen akım değerleri analizlerde kullanılmıştır. Şekil 7.7'de görüldüğü üzere başlangıçta tamburlu kesicinin ön tamburu 1. bölgeyi kazarken, arka tamburu ana ölçüm alanı dışındaki bir bölgeyi kazmaktadır. Benzer durum diğer alt ölçüm alanları içinde geçerlidir. Ön tambur 2. alt ölçüm alanına girerken arka tambur henüz 1. alt ölçüm alanına girmiş olmaktadır. Deneysel çalışmanın 5. son aşamasında ön tambur deney sahasını terk ederken arka tambur daha yeni 5. alt ölçüm alanını kazmaya başlamaktadır.

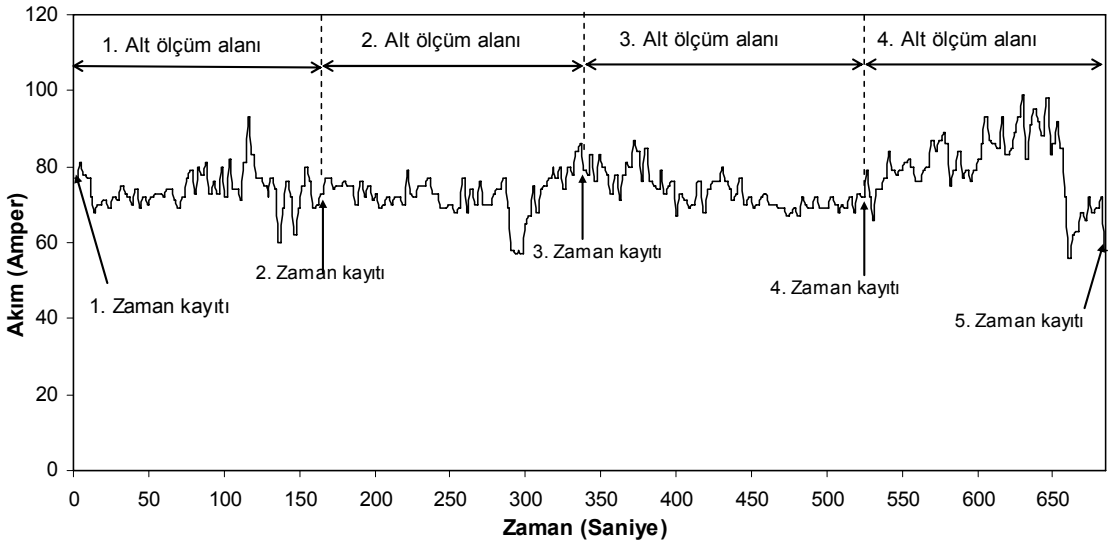
Deneysel çalışmada tamburlu kesici-yükleyicinin daha önceden belirlenen sınır noktalarından geçerken kayıt altına alınan zaman değerleri kullanılarak oluşturulan tipik bir grafik Şekil 7.8'de diğerleri ise EK-I'de sunulmuştur. Bilgi İşlem Merkezinden alınan verilere tipik bir örnek ise Çizelge 7.1'de görülmektedir.

Şekil 7.8'de sunulan akım değerleri, tamburlu kesici-yükleyici üzerinde bulunan üç motorun (iki kesici kafa ve yürüyüş motoru) toplamının çektiği akımdır. Daha önce söz edildiği gibi kesici kafanın boşta çalıştırılması durumunda yürüyüş motorunun 22–24 amper çektiği belirlenmiş ve not edilmiştir

Çizelge 7.1. 25 Temmuz 2006 tarihinde ocak içerisinde çalışan makinaların çektiği akım değerleri

Kayıt Zamanı (Bkz. Şekil 7.8)	Zaman	Geçen Süre (sn)	Tamburlu kesici (Eickhoff SL300) (Amper)	Zincirli konveyör (Ana tahrik) (Amper)	Zincirli konveyör (Yardımcı tahrik) (Amper)	Çekiçli kırıcı (Amper)	Aktarma konveyörü (Amper)
1. Zaman kayıtı	19:07:44	1	77	142	0	101	25
	19:07:45	2	77	141	0	114	25
	19:07:46	3	77	141	0	114	25
	19:07:47	4	81	141	0	114	24
	19:07:48	5	81	141	0	102	24
	19:07:49	6	78	141	0	102	24
	…	...	…	…	…	…	…
2. Zaman kayıtı	19:10:47	164	73	156	0	120	26
	19:10:48	165	77	156	0	120	27
	19:10:49	166	77	150	0	120	27
	19:10:50	167	77	150	0	120	27
	19:10:51	168	77	150	0	120	28
	19:10:52	169	77	158	0	114	28
	...	...	…	…	…	…	…
3. Zaman kayıtı	19:14:38	348	76	138	0	98	25
	19:14:39	349	83	138	0	98	26
	19:14:40	350	83	143	0	99	26
	19:14:41	351	80	143	0	99	26
	19:14:42	352	80	143	0	99	25
	19:14:43	353	80	140	0	102	25
	…	...	…	…	…	…	…
4. Zaman kayıtı	19:18:29	529	72	165	0	134	30
	19:18:30	530	66	165	0	134	30
	19:18:31	531	66	165	0	134	30
	19:18:32	532	66	172	0	125	30
	19:18:33	533	74	172	0	125	30
	19:18:34	534	74	174	0	136	26
	…	...	…	…	…	…	…
5. Zaman kayıtı	19:21:06	685					

Bu çizelgedeki veriler azaltılarak sunulmuştur.

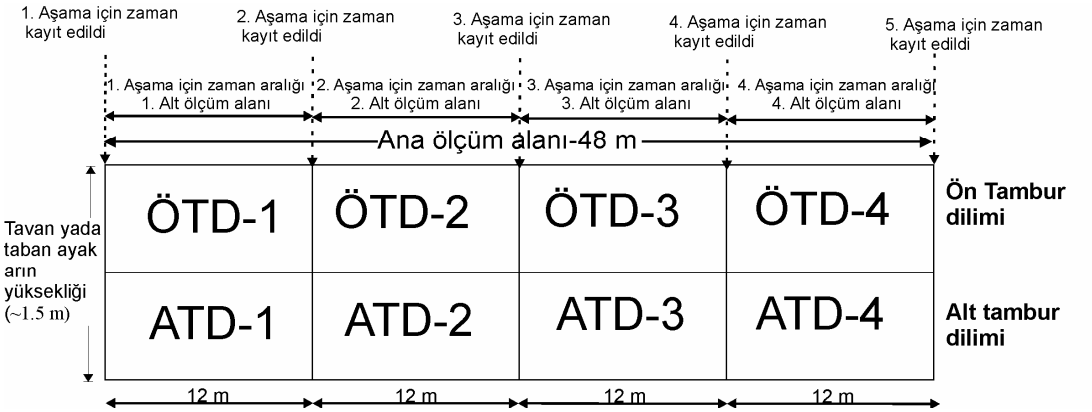


Şekil 7.8. 25 Temmuz 2006 tarihinde ana ölçüm alanında gerçekleştirilen ölçüme ait tamburlu kesici-yükleyicinin çektiği akım değerleri.

Çizelge 7.1 ve Şekil 7.8'den görüldüğü üzere toplam akım değerleri 56–99 amper arasındadır. Her iki kesici kafa motorunun çektiği akım değerlerinin de birbirinden ayrılmaması nedeni ile analizlerde Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan toplam akım değerlerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Şekil 7.8'de sunulan akım değerleri, makinanın anlık çektiği akımları göstermektedir. Performans analizi için gerçekleştirilen mekanik deneylerde arının belirli alanları (birim alt alan, Şekil 7.3) dikkate alınmıştır. Alansal mekanik değerlere karşılık noktasal akım değerleri değil yine alansal akım değerlerinin belirlenmesi gerektiği dikkate alınarak bu çalışmada bir tamburlu kesici-yükleyici boyuna (12 m) eşit (Şekil 7.3) alt ölçüm alanı içerisinde kullanılan akım değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Böylece eğer ölçüm tavan ayakta yapılıyorsa alt ölçüm alanları olan Tv-1, Tv-2, Tv-3 ve Tv-4'e ait ortalama akım değerleri hesaplanmıştır. Aynı şekilde eğer taban ayakta ölçüm yapılıyor ise alt ölçüm alanları olan Tb-1, Tb-2, Tb-3 ve Tb-4'e ait ortalama akım değerleri bulunmuştur (Şekil 7.2). Ancak ölçüm arınında tambur kafalarının farklı noktalarda olması (Şekil 7.7) nedeni ile değerlendirmede önceden karar verilecek bir değerlendirme metodunun kullanılmasına karar verilmiştir. Literatürde benzer çalışmaların hemen hemen hepsi tünel ya da galeri arınında gerçekleştirildiği için kullanılacak metot bu çalışmada geliştirilmiştir.

Şekil 7.2 ve 7.7'de belirtildiği gibi hazırlanan arın burada kağıt üzerinde Şekil 7.9'da görüldüğü şekilde ön ve arka tambur yollarında bölünmüştür. Ön tamburun ilerlediği yol üzerinde bulunan her bir alt ölçüm alanına karşılık gelen kısım Ön Tambur Dilimi 1 (ÖTD-1, ÖTD-2, ÖTD-3 ve ÖTD4 olarak adreslenmiştir. Aynı şekilde arının alt dilimi Arka Tambur Dilimi 1 (ATD-1), ATD-2, ATD-3 ve ATD-4 olarak tanımlanmıştır. Ayak içersindeki tamburlu kesicinin çalışması da dikkate alınarak bu problemin üstesinden gelmek amacıyla ÖTD-2 ile ATD-1, ÖTD-3 ile ATD-2 ve ÖTD-4 ile ATD-3 üst üste gelmiş gibi varsayılmıştır.



Şekil 7.9. Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan akım değerlerinin performans analizi için hazırlanması.

Şekil 7.7'den izlendiği gibi tamburlu kesicinin ön tamburu dikkate alınarak tambur 1. aşamada iken deneysel çalışma başlatılmış ancak performans analizleri için makinanın ön tamburu dikkate alınarak 2. aşama kazı zaman aralığı, 3. aşama kazı zaman aralığı ve 4. aşama kazı zaman aralığı değerlendirmeye alınmıştır. Böylece her iki tamburun bu çalışma için belirlenen 48 m'lik ana ölçüm alanı içerisinde olduğu yani kazı yaptığı zaman aralığı olan 2. aşama ile 5. aşama için kayıt edilen zaman (Şekil 7.9) aralığına tekabül eden veriler ham veri tabanından (Çizelge 7.1) seçilerek performans analizleri yapılmıştır.

7.4. Tamburlu Kesici-Yükleyici Üzerindeki Mevcut Ekrandan Performans Ölçüm Sistematiği

Ayak içerisinde çalışan personelin, özellikle de tamburlu kesici operatörünün, makina hakkındaki teknik bilgileri sayısal olarak izleyebilmesi için makina üzerine yerleştirilmiş bir sistem bulunmaktadır. Makina üzerinde bulunan dijital bir ekran üzerinden kesici kafaların ve yürüyüş motorunun çektikleri akımlar (A), ilerleme hızı (m/dk), çalışma sıcaklığı (ºC) gibi parametreler ayrı ayrı izlenebilmiştir (Şekil 7.10).

Bölüm 7.3'de anlatılan tarzda tamburlu kesici makina çalışırken akım değerleri sadece Bilgi İşlem Merkezi'nden değil aynı zamanda makina üzerindeki ekrandan da okunmuştur. Makine kazı işlemi yaparken kesici kafaların çekmiş olduğu akım değerleri ön ve arka kafalar bazında ekrandan görmek mümkün olmaktadır (Şekil 7.10). Ancak bu değerler herhangi bir şekilde bir sisteme kayıt yapılamamaktadır. Gözle okunan değerler arındaki zorluğa bağlı sürekli görülüp kaybolmaktadır. Bilgi İşlem ise bu değerlerin toplamını kayıt edebilmektedir.

Tamburların ayrı ayrı çektikleri akımlara göre analizler yapabilmek ve alt ölçüm alanı bazında (Şekil 7.2 ve 7.7) yapılacak analizlerin doğruluğunu test etmek amacıyla, kesim anında makine üzerinden 10-30 saniye arayla her bir kesici kafanın ve yürüyüş motorlarının akım değerleri ayrı ayrı okunmuştur. Okumaların yapıldığı ekran tamburlu kesici şasesinin tam orta bölümünde üretici firma tarafından takılmıştır. Makina sabit bir hızda kazı işlemine geçtiğinde araştırma gurubundan bir kişi ekranın tam önünde bulunacak şekilde kazı makinası ile harekete başlamıştır. Makina kazı yaparak ilerlerken ortalama her 10 saniyede bir göz ile okuma yapılmış ve bir başka kişi tarafından yazılmıştır. Okuma aralığı ortamdaki yüksek gürültü ve hareketli ortamların olmasından dolayı emniyet göz önüne alınarak daha kısaltılamamıştır. Bu tarzda 25 Temmuz 2006 tarihinde yapılan ölçüm sonuçlarını yansıtan tipik bir sonuç Çizelge 7.2'de sunulmuştur. 10 saniye aralıklarla alınan akım değerlerinin ön ve arka kesici kafa bazında ve ayrıca toplamdaki büyüklükleri Şekil 7.11'de verilmiştir.

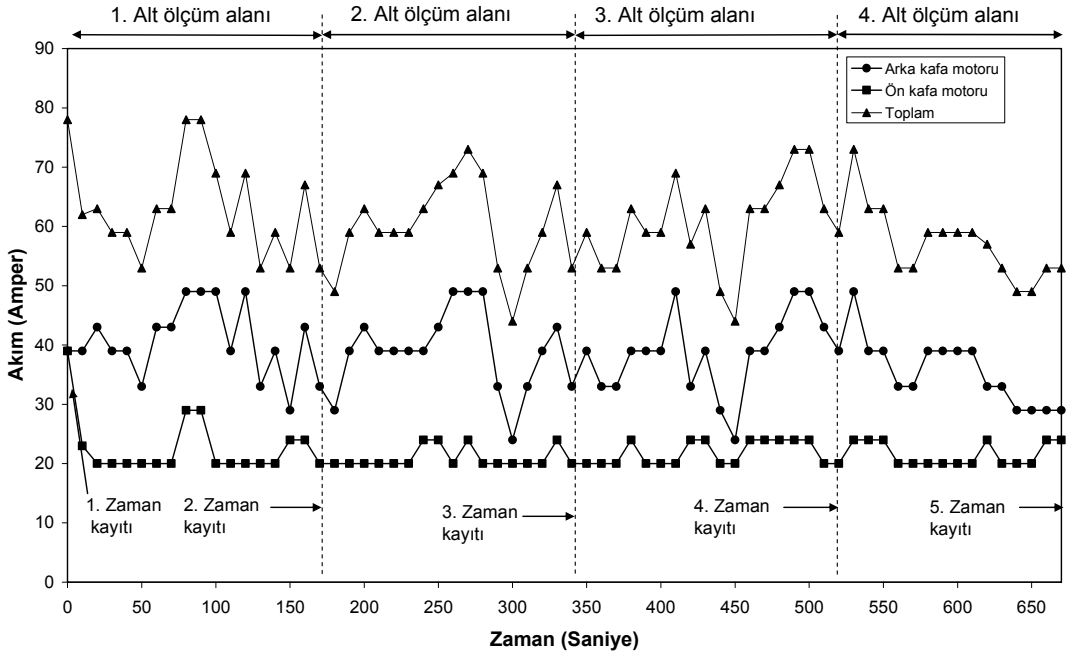
Çizelge 7.2. 25 Temmuz 2006 tarihinde arında gerçekleştirilen performans ölçümlerinin makina üzerindeki ekrandan okunması

Kayıt zamanı (Bkz Şekil 7.11)	Zaman (sn)	Arka kafa motoru (Amper)	Ön kafa motoru (Amper)	Toplam kesici kafa motorları (Amper)
1. Zaman kayıtı	0	39	39	78
	10	39	23	62
	20	43	20	63
	30	39	20	59
	40	39	20	59
	50	33	20	53
	60	43	20	63
	70	43	20	63
	80	49	29	78
	90	49	29	78
	...	…	…	…
2. Zaman kayıtı	170	33	20	53
	180	29	20	49
	190	39	20	59
	200	43	20	63
	210	39	20	59
	220	39	20	59
	230	39	20	59
	240	39	24	63
	250	43	24	67
	260	49	20	69
	...	…	…	…
3. Zaman kayıtı	340	33	20	53
	350	39	20	59
	360	33	20	53
	370	33	20	53
	380	39	24	63
	390	39	20	59
	400	39	20	59
	410	49	20	69
	420	33	24	57
	430	39	24	63
	440	29	20	49
	...	…	…	…
4. Zaman kayıtı	520	39	20	59
	530	49	24	73
	540	39	24	63
	550	39	24	63
	560	33	20	53
	570	33	20	53
	580	39	20	59
	590	39	20	59
	600	39	20	59
	610	39	20	59
	...	…	…	…
5. Zaman kayıtı	670			

Bu çizelgedeki veriler azaltılarak sunulmuştur.



Şekil 7.10. Tamburlu kesici-yükleyicinin üzerinde bulunan ve makina hakkında bazı bilgileri gösteren ekran.



Şekil 7.11. Makina üzerindeki ekrandan okunan akım değişimleri (25 Temmuz 2006 ölçümü).

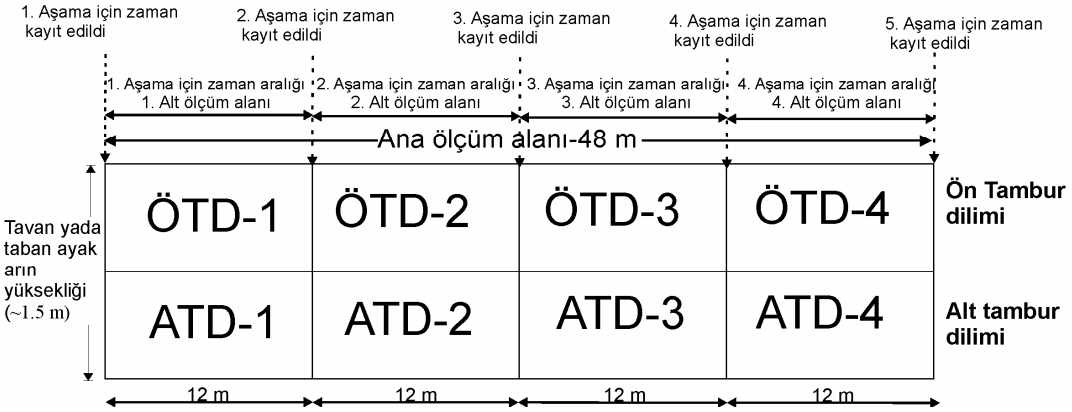
Şekil 7.11'de sunulan akım değerleri, tamburlu kesici-yükleyici üzerinde bulunan iki kesici kafanın dönmesine yarayan iki motorun çektiği akım değerleridir. Bölüm 7.3, Şekil 7.8'de sunulan akım değerleri Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan akım değerleri olup bu tamburlu kesici-yükleyicinin çektiği toplam akım değerlerinin

(iki kesici kafa motoru ve yürüyüş motoru), Şekil 7.11'de sunulan toplam akım değerlerine benzer olduğu görülmektedir. Şekil 7.8 ve 7.11'de sunulan her iki grafikteki yaklaşık 20–30 amper farkın yürüyüş motorunun çektiği akım değerlerinden oluştuğu görülmektedir.

Şekil 7.11'de sunulan akım değerleri kesicinin ön ve arka kafa motorları tarafından çekilen anlık değerlerdir. Kesici makinanın performansını belirlemek için kömür arınında gerçekleştirilen mekanik deneyler Bölüm 5'de anlatıldığı gibi belirlenen alt ölçüm alanlarında oluşturulan birim ölçüm alanlarında (Şekil 7.3) yapıldığı için anlık ölçülen akım değerleri ile kolayca karşılaştırılamayacağı durumu ortaya çıkmıştır. Bu problemin üstesinden gelmek için Bölüm 7.3'de kullanılan yaklaşım burada da kullanılmıştır. Bunun için bir tamburlu kesici-yükleyici boyu (12 m) olan alt ölçüm alanları (Şekil 7.2) performans analizi için dikkate alınmıştır. Her bir alt ölçüm alanında yapılan mekanik deneyler ve ölçülen akım değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Böylece iki farklı kaynaktan belirlenen akım değerleri aynı yaklaşım ile analizlerde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

Çizelge 7.2'de sunulan veriler Bölüm 7.3'de anlatıldığı gibi (Şekil 7.2 ve 7.7) tamburlu kesicinin ana ölçüm alanındaki hareketi daha önceden belirlenen sınırlarda okunan zaman aralıklarında bölünmüştür. Performans analizi için ön ve arka tamburun izlediği yollar belirlenmiş ve bu yol üzerinde olan alt ölçüm alanları Şekil 7.12'deki gibi adreslenmiştir. Ön ve arka tamburların çektiği akım değerleri ayrı ayrı okunabildiği ancak tamburların kazı esnasında farklı noktalarda oldukları hatırlanırsa performans değerlendirmelerinde, Şekil 7.12'de tanımlanan alanlardan ön tambur ÖTD-1 alanından geçerken arka tambur henüz deney sahasının dışındadır (Şekil 7.7 ve 7.12). Bundan dolayı ÖTD-2'den ön tambur geçerken arka tambur ATD-1'de kazı yapmaktadır. Aynı şekilde ön tambur ÖTD-4'ü geçerken arka tambur ATD-3'ü geçmektedir. Son aşamada ise ön tambur ana deney sahasını terk ederken arka tambur henüz ATD-4'ü kazmaya başlamaktadır. Ön ve arka tamburun çektiği akım değerleri makina üzerindeki ekrandan (Şekil 7.10) ayrı ayrı okunabildiği için ön tamburun ÖTD-2'yi geçerken arka tamburun ise ATD-2'yi geçtiği andaki akım değerleri birleştirilmiştir. Aynı şekilde ön tambur ÖTD-3, arka tambur ATD-3 geçerken ayrıca ön tambur ÖTD-4, arka tambur ATD-4'ü geçerken çektiği akım

değerleri birleştirilmiştir. Çizelge 7.2 ve Şekil 7.11'de sunulan akım değerleri yukarıda bahsedilen açıklama doğrultusunda hazırlanmıştır.

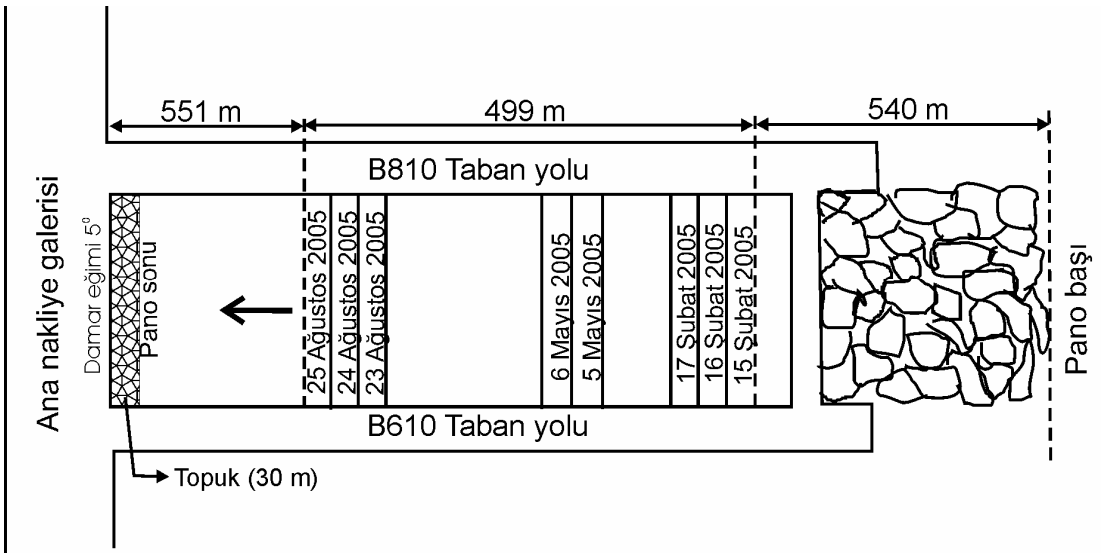


Şekil 7.12. Tamburlu kesici-yükleyici makina üzerindeki ekrandan alınan akım değerlerinin analiz için hazırlanması.

7.5. B06 Panosunda Gerçekleştirilen Performans Ölçümleri

B06 panosunda Bölüm 7.3'de ve 7.4'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirilen performans ölçümleri farklı tarihlerde 10 ana ölçüm bölgesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.13). Çayırhan kömür havzasında kömür üretimi yapılan B sektöründe arakesme kalınlığı fazla olduğu için arakesmenin üstü tavan kömürü altı ise taban kömürü olarak isimlendirilmektedir. Şekil 7.1'de görüldüğü gibi damarda 6 m genişliğinde 5.5 m yüksekliğinde sürülen taban yolları kullanılarak iki ayrı uzun ayak oluşturulmaktadır. Ocakta elde edilen tecrübeler ışığında her iki ayak arası 25–40 m tutulmaktadır. Bu çalışma için arında belirlenen 48 m uzunluğundaki alanda mekanik deneylerin yapılması ve arının performans ölçümleri için hazırlanması, ayrıca tamburlu kesici-yükleyici operatörlerin hazırlanması 45-60 dakika, makinanın bu alanı kazması ise yaklaşık 10-15 dakika sürmektedir. Bir üretim vardiyasında tamburlu kesici-yükleyicinin 45-60 dakika durdurulması, yaklaşık 90 ton kömürün kazılmaması anlamına gelmekte, bu miktarda normal koşullarda kazıcı makinanın bir vardiyada kazdığı malzemenin % 7.42'sine tekabül etmektedir. Arazi çalışmaları için ocağa gidildiğinde üretim planına uygun olan yoğun üretim hangi ayakta yapılıyorsa bu ayakta ölçümlerin yapılmasına işletme müsaade etmemiştir. İki ayak arasındaki mesafe dikkate alınarak yapılan çalışmada üretimin yavaşlatılabileceği ayakta

ölçümlerin yapılmasına izin verilmiştir. Bu nedenlerden dolayı çalışmalar, istediğimiz ayakta değil ölçüm tarihindeki üretimin ve ayaklar arasındaki mesafenin durumuna bağlı olarak ocak yönetiminin isteği doğrultusunda yapılmıştır. Bu nedenle, B06 panosunda; 9 ölçüm taban ayakta, 1 ölçüm ise tavan ayakta yapılabilmiştir.



Şekil 7.13. Başlangıçta 1590 m uzunluğundaki B06 panosunda ölçüm yapılan tarihlerde kazı arınının pozisyonları.

Her ölçüm bölgesinde belirlenen 4 alt ölçüm alanı Bölüm 7.2 ve 7.3'de anlatıldığı gibi değerlendirilerek toplam 30 farklı akım değerlerinden oluşan veri tabanı hazırlanmıştır. Performans değerlendirmelerinde aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır.

- Spesifik enerji (kWh/m^3)
- Net kazı hızı (m^3/h)
- Yürüyen tahkimatlara gelen tavan basınçları (Bar)
- Ana ölçüm alanının performans ölçümleri için yapılan kazı öncesi bekleme zamanı (saat)

Spesifik enerji değerlerinin hesaplanabilmesi için, kazıcı makinanın 1 m^3 malzemeyi kazması için harcadığı enerji miktarının hesaplanması gerekir. Makinanın üzerindeki sistemler vasıtasıyla bu enerji kW cinsinden hesaplanabilmektedir. Makinanın kazı esnasında harcadığı akım (Amper) miktarlarını hem makina üzerindeki bir dijital göstergeden hem de Bilgi İşlem Merkezi'nden saniye saniye

izlemek mümkün olmaktadır. Bu akım değerleri yardımıyla makinanın belirli zaman aralığında tüketmiş olduğu enerjiyi kW cinsinden hesaplamak mümkün olmaktadır. Kazıcı makinanın 1 m^3 kazıyı yapabilmesi için harcamış olduğu enerji miktarının bulunması sonucunda (Eşitlik 1, 2 ve 3) spesifik enerji değeri de elde edilmiştir.

Makinanın net kazı hızının bulunabilmesi için 1 saat içinde kaç m^3 kazı yapıldığının bilinmesi gerekir. Kazı miktarının hesaplanabilmesi için makinanın ilerleme hızının bilinmesi gereklidir. Bunun için her bir ölçüm alanında makinanın ilerleme hızı (m/dk) hesaplanmıştır. Bu veriden hareketle de 1 saat içinde üretilen kömür miktarı (m^3) hesaplanmıştır. Burada arın yüksekliği 1.5 m ve tamburun damara batma derinliği ise 0.7 m alınmıştır. Böylece her bir ölçüm bölgesinin net kazı hızları (m^3/h) bulunmuştur (Çizelge 7.3).

Üçüncü parametre ise ölçüm bölgesinde gerçekleştirilecek ölçüm öncesinde geçen süredir. Ayağın çalışmadığı zamanlarda arının ikincil arazi gerilmeleri ile etkilenmesinin kazıcının performansına olan etkisi araştırılacağı için ölçümler yapılırken kazı öncesi ayağın çalışmadığı sürelerin farklı olmasına dikkat edilmiştir.

Ayağın kazı yapılmaksızın bekletilmesi sonucunda tavanda oluşan ikincil arazi gerilemeleri artmakta ve sonuçta basınçlar tahkimat ünitelerine ve arına transfer olmaktadır. Bu durumda yüklerin arın ve tahkimat ünitelerine dağıldığı göz önüne alınırsa tahkimat elemanı üzerinden okunan basınçlar kadar arında da basınçların olduğu söylenebilir. Gözle yapılan gözlemlerde tahkimat basıncının artması ile arında tabakalar halinde kavlaklanmaların olduğu ve kömürün aktığı görülmüştür. Bu nedenle tavan basınçlarının tahkimat üniteleri yardımıyla izlenmesinin gerektiği düşünülmüştür. B06 panosunun taban ve tavan ayağında yapılan ölçümler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

7.5.1. Taban ayak arınında tamburlu kesici-yükleyici performans ölçümleri

B06 panosunda taban ayakta gerçekleştirilen performans ölçümleri farklı tarihlerde 9 ana ölçüm bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Her ana ölçüm bölgesinde yapılan ölçümlerden hazırlanan veri tabanında toplam 36 adet ölçüm seti hazırlanmıştır (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3. B06 panosu taban ayak arınında tamburlu kesici-yükleyiciye ait performansı ölçümleri

Ölçüm Tarihleri	Kazı Yönü	Alt ölçüm alanı no	Akım (1) (Amper)	Akım (2) (Amper)	Çalışma Voltajı (Volt)	Net kazı hızı (m^3/h)	Spesifik Enerji (1) (kWh/m^3)	Spesifik Enerji (2) (kWh/m^3)	Kazı Hızı (m/dk)	Tahkimat Basınçları (Bar)	Ayağın kazı öncesi çalışmadığı süre (saat)
15 Şubat	EA	1	99.39	78.70	3300	272.8	1.20	0.95	4.33	329.1	4.7
15 Şubat	EA	2	116.36	91.90	3300	280.9	1.37	1.08	4.46	329.1	4.7
15 Şubat	EA	3	113.88	89.97	3300	276.4	1.36	1.07	4.39	329.1	4.7
15 Şubat	EA	4	99.51	78.79	3300	274.7	1.20	0.95	4.36	329.1	4.7
16 Şubat 1. kesim	EY	1	86.82	56.33	3300	252.0	1.13	0.74	4.00	310.0	11.7
16 Şubat 1. kesim	EY	2	89.69	65.67	3300	340.8	0.87	0.64	5.41	334.3	11.7
16 Şubat 1. kesim	EY	3	100.87	77.67	3300	272.8	1.22	0.94	4.33	350.7	11.7
16 Şubat 1. kesim	EY	4	96.34	79.20	3300	284.7	1.12	0.92	4.52	347.9	11.7
16 Şubat 2. Kesim	EY	1	101.86	73.75	3300	285.7	1.18	0.85	4.53	282.1	1.4
16 Şubat 2. Kesim	EY	2	92.17	68.50	3300	278.0	1.09	0.81	4.41	282.1	1.4
16 Şubat 2. Kesim	EY	3	91.34	66.50	3300	274.7	1.10	0.80	4.36	282.1	1.4
16 Şubat 2. Kesim	EY	4	103.55	107.25	3300	285.4	1.20	1.24	4.53	282.1	1.4
17 Şubat 1. Kesim	EY	1	100.79	82.67	3300	274.7	1.21	0.99	4.36	322.1	11.3
17 Şubat 1. Kesim	EY	2	86.49	62.25	3300	278.0	1.03	0.74	4.41	324.4	11.3
17 Şubat 1. Kesim	EY	3	95.88	75.33	3300	274.7	1.15	0.91	4.36	323.1	11.3
17 Şubat 1. Kesim	EY	4	108.91	77.00	3300	274.7	1.31	0.93	4.36	325.7	11.3
17 Şubat 2. Kesim	EA	1	106.96	86.17	3300	295.5	1.19	0.96	4.69	302.7	2.1
17 Şubat 2. Kesim	EA	2	114.53	95.50	3300	285.4	1.32	1.10	4.53	302.7	2.1
17 Şubat 2. Kesim	EA	3	106.54	78.00	3300	280.9	1.25	0.92	4.46	302.7	2.1
17 Şubat 2. Kesim	EA	4	95.08	68.67	3300	278.6	1.13	0.81	4.42	302.7	2.1
6 Mayıs	EA	1	96.62	66.07	3300	254.5	1.25	0.86	4.04	348.6	5.1
6 Mayıs	EA	2	102.13	78.38	3300	218.0	1.55	1.19	3.46	342.9	5.1
6 Mayıs	EA	3	92.10	82.40	3300	191.4	1.59	1.42	3.04	352.1	5.1
6 Mayıs	EA	4	85.71	82.20	3300	275.2	1.03	0.99	4.37	324.4	5.1
23 Ağustos	EY	1	98.70	78.17	3300	234.4	1.39	1.10	3.72	330.5	5
23 Ağustos	EY	2	72.53	57.80	3300	219.9	1.09	0.87	3.49	330.5	5
23 Ağustos	EY	3	80.92	64.32	3300	241.3	1.11	0.88	3.83	330.5	5
23 Ağustos	EY	4	97.67	77.36	3300	264.6	1.22	0.96	4.20	264.6	5

Çizelge 7.3. (Devam) B06 panosu taban ayak arınında tamburlu kesici-yükleyiciye ait performans ölçümleri

Ölçüm Tarihleri	Kazı Yönü	Alt ölçüm alanı no	Akım (1) (Amper)	Akım (2) (Amper)	Çalışma Voltajı (Volt)	Net kazı hızı (m^3/h)	Spesifik Enerji (1) (kWh/m^3)	Spesifik Enerji (2) (kWh/m^3)	Kazı Hızı (m/dk)	Tahkimat Basınçları (Bar)	Ayağın kazı öncesi çalışmadığı süre (saat)
24 Ağustos	EA	1	118.36	93.47	3300	240.0	1.63	1.29	3.81	328.1	4.5
24 Ağustos	EA	2	70.37	56.12	3300	230.0	1.01	0.81	3.65	328.1	4.5
24 Ağustos	EA	3	97.59	77.29	3300	245.1	1.31	1.04	3.89	328.1	4.5
24 Ağustos	EA	4	106.00	83.84	3300	271.5	1.29	1.02	4.31	328.1	4.5
25 Ağustos	EY	1	69.52	55.47	3300	223.7	1.03	0.82	3.55	341.8	10
25 Ağustos	EY	2	89.47	70.98	3300	227.4	1.30	1.03	3.61	341.8	10
25 Ağustos	EY	3	95.39	75.58	3300	214.8	1.47	1.16	3.41	341.8	10
25 Ağustos	EY	4	83.86	66.61	3300	226.8	1.22	0.97	3.60	341.8	10

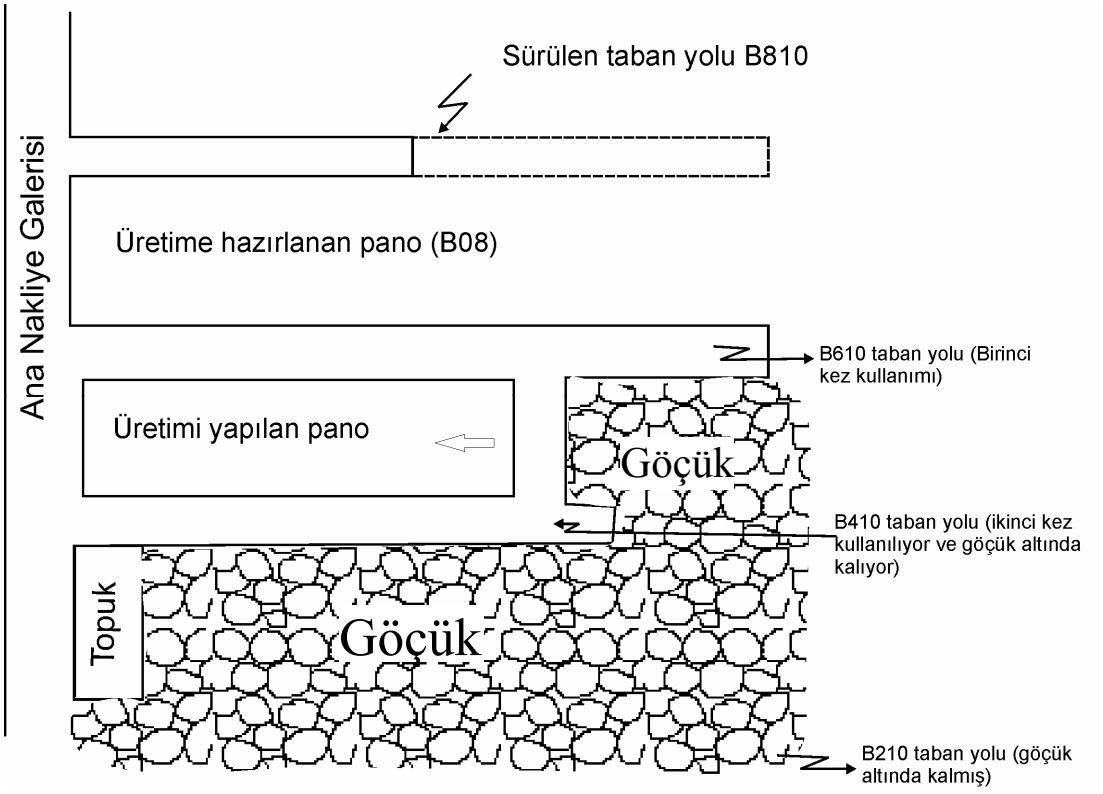
EA: Eğim aşağı kazı; EY: Eğim yukarı kazı
(1): Veri toplama ünitesi yardımıyla elde edilen spesifik enerji değerleri
(2): Tamburlu kesici-yükleyici üzerinden okunarak elde edilen spesifik enerji değerleri

Çizelge 7.4. B06 panosu tavan ayak arınında tamburlu kesici-yükleyiciye ait performans ölçümleri

Ölçüm Tarihleri	Kazı Yönü	Alt ölçüm alanı no	Akım (1) (Amper)	Akım (2) (Amper)	Çalışma Voltajı (Volt)	Net kazı hızı (m^3/h)	Spesifik Enerji (1) (kWh/m^3)	Spesifik Enerji (2) (kWh/m^3)	Kazı Hızı (m/dk)	Tahkimat Basınçları (Bar)	Ayağın kazı öncesi çalışmadığı süre (saat)
5 Mayıs	EA	1	63.20	49.67	3300	223.7	0.93	0.73	3.15	333.1	3.1
5 Mayıs	EA	2	69.38	55.00	3300	195.9	1.17	0.93	2.80	291.4	3.1
5 Mayıs	EA	3	66.98	52.29	3300	195.4	1.13	0.88	2.79	364.2	3.1
5 Mayıs	EA	4	66.82	52.25	3300	241.2	0.91	0.71	3.44	358.3	3.1

EA: Eğim aşağı kazı; EY: Eğim yukarı kazı
(1): Veri toplama ünitesi yardımıyla elde edilen spesifik enerji değerleri
(2): Tamburlu kesici-yükleyici üzerinden okunarak elde edilen spesifik enerji değerleri

Çizelge 7.3'de sunulan ham verilerden spesifik enerjinin Eşitlik 7.1, 7.2 ve 7.3'e göre nasıl hesaplandığı görülmektedir. Spesifik enerji (1) Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan akım değerlerine bağlı iken spesifik enerji (2) tamburlu kesici-yükleyici üzerinde bulunan ekrandan alınan akım değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. 15, 16, ve 17 Şubat, 6 Mayıs ve 23, 24 ve 25 Ağustos tarihlerinde yapılan çalışmalar kazı yönü dikkate alınarak eğim aşağı ve yukarı olarak Çizelge 7.3'de sıralanmıştır (Şekil 7.14). Çizelgeden görüldüğü üzere eğim yukarı çalışmalarında belirlenen spesifik enerjiler eğim aşağıya olanlara göre daha düşüktür. Ayak eğiminin 5º olduğu bu çalışmada eğimin önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum tamburlu kesici-yükleyicinin eğim aşağıya çalışırken kendi ağırlığı ile arına gereğinden fazla baskı uygulanarak kesim yapmaya çalışmasına bağlanabilir.



Şekil 7.14. Çayırhan kömür havzasında taban yolarının kullanımı.

Aynı durum net kazı hızı (m^3/h)'nda da izlenmektedir. Eğim yukarı çalışmalarında spesifik enerji değerleri düşükken buna paralel olarak da net kazı hızlarının göreceli olarak eğim aşağıya yapılan çalışmalara nazaran arttığı Çizelge 7.3'den izlenmektedir. Doğal olarak spesifik enerji ve net kazı hızlarına etken olan

diğer parametreler tahkimat basıncı (bar) ve ayağın bekleme süreleridir (saat). Çizelge 7.3'de sunulan verilerin grafiksel değerlendirilmesi Bölüm 8'de sunulmuştur.

7.5.2. Tavan ayak arınında tamburlu kesici-yükleyici performans ölçümleri

B06 panosunda tavan ayakta gerçekleştirilen performans ölçümleri 5 Mayıs 2006 tarihinde 1 ana ölçüm bölgesinde olmak üzere gerçekleştirilerek toplam 4 veri seti hazırlanmıştır (Çizelge 7.4). Bu tarihte gerçekleştirilen kazı sadece eğim aşağı olarak yapılmıştır. Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.3 karşılaştırıldığında eğim aşağı yapılan kazılara ait spesifik enerjilerin farklı olduğu görülmektedir. Taban ayaktaki spesifik enerji ve net kazı hızı tavan ayaktaki spesifik enerji ve net kazı hızına göre düşük elde edilmiştir.

7.6. B08 Panosunda Gerçekleştirilen Performans Ölçümleri

B06 panosunda yapılan ölçüm sistematiğinin aynısı dikkate alınarak B08 panosunda gerçekleştirilen performans ölçümleri farklı tarihlerde yine arında hazırlanan 4 ana ölçüm bölgesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.2 ve 7.7). Yerinde yapılan ölçümlerin Bölüm 7.3 ve 7.4'de anlatıldığı şekilde hazırlanması ile 19, 20 ve 25 Temmuz tarihleri için toplam 12 adet ölçüm seti hazırlanmıştır (Çizelge 7.5 ve 7.6). Performans ölçümlerinde spesifik enerji (kWh/m^3), net kazı hızı (m^3/h), yürüyen tahkimatlara gelen tavan basınçları (Bar), ana ölçüm alanının performans ölçümleri için yapılan kazı öncesi bekleme süresi (saat) parametreleri belirlenmiştir. B08 panosunda tavan ve taban ayakta farklı tarihlerde 4 ana ölçüm bölgesinde yapılan çalışma sonuçları aşağıda sunulmuştur. Bu panoda da B06 panosunda olduğu gibi ölçümler tavan yada taban ayakta yapılmıştır.

7.6.1. Taban ayak arınında tamburlu kesici-yükleyici performans ölçümleri

B08 panosunda taban ayakta gerçekleştirilen performans ölçümleri farklı tarihlerde 2 ana ölçüm bölgesinde olmak üzere gerçekleştirilmiş ve toplam 8 veri seti

hazırlanmıştır (Çizelge 7.5). Daha önceden belirtilen nedenlerden dolayı kazılar sadece eğim aşağı olarak yapılmıştır. Çizelge 7.5'den görüldüğü üzere sadece eğim aşağı yapılan ölçümlerde spesifik enerji değerleri 0.83–1.35 8 kWh/m^3 ve 0.58–1.03 kWh/m^3 aralığında değişmektedir. Spesifik enerjinin az olduğu durumda net kazı hızının yüksek olduğu görülmektedir.

7.6.2. Tavan ayak arınında tamburlu kesici-yükleyici performans ölçümleri

B08 panosunda tavan ayakta gerçekleştirilen performans ölçümleri 19 Temmuz 2006 tarihinde 2 ana ölçüm bölgesinde olmak üzere gerçekleştirilmiş ve Bölüm 7.3 ve 7.4'deki veri hazırlama sistematiği ile 8 adet veri seti hazırlanmıştır (Çizelge 7.6). Kazılar eğim aşağı ve eğim yukarı olmak üzere iki farklı şekilde yapılmıştır. Benzer spesifik enerji ile net kazı hızlarında hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bölüm 8'de Çizelge 7.6'da sunulan değerler analiz edilmiştir.

7.7. Taban Yolunda Kollu Galeri Açma Makinası Üzerinde Performans Ölçme Sistematiği

7.7.1. B810 ve C1310 taban yollarının açılmasında izlenen çalışmalar

Çayırhan kömür havzasında yapılan hazırlık çalışmalarında üretimi planlanan uzun ayak panolarının her iki tarafından panonun sınırlarını çizen taban yolları sürülmektedir. Maden ocağında açılan her bir taban yolu, madencilik uygulamasına bağlı olarak iki kez kullanılmaktadır (Şekil 7.14). Taban yollarının sürülmesinde kollu galeri açma makinaları kullanılmaktadır. İşletmede Dosco Mk2A ve Dosco Mk2B kollu galeri açma makinaları kullanılmaktadır. Taban yolu genişliği 6 m ve yüksekliği kömür damarına bağlı olarak 5.5 m olmaktadır. Taban yollarında kazı çalışmaları her vardiyada yaklaşık 2 m boyunca yapılmaktadır. 2 metrelik kazı ve kazılan malzemenin arından uzaklaştırılması 150–180 dakika sürmektedir (Şekil 7.15).

Çizelge 7.5. B08 panosu taban ayak arınında tamburlu kesici-yükleyiciye ait performans ölçümleri

Ölçüm Tarihleri	Kazı Yönü	Alt ölçüm alanı no	Akım (1) (Amper)	Akım (2) (Amper)	Çalışma Voltajı (Volt)	Net kazı hızı (m^3/h)	Spesifik Enerji (1) (kWh/m^3)	Spesifik Enerji (2) (kWh/m^3)	Kazı Hızı (m/dk)	Tahkimat Basınçları (Bar)	Ayağın kazı öncesi çalışmadığı süre (saat)
20 Temmuz	EA	1	81.19	68.06	3300	283.5	0.95	0.79	3.29	160.0	2.2
20 Temmuz	EA	2	86.07	67.05	3300	232.5	1.22	0.95	3.69	200.0	2.2
20 Temmuz	EA	3	100.83	70.84	3300	246.3	1.35	0.95	3.91	230.0	2.2
20 Temmuz	EA	4	97.11	71.75	3300	258.9	1.24	0.91	4.11	263.9	2.2
25 Temmuz	EA	1	73.90	59.73	3300	247.6	0.98	0.80	3.93	290.0	3.8
25 Temmuz	EA	2	73.06	61.40	3300	196.6	1.23	1.03	3.12	283.1	3.8
25 Temmuz	EA	3	73.16	61.63	3300	196.6	1.23	1.03	3.12	371.1	3.8
25 Temmuz	EA	4	80.06	55.66	3300	316.9	0.83	0.58	5.03	372.5	3.8

(1): Veri toplama ünitesi yardımıyla elde edilen spesifik enerji değerleri
(2): Tamburlu kesici-yükleyici üzerinden okunarak elde edilen spesifik enerji değerleri

Çizelge 7.6. B08 panosu tavan ayak arınında tamburlu kesici-yükleyiciye ait performans ölçümleri

Ölçüm Tarihleri	Kazı Yönü	Alt ölçüm alanı no	Akım (1) (Amper)	Akım (2) (Amper)	Çalışma Voltajı (Volt)	Net kazı hızı (m^3/h)	Spesifik Enerji (1) (kWh/m^3)	Spesifik Enerji (2) (kWh/m^3)	Kazı Hızı (m/dk)	Tahkimat Basınçları (Bar)	Ayağın kazı öncesi çalışmadığı süre (saat)
19 Temmuz 1. kesim	EA	1	76.31	60.11	3300	223.7	1.13	0.89	3.55	314.09	2.8
19 Temmuz 1. kesim	EA	2	79.54	64.79	3300	192.8	1.36	1.11	3.06	314.09	2.8
19 Temmuz 1. kesim	EA	3	77.54	62.30	3300	192.8	1.33	1.07	3.06	314.09	2.8
19 Temmuz 1. kesim	EA	4	78.58	63.55	3300	194.0	1.34	1.08	3.08	314.09	2.8
19 Temmuz 2. kesim	EY	1	81.31	62.52	3300	173.9	1.54	1.19	2.76	306.5	2.3
19 Temmuz 2. kesim	EY	2	77.50	65.67	3300	191.5	1.34	1.13	3.04	306.5	2.3
19 Temmuz 2. kesim	EY	3	79.32	61.29	3300	211.7	1.24	0.96	3.36	306.5	2.3
19 Temmuz 2. kesim	EY	4	78.72	61.92	3300	192.2	1.35	1.06	3.05	306.5	2.3

(1): Veri toplama ünitesi yardımıyla elde edilen spesifik enerji değerleri
(2): Tamburlu kesici-yükleyici üzerinden okunarak elde edilen spesifik enerji değerleri

Yeni arın tahkimat için hazır hale getirildikten sonra TH kaymalı demir bağ üniteleri arına taşınmaktadır. Önce yan direklerin oturacağı taban hazırlanarak yan direklerin alt kısımları yerleştirilmekte daha sonra kollu galeri açma makinasının bomu yardımıyla boyunduruk tavan hizasına kaldırılmaktadır. Bu pozisyonda iken yan direklerin üst kısımları tavanda asılı duran boyunduruğa civatalar ile sabitlenmektedir. Daha sonra ise açıkta duran yan direklerin alt ve üst kısımları kaymaya ait aparat yerleştirilerek tork anahtarı ile sıkılanmaktadır. Bu durumda son tahkimat ile arın arasında yaklaşık 0.5 m'lik bir boşluk kalmaktadır. Böylece bir tahkimat ünitesinin kurulması için geçen süre 75–90 dakika sürmektedir (Şekil 7.16). Her vardiyada iki tahkimat ünitesi kurulduğu için tahkimata harcanan toplam zaman 150–180 dakika olmaktadır. Her vardiyada fiili olarak kazı ve tahkimat çalışmaları ise yaklaşık 6 saat sürmektedir.



Şekil 7.15. C1310 taban yolunda kollu galeri açma makinası (Dosco Mk2B) ile yapılan kazı çalışmalarına ait tipik bir görüntü.



Şekil 7.16. C1310 taban yolunda kazı sonrası tahkimatların yerleştirilmesine ait tipik bir görüntü.

7.7.2. Performans Ölçüm Sistematiği

Çayırhan kömür havzasında hazırlık çalışmaları çerçevesinde B810 ve C1310 taban yollarındaki kazı çalışmalarında Dosco Mk2B kollu galeri açma makinaları kullanılmaktadır. Bu makinaların, ayaklardaki performans ölçüm çalışmalarında kullanılan Eickhoff SL300 tamburlu kesici yükleyicinin sahip olduğu anlık güç verilerini kaydedecek bir veri toplama ünitesi bulunmamaktadır. Bu nedenle bu makinanın kazı performansı değerlendirmesini yapabilmek için anlık çektiği akım değerleri trafo üzerinden okunmuştur. Fakat bu verilerin okunabilmesi için bir pens ampermetreden yararlanılmıştır. Makine üzerinde kazı esnasındaki akım değerlerini gösteren bir ekran bulunmamaktadır. Bu sebeple makinanın güç iletim kablosu üzerinden bir pens ampermetre aracılığı ile anlık akım tüketimleri belirli zaman aralıklarında okunabilmiştir. Şekil 7.17'de kullanılan pens ampermetre görülmektedir.



Şekil 7.17. Ölçümlerde kullanılan pens ampermetre.

Galeri arını uzun ayak arını kadar olmasa da zamana bağlı olarak tavan basıncından etkilenmekte ve arın üzerinde mevcut süreksizlik açıklıkları iyice açılmaya başlamakta ve sonrasında da çatlayan kısımlar dökülmeye başlamaktadır. Bu durum nispeten kazının daha kolay yapılmasını sağlamaktadır. Galeri içinde kazı çalışmalarına başlandıktan sonra kazı çalışması sadece kazılan bölgeye tahkimatların yapımı sırasında durmaktadır. Bu süre ise yaklaşık 1 saat civarında olmaktadır. Galeri arınında bu süre içerisinde tavan basıncı nedeniyle fazla bozulma olmamaktadır. Fakat vardiya değişimleri sırasında arın 2–3 saat arasında beklediğinden dolayı arında süreksizlikler orijinal halini kaybetmeye başlamaktadır. Performans ölçümleri sırasında tavan basıncı nedeniyle kömürde meydana gelen bozulmalardan etkilenmemek için tavan basıncının pek etkili olmadığı zaman dilimlerinde (arında birinci aşama kazı çalışması yapıldıktan sonra 2. kazı taraması yapılmadan önceki yeni taze arında) çalışmalar yürütülmüştür.

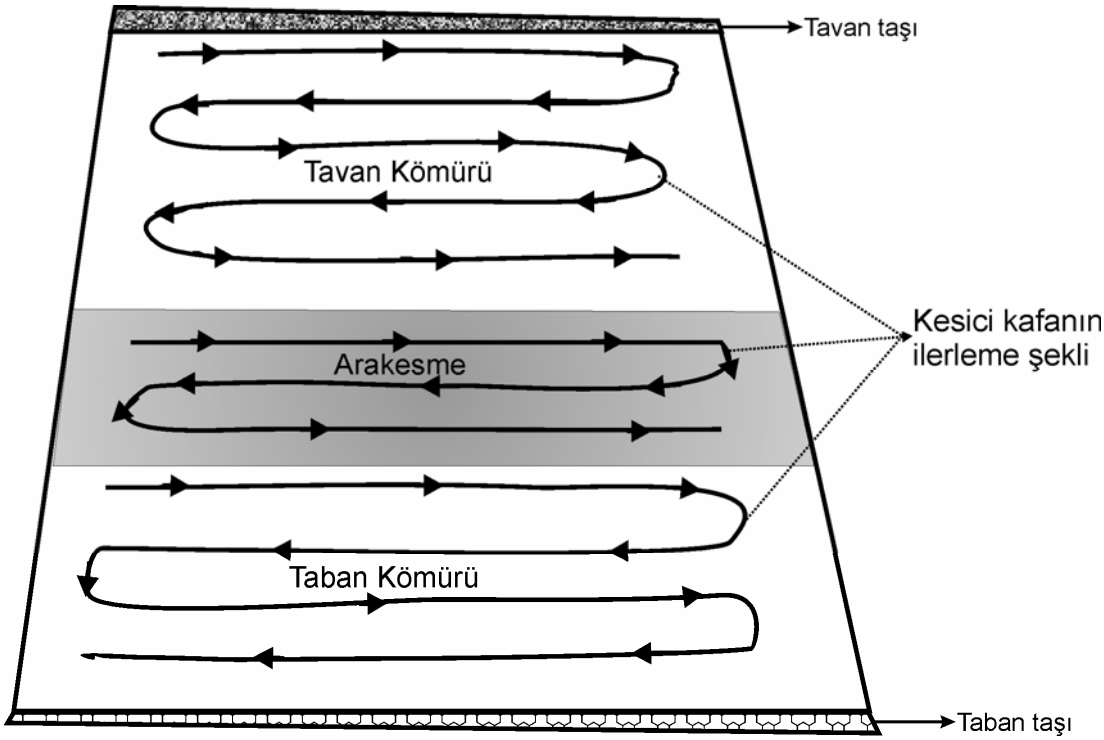
Performans ölçüm çalışmalarına başlamadan önce ilk olarak galeri arını üzerinde pürüzlülükler mümkün olabildiğince yok edilmiştir. Düzlenen bu bölgede Bölüm 5'de anlatıldığı gibi mekanik testler yapıldıktan sonra performans ölçümü için kazı işlemine geçilmiştir. Performans ölçümü için yapılan kazı çalışması 5 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar aşağıda sırasıyla maddeler halinde açıklanmıştır.

1. Makina yaklaşık 2 dakika boşta çalıştırılarak akım ölçümleri alınmıştır.
2. İlk olarak tavan kömürü kazılmış ve kesici kafa arından bir miktar uzaklaştırılarak 5 saniye makine boşta çalıştırılmıştır.

3. İkinci adımda arakesme kaya birimi kazılmış, kesici kafa arından bir miktar uzaklaştırılarak makina 5 saniye boşta çalıştırılmıştır.
4. Üçüncü aşamada taban kömür kazılarak, kesici kafa arından yine bir miktar uzaklaştırılarak makina 5 saniye boşta çalıştırılmıştır.
5. Dördüncü aşamada taban taşı kazılarak kesici kafa arından bir miktar uzaklaştırılarak makina 5 saniyeboşta çalıştırılmıştır.
6. Son aşamada tavan taşı kazılarak kesici kafa arından uzaklaştırılarak makina yaklaşık 2 dakika boşta çalıştırılarak ölçüme son verilmiştir.

Performans ölçüm çalışmalarında yukarıda anlatılan sistematik uygulanmıştır. Üstten aşağıya doğru bir kazı çalışması izlendiğinde kazı sonucu oluşan serbest yüzey yukarıda kalmaktadır. Bu durum sayesinde oluşan serbest yüzey sonucu diğer kaya birimleri etkilenmemektedir. Eğer bu durumun tersi bir şekilde, aşağıdan yukarıya doğru bir kazı çalışması yürütülseydi oluşacak serbest yüzey yüzünden üstteki kaya birimleri etkilenecekti. Çünkü serbest yüzey alt kısımda oluştuğunda yerçekiminin etkisi ile yukarıdaki kaya birimlerinde çatlamalar oluşacak, serbest yüzeyin büyüklüğü arttıkça da daha makina tarafından kazılmadan malzemeler yerlerinden koparak düşmeye başlayacaktır. Bu nedenle yukarıdan aşağıya doğru bir kazı sistematiği geliştirilerek bütün yapılan çalışmalarda bu sistematik uygulanmıştır (Şekil 7.18). Tavan taşı ve taban taşı oluşan serbest yüzeylerden etkilenmediğinden tavan kömürü, arakesme, taban kömürü birimlerinin kazısı yapıldıktan sonra bu birimlerin kazı işlemine geçilmiştir.

Kazı işlemine başlamak için ilk olarak kazıcı makinanın kesici kafasının tamamının kazılacak bölgedeki kaya biriminin içerisine girmesi sağlanarak kesici kafa ile bir yuva açılmıştır (Şekil 7.19). Yaklaşık 60 cm derinliğinde olan bu yuva içerisine kesici kafa girdikten sonra Şekil 7.18'de gösterildiği gibi soldan sağa doğru kazı işlemine geçilmiştir. Kazı işlemi ilk olarak tavan kömüründe başlanarak kömür içerisine giren kesici kafanın soldan sağa doğru hareketi ile kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesici kafa en sağa geldiğinde bu kez kesici kafa, yaklaşık bir kesici kafa çapında aşağıya doğru kazı işlemi yaptıktan sonra bu seferde sağdan sola doğru bir kazı çalışması yapılmıştır. Tavan kömürünün kazısı bitene kadar bu sistemde kazı çalışmasına devam edilmiştir (Şekil 7.18).

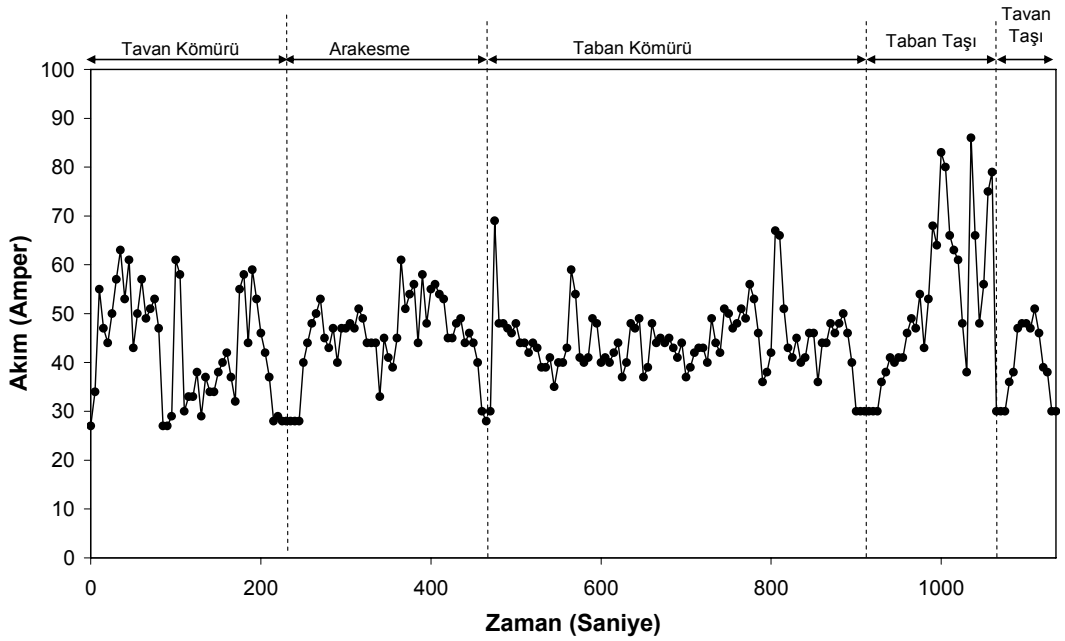


Şekil 7.18. Galeri arınındaki performans ölçüm çalışmalarında uygulanan kazı şekli.



Şekil 7.19. Kesici kafanın arındaki kazılacak malzemenin içerisine girmesi için kesici kafa tarafından açılan boşluk.

Aynı sistemle daha sonra arakesme ve son olarak da taban kömürünün kazısı yapılmıştır. Bu şekilde yapılan kazı sonucu kömür arınında yaklaşık bir kesici kafa boyu kadar (60 cm) bir ilerleme sağlanmıştır. Bu üç birimin kazısı bittikten sonra tavan ve taban taşının kazı işlemine geçilmiştir. Tavan taşı ve taban taşının kalınlığı kesme kafasının çapından daha küçük olduğu için bu birimlerde daha farklı bir kazı sistemi uygulanmıştır. Bu birimler üzerinde kesici kafa gezdirilerek bir tıraşlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bütün bu kazı işlemleri gerçekleştirilirken eş zamanlı olarak da (5 saniyede aralıklarla) makina üzerinden pens ampermetre yardımıyla anlık akım değerleri kaydedilmiştir. Böylece kollu galeri açma makinasının performans değerlendirmesini yapmak için her kazı çalışmasında 5 farklı kaya biriminden elde edilen veriler elde edilmiştir. Bu tür ölçümlere örnek bir sonuç Çizelge 7.7'de, grafiksel sunumu ise Şekil 7.20'de verilirken diğer ölçüm sonuçları EK-2'de verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada aynı zamanda kazıcı makinanın kazı süresi, kazı hızı ve üretim miktarı parametreleri de belirlenmiştir.



Şekil 7.20. Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının galeri arını üzerinde kazı yaparken çektiği akım değerlerinin değişimi (27 Temmuz 2006).

Çizelge 7.7. Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının galeri arını üzerinde farklı kaya birimlerinde kazı yaparken çektiği akım değerleri (27 Temmuz 2006)

Kaya Birimi	Zaman (Saniye)	Ölçülen Akım (Amper)
Tavan kömürü	0	27
	5	34
	10	55
	15	47
	20	44
	25	50
	30	57
	35	63
	40	53
	...	…
Arakesme	245	28
	250	40
	255	44
	260	48
	265	50
	270	53
	275	45
	280	43
	285	47
	290	40
	295	47
	...	…
Taban kömürü	470	30
	475	69
	480	48
	485	48
	490	47
	495	46
	500	48
	505	44
	510	44
	515	42
	520	44
Taban taşı	...	…
	915	32
	920	30
	925	30
	930	36
	935	38
	...	…
Tavan taşı	1075	30
	1080	36
	1085	38
	1090	47
	1095	48
	...	…

Bu çizelgedeki veriler azaltılarak sunulmuştur.

7.8. B810 Taban Yolunda Galeri Açma Makinası Performans Ölçümleri

B810 taban yolunda yapılan performans ölçüm çalışmaları 21 Temmuz 2006 ve 26 Temmuz 2006 tarihlerinde yapılmıştır. Çalışmalar tavan kömürü, taban kömürü, arakesme ve tavan taşı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Performans ölçüm çalışmaları sonucu elde edilen sonuçlar Çizelge 7.8'de sunulmuştur.

Çizelge 7.8. B810 taban yolunda galeri açma makinasına ait performans ölçüm sonuçları

Tarih	Kaya cinsi	Akım (Amper)	Kesici kafanın çalışma gerilimi (Volt)	Net kazı hızı (m^3/h)	Kazı hızı (m/dk)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)
21 Temmuz	Tavan Kömürü	32.75	1000	66.90	0.17	0.49
	Taban Kömürü	60.63	1000	71.90	0.17	0.84
	Arakesme	34.26	1000	47.29	0.09	0.72
	Tavan Taşı	-	-	-	-	-
	Taban Taşı	-	-	-	-	-
26 Temmuz	Tavan Kömürü	33.27	1000	80.28	0.20	0.41
	Taban Kömürü	46.58	1000	57.52	0.13	0.81
	Ara Kesme	48.52	1000	91.80	0.18	0.53
	Tavan Taşı	25.10	1000	20.00	0.67	1.26
	Taban Taşı	-	-	-	-	-

Spesifik enerji değeri hesaplamalarında tamburlu kesici-yükleyici de olduğu gibi Eşitlik 7.1, 7.2, ve 7.3 kullanılmıştır. Çizelge 7.8'de görüldüğü üzere arakesme, tavan ve taban kömüründe spesifik enerjiler düşük iken tavan taşında spesifik enerjinin birden yükseldiği buna karşılık ise net kazı hızının düştüğü görülmektedir.

7.9. C1310 Taban Yolunda Galeri Açma Makinası Performans Ölçümleri

C1310 taban yolunda yapılan performans ölçüm çalışmaları 22 Temmuz 2006 ve 27 Temmuz 2006 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar tavan kömürü, taban kömürü, arakesme, tavan taşı ve taban taşı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Performans ölçüm çalışmaları sonucu elde edilen sonuçlar Çizelge 7.9'da sunulmuştur.

Çizelge 7.9'da tavan ve taban kömürü ile arakesmede spesifik enerjinin düşük tavan ve taban taşında ise yüksek olduğu görülmektedir. Spesifik enerjinin yükselmesi durumunda ise net kazı hızlarının azaldığı belirlenmiştir. Tavan taşı daha

sağlam olduğu için taban taşına nazaran daha yüksek spesifik enerjiye sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.9. C1310 taban yolunda galeri açma makinasına ait performans ölçüm sonuçları

Tarih	Kaya cinsi	Akım (Amper)	Kesici kafanın çalışma gerilimi (Volt)	Net kazı hızı (m^3/h)	Kazı hızı (m/dk)	Spesifik enerji (kWh/m^3)
22 Temmuz 2006	Tavan Kömürü	38.76	1000	106.14	0.21	0.37
	Taban Kömürü	37.70	1000	69.10	0.13	0.55
	Ara Kesme	36.32	1000	82.80	0.30	0.44
	Tavan Taşı	32.63	1000	6.21	0.21	5.26
	Taban Taşı	39.71	1000	15.81	0.21	2.51
27 Temmuz 2006	Tavan Kömürü	42.10	1000	64.95	0.13	0.65
	Taban Kömürü	44.81	1000	36.76	0.07	1.22
	Ara Kesme	46.02	1000	37.23	0.14	1.24
	Tavan Taşı	42.55	1000	9.00	0.60	4.73
	Taban Taşı	54.14	1000	15.27	0.21	3.55

8. PERFORMANS ÖLÇÜM SONUÇLARI VE MEKANİK DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

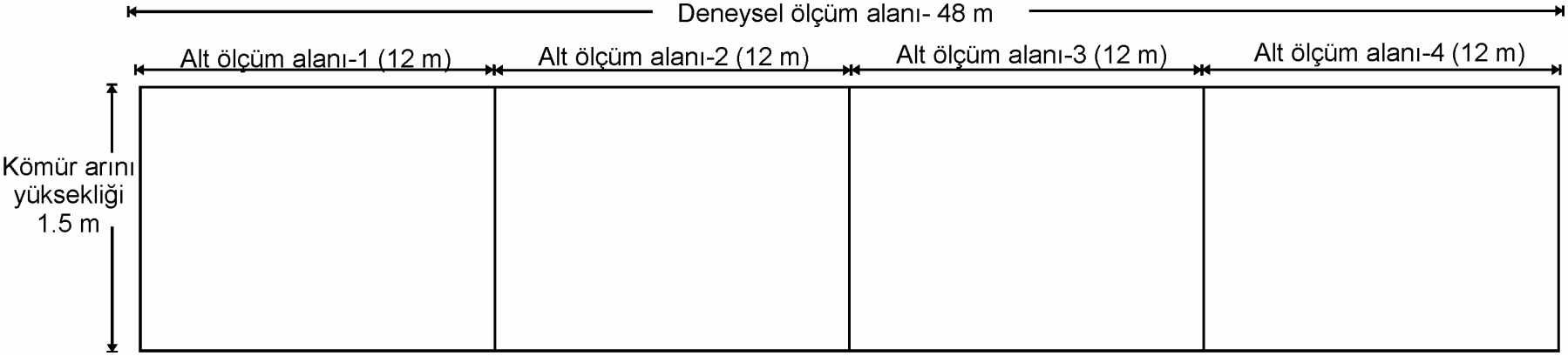
8.1. Genel

Bu bölümde, performans ölçümleri ile arazide ve laboratuarda gerçekleştirilen mekanik deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Laboratuar çalışmaları Bölüm 6'da anlatıldığı gibi sadece B810 ve C1310 taban yollarından temin edilen bloklardan alınan karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden laboratuar deney sonuçlarının performans ölçümlerinin yapıldığı B06 ve B08 panolarının birebir yansıtmadığı yetersiz kaldığı görülmüştür. Sonuç olarak, performans ölçümlerinde kullanılan parametreler ile arında gerçekleştirilen mekanik deney sonuçları arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir.

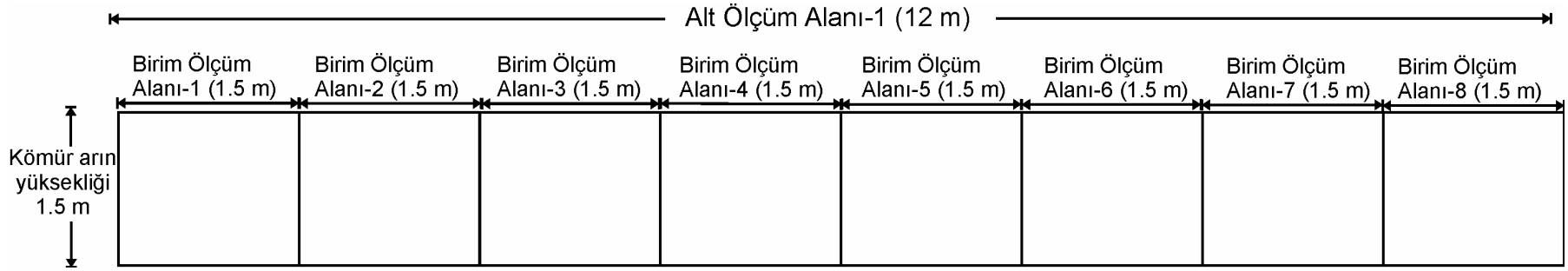
8.2. Uzun Ayak Arınında Gerçekleştirilen Çalışmaların Değerlendirilmesi

B06 ve B08 panolarındaki uzun ayak kazı arınlarında yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için Şekil 8.1, 8.2 ve Çizelge 8.1, 8.2, 8.3 hazırlanmıştır. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, çalışmalar panoların tavan ve taban ayaklarında gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 5'de anlatıldığı gibi ölçümlerin yapılacağı 230 m uzunluğundaki arının tam orta noktası dikkate alınarak tamburlu kesici-yükleyicinin boyunun (12 m) dört katı uzunluğa sahip 48 m'lik bir bölge ölçüm alanı olarak belirlenmiştir. Şekil 8.1a'da görüldüğü üzere mekanik ölçümler için 48 m uzunluğundaki deneysel ölçüm alanı önce dört eşit alt bölgeye ayrılmış ve bu bölgelere alt ölçüm alanı ismi verilmiştir. Her bir alt ölçüm alanı 12 m uzunluğunda olup bu alanlar tekrar birim ölçüm alanlarına bölünmüştür. Her bir birim ölçüm alanı 1.5 m genişliğinde olup pratik olarak bir yürüyen tahkimat ünitesi genişliğine sahip olmuştur (Şekil 8.1b). Mekanik ölçümler Şekil 8.1b'de gösterilen birim ölçüm alanında sistematik olarak gerçekleştirilmiştir.



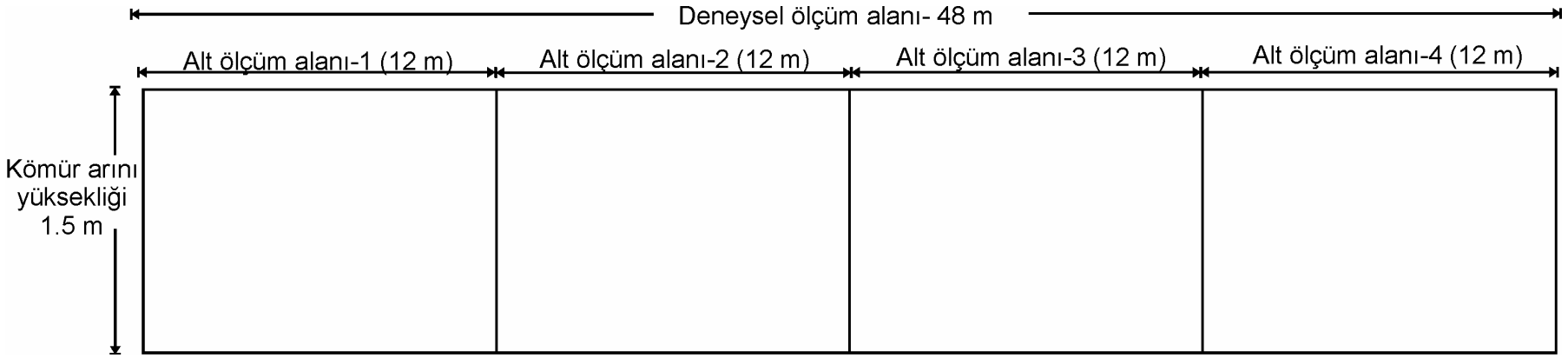
Şekil 8.1a. Alt ölçüm alanlarına bölünen deneysel ölçüm alanı.



Deney Adı	Deney Sayısı	Deney Sonucu	Deney Sayısı	Deney Sonucu	Deney Sayısı	Deney Sonucu	Deney Sayısı	Deney Sonucu	Deney Sayısı	Deney Sonucu	Deney Sayısı	Deney Sonucu	Deney Sayısı	Deney Sonucu	Deney Sayısı	Deney Sonucu
N[a]	6	36.50	6	34.30	6	40.50	6	30.50	6	24.70	6	20.70	6	28.80	6	28.1
NYD[b]	2	0.68	3	0.83	3	0.95	3	0.38	3	0.57	3	0.32	3	0.58	3	0.94
DY[c]	2	1.52	1	1.35	2	1.52	2	1.55	1	1.46	2	1.54	2	1.38	1	1.55

a: Schmidt sertliği belirleme deneyi (N), b: Nokta yükleme dayanımı deneyi (MPa), c: Doğal yoğunluk belirleme deneyi (gr/cm^3)

Şekil 8.1b. Alt ölçüm alanı-1 için hazırlanan birim ölçüm alanlarında 5 Mayıs 2005 tarihinde gerçekleştirilen mekanik deney sonuçları.



Deney adı	Deney sayısı	Deney sonucu	Deney sayısı	Deney sonucu	Deney sayısı	Deney sonucu	Deney sayısı	Deney sonucu
N[a]	48	30.50±6.43	48	27.76±5.46	48	32.04±5.5	48	35.68±5.64
NYD[b]	23	0.66±0.21	20	0.74±0.23	20	0.78±0.33	22	0.61±0.22
DY[c]	13	1.48±0.08	9	1.35±0.14	8	1.55±0.36	7	1.34±0.06

a: Schmidt sertliği belirleme deneyi (N), b: Nokta yükleme dayanımı deneyi (MPa), c: Doğal yoğunluk belirleme deneyi (gr/cm^3)

Şekil 8.1c. B06 panosunun tavan ayağında 5 Mayıs 2005 tarihinde gerçekleştirilen mekanik deneylerin sonuçları.

Çizelge 8.1. B06 ve B08 panolarında gerçekleştirilen mekanik deney sonuçları

	Pano adı	Kazı yönü	Alt ölçüm alanı no	Schmidt sertliği		Nokta yükleme dayanımı (MPa)		Doğal yoğunluk (gr/cm^3)	
				Deney sayısı	Deney sonucu	Deney sayısı	Deney sonucu	Deney sayısı	Deney sonucu
15 Şubat 2005	B06	EA*	1	48	30.59	23	0.61	12	1.58
15 Şubat 2005	B06	EA	2	48	35.66	18	0.63	12	1.53
15 Şubat 2005	B06	EA	3	48	37.30	30	0.50	14	1.25
15 Şubat 2005	B06	EA	4	48	31.09	25	0.59	10	1.45
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY*	1	48	34.18	14	0.36	14	1.49
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	2	48	31.81	15	0.30	14	1.44
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	3	48	35.26	10	0.36	11	1.38
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	4	48	31.35	12	0.50	10	1.45
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EY	1	48	35.79	13	0.49	13	1.45
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EY	2	48	33.76	14	0.50	12	1.48
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EY	3	48	29.14	11	0.53	13	1.63
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EY	4	48	28.60	10	0.58	10	1.43
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	1	48	36.65	16	0.61	12	1.49
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	2	48	31.96	11	0.69	11	1.47
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	3	48	34.28	10	0.63	11	1.46
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	4	48	35.03	13	0.58	8	1.44
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EA	1	48	34.33	13	0.33	15	1.43
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EA	2	48	30.98	15	0.45	10	1.54
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EA	3	48	32.50	12	0.47	12	1.72
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EA	4	48	33.35	14	0.53	10	1.33
5 Mayıs 2005	B06	EA	1	48	30.50	23	0.66	13	1.48
5 Mayıs 2005	B06	EA	2	48	27.76	20	0.74	9	1.35
5 Mayıs 2005	B06	EA	3	48	32.04	20	0.78	8	1.55
5 Mayıs 2005	B06	EA	4	48	35.68	22	0.61	7	1.34
6 Mayıs 2005	B06	EA	1	48	33.24	23	0.49	6	1.39
6 Mayıs 2005	B06	EA	2	48	30.90	23	0.73	7	1.58
6 Mayıs 2005	B06	EA	3	48	30.06	27	0.49	10	1.52
6 Mayıs 2005	B06	EA	4	48	30.04	22	0.52	9	1.39
23 Ağustos 2005	B06	EY	1	48	30.38	15	1.29	10	1.67
23 Ağustos 2005	B06	EY	2	48	30.06	15	0.91	12	1.61
23 Ağustos 2005	B06	EY	3	48	32.51	14	0.74	11	1.48
23 Ağustos 2005	B06	EY	4	48	28.64	13	0.98	9	1.54
24 Ağustos 2005	B06	EA	1	48	30.43	19	0.90	13	1.54
24 Ağustos 2005	B06	EA	2	48	28.79	11	0.76	15	1.52
24 Ağustos 2005	B06	EA	3	48	28.09	17	0.85	13	1.46
24 Ağustos 2005	B06	EA	4	48	30.28	12	0.80	13	1.55
25 Ağustos 2005	B06	EA	1	48	27.70	16	0.85	14	1.65
25 Ağustos 2005	B06	EA	2	48	29.76	14	0.85	13	1.57
25 Ağustos 2005	B06	EA	3	48	29.73	18	0.98	15	1.59
25 Ağustos 2005	B06	EA	4	48	28.83	15	0.81	17	1.53
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08	EA	1	48	29.68	23	0.68	14	1.34
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08	EA	2	48	30.39	19	0.57	13	1.37
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08	EA	3	48	30.05	24	0.66	18	1.34
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08	EA	4	48	32.56	20	0.40	15	1.31
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08	EY	1	48	30.79	28	0.77	14	1.45
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08	EY	2	48	31.44	27	0.87	17	1.45
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08	EY	3	48	32.99	21	0.95	15	1.56
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08	EY	4	48	29.53	25	0.65	12	1.39
20 Temmuz 2006	B08	EA	1	48	35.06	21	0.66	18	1.46
20 Temmuz 2006	B08	EA	2	48	29.46	26	0.65	14	1.32
20 Temmuz 2006	B08	EA	3	48	30.55	24	0.83	16	1.43
20 Temmuz 2006	B08	EA	4	48	30.45	30	0.73	16	1.47
25 Temmuz 2006	B08	EA	1	48	28.59	20	0.50	19	1.41
25 Temmuz 2006	B08	EA	2	48	24.08	24	0.52	13	1.38
25 Temmuz 2006	B08	EA	3	48	23.48	24	0.49	16	1.38
25 Temmuz 2006	B08	EA	4	48	27.48	21	0.63	14	1.60
*26 Temmuz 2006	B08	-	-	6	19.80	3	0.29	3	1.22

EA: Eğim aşağı kazı yönü; EY: Eğim yukarı kazı yönü.

* En düşük akım okumasının gerçekleştiği noktaya ait mekanik deney sonuçları

Çizelge 8.2. Bilgi İşlem Merkezi yardımıyla deneysel ölçüm alanında gerçekleştirilen akım değerleri

Tarih	Pano adı	Kazı yönü	Alt ölçüm alanı No	Veri sayısı	Ortalama akım (Amper)
15 Şubat 2005	B06	EA	1	112	99.39
15 Şubat 2005	B06	EA	2	127	116.36
15 Şubat 2005	B06	EA	3	129	113.88
15 Şubat 2005	B06	EA	4	130	99.51
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	1	130	86.82
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	2	115	89.69
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	3	120	100.87
16 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	4	97	96.34
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EY	1	111	101.86
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EY	2	130	92.17
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EY	3	125	91.34
16 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EY	4	125	103.55
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	1	111	100.79
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	2	130	86.49
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	3	130	95.88
17 Şubat 2005, 1. Kazı	B06	EY	4	130	108.91
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EA	1	115	106.96
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EA	2	125	114.53
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EA	3	127	106.54
17 Şubat 2005, 2. Kazı	B06	EA	4	128	95.08
5 Mayıs 2005	B06	EA	1	204	63.20
5 Mayıs 2005	B06	EA	2	207	69.38
5 Mayıs 2005	B06	EA	3	209	66.98
5 Mayıs 2005	B06	EA	4	170	66.82
6 Mayıs 2005	B06	EA	1	182	96.62
6 Mayıs 2005	B06	EA	2	135	102.13
6 Mayıs 2005	B06	EA	3	213	92.10
6 Mayıs 2005	B06	EA	4	148	85.71
23 Ağustos 2005	B06	EY	1	206	98.70
23 Ağustos 2005	B06	EY	2	188	72.53
23 Ağustos 2005	B06	EY	3	212	80.92
23 Ağustos 2005	B06	EY	4	215	97.67
24 Ağustos 2005	B06	EA	1	204	118.36
24 Ağustos 2005	B06	EA	2	201	70.37
24 Ağustos 2005	B06	EA	3	203	97.59
24 Ağustos 2005	B06	EA	4	201	106.00
25 Ağustos 2005	B06	EA	1	199	69.52
25 Ağustos 2005	B06	EA	2	200	89.47
25 Ağustos 2005	B06	EA	3	200	95.39
25 Ağustos 2005	B06	EA	4	201	83.86
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08	EA	1	203	76.31
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08	EA	2	235	79.54
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08	EA	3	244	77.54
19 Temmuz 2006, 1. Kazı	B08	EA	4	234	78.58
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08	EY	1	237	81.31
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08	EY	2	215	77.50
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08	EY	3	236	79.32
19 Temmuz 2006, 2. Kazı	B08	EY	4	213	78.72
20 Temmuz 2006	B08	EA	1	159	81.19
20 Temmuz 2006	B08	EA	2	191	86.07
20 Temmuz 2006	B08	EA	3	188	100.83
20 Temmuz 2006	B08	EA	4	175	97.11
25 Temmuz 2006	B08	EA	1	166	73.90
25 Temmuz 2006	B08	EA	2	182	73.06
25 Temmuz 2006	B08	EA	3	181	73.16
25 Temmuz 2006	B08	EA	4	157	80.06
26 Temmuz 2006	B08	-	-	22	63.00

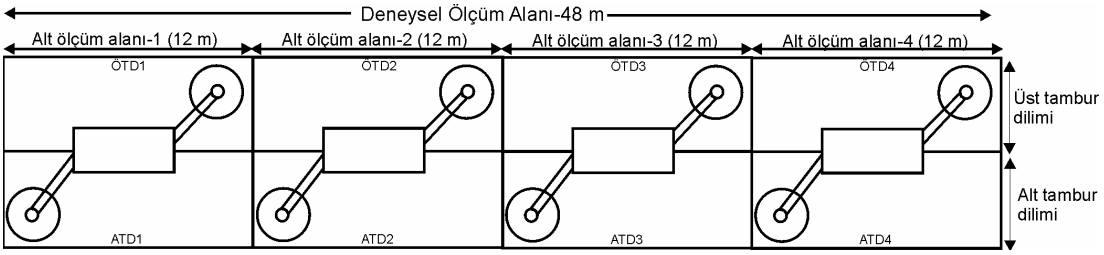
EA: Eğim aşağı kazı yönü; EY: Eğim yukarı kazı yönü.

* En düşük akım okumasının gerçekleştiği noktaya ait mekanik deney sonuçları

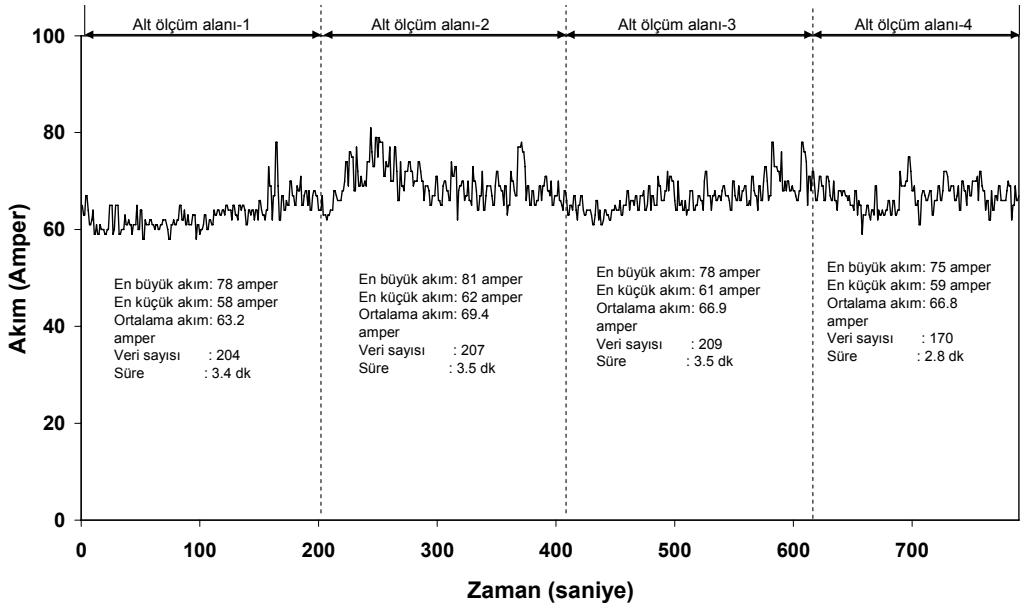
5 Mayıs 2005 tarihinde B06 panosu tavan ayağında gerçekleştirilen mekanik deneylerin adetleri ve sonuçları alt ölçüm alanı-1 için tipik olarak Şekil 8.1b'de sunulmuştur. 5 Mayıs 2005 tarihinde B06 panosunun tavan ayağında gerçekleştirilen tüm ölçüm sonuçları ise tipik olarak Şekil 8.1c'de verilmiştir. Şekil 8.1'de sunulan sistematik göz önüne alınarak bu çalışma neticesinde değerlendirme çalışmasına temel olacak B06 ve B08 panolarını yansıtan tüm mekanik deney sonuçları ise Çizelge 8.1'de görülmektedir.

Şekil 8.1a'da görüldüğü üzere 48 m uzunluğunda belirlenen deneysel ölçüm alanı tamburlu kesici-yükleyici uzunluğuna (12 m) eşit alt ölçüm alanlarına bölünerek her bir alt ölçüm alanı performans ölçümü için birim alan kabul edilmiştir. Mekanik ölçümlerden farklı olarak bu tür bir kabulün yapılması tamamıyla tamburlu kesici-yükleyicinin ön ve arka tamburlarının aynı anda farklı noktaları kesmesinden kaynaklanmıştır (Şekil 8.2a). Her bir alt ölçüm alanında ölçülen akım değerleri önce grafiksel formda Şekil 8.2b'de görüldüğü gibi hazırlanmış daha sonra ise her bir alt ölçüm alanı için en büyük en küçük ve ortalama akım değerleri belirlenmiştir. Şekil 8.2b'de sunulduğu gibi hazırlanan veriler daha sonra değerlendirmeye temel olacak şekilde Çizelge 8.2'deki gibi toparlanmıştır. Ancak burada gözden kaçırılmaması gereken bir husus vardır. Tamburlu kesicinin ön ve arka tamburlarının aynı anda farklı noktaları kesmesidir. Şekil 8.2b'de alt ölçüm alanı-2 için sunulan grafiksel veriler aslında ön tambur alt ölçüm alanı-2'yi keserken arka tamburun da alt ölçüm alanı-1'i keserken okunan akım değerlerine aittir. Bu durum bütün alt ölçüm alanlarında geçerlidir. Tamburların aynı anda farklı noktaları kesmesi ve okunan akım değerlerinin de ön ve arka tambur bazında ayıklanamaması nedeniyle Bölüm 7'de sunulan değerlendirme yaklaşımı kabul edilmiştir. Bu yaklaşıma göre Şekil 8.2a'da sunulan ön tambur dilimi-2 (ÖTD-2) ile arka tambur dilimi-1 (ATD-1)'in üst üste geldiği kabul edilmiştir. Aynı şekilde ÖTD-3 ile ATD-2'nin ve ÖTD-4 ile ATD-3'ün üst üste geldiği kabulü yapılmıştır. Tipik örnek olarak verilen Şekil 8.2b'de alt ölçüm alanı-2 (AÖA-2) için grafikte sunulan akım değerlerinin ÖTD-2 ve ATD-1'den, AÖA-3 için grafikte sunulan akım değerlerinin ÖTD-3 ve ATD-2'den ve AÖA-4 için grafikte sunulan akım değerlerinin ÖTD-4 ve ATD-3'den gelen akım değerlerinden oluşmaktadır. Böylece analizlerde AÖA-2, AÖA-3 ve AÖA-4 için okunan akım değerleri göz önüne alınmış AÖA-1 dikkate alınmamıştır. Çünkü Şekil

8.2a'da görüldüğü gibi ön tambur AÖA-1'i kazarken arka tambur henüz deney sahasının dışında kazı yapmaktadır. AÖA-2, AÖA-3 ve AÖA-4'ü dikkate almakla her iki tamburun 48 m uzunluğundaki deneysel ölçüm alanı içerisinde olması sağlanmıştır. Grafiksel değerlendirmelerde kullanılan Bilgi İşlem Merkezi yardımıyla belirlenen nihai veriler Çizelge 8.3'de sunulmuştur.



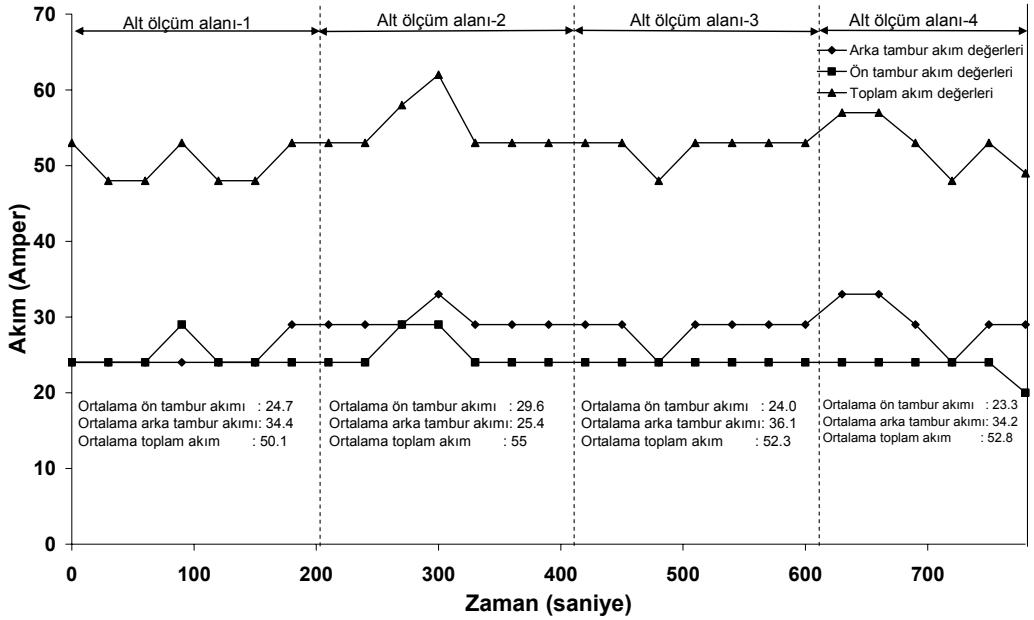
Şekil 8.2.a. Alt ölçüm alanlarında tamburlu kesici-yükleyicinin şematik konumu (ÖTD: Ön tambur dilimi, ATD: Alt tambur dilimi).



Şekil 8.2b. Deneysel ölçüm alanında gerçekleştirilen kazı çalışmalarını yansıtan tipik bir 5 Mayıs 2005 tarihli Bilgi İşlem Merkezi akım verisi.

Böyle bir kabulün doğruluğunu görmek amacıyla Bölüm 7'de anlatıldığı gibi bu tez çalışmasında ayrıca kazı esnasında tamburlu kesici-yükleyicinin şasesine kesicinin imalatı esnasında monte edilen bir ekran üzerinden manüel ön ve arka tamburun çektiği akım değerleri de okunmuştur. 5 Mayıs 2005 tarihli çalışmada makina üzerinden her 30 saniyede bir yapılan akım okumaları Şekil 8.3'de sunulmuştur. Bu okumalarda ön ve arka tambur farklı yerleri de kazsa da ayrı ayrı

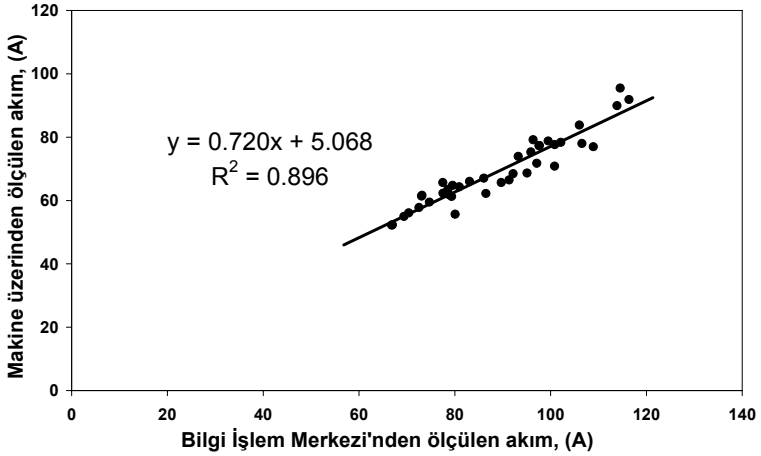
takip edilebilmiştir. Bundan dolayı her alt ölçüm alanından farklı zamanlarda bizzat ön ve arka tamburun geçmesi ile okunan akım değerleri toplanarak ilgili alt ölçüm alanına ait akım değerleri belirlenebilmiştir (Şekil 8.3). Şekil 8.3'de tipik olarak verilen grafikte ön tambur alt ölçüm alanı-1 (AÖA-1)'i keserken ortalama 24.7 amper akım çekerken, arka tamburun daha sonra ulaştığı AÖA-1'i keserken ortalama anlık akım değeri 34.4 amper olmuş ve böylece bu alana (AÖA-1) ait kesim için kullanılan akım değeri 59.1 amper olarak hesaplanmıştır (Şekil 8.3). Bu sistematik kullanılarak tamburlu kesici ekranından okunan akım değerleri Çizelge 8.3'de sunulmuştur.



Şekil 8.3. Deneysel ölçüm alanlarında gerçekleştirilen kazı çalışmalarını yansıtan tipik bir makina üzerinden okunan akım değerleri (5 Mayıs 2005).

Bilgi İşlem Merkezi'nden saniye saniye takip edilen akım değerlerinin değerlendirilmesi için geliştirilen yaklaşımda bahsedildiği gibi sadece alt ölçüm alanı-2, 3 ve 4 dikkate alındığı için bu yaklaşımın doğruluğunu test edecek olan makina üzerinden her 10-30 saniyede bir alınan akım okumaları yönteminde de alt ölçüm alanı-1 göz ardı edilmiştir. Sonuçta her iki yoldan tespit edilen akım değerleri B06 ve B08 panosunda gerçekleştirilen tüm okumalar üzerinden Şekil 8.4'deki gibi karşılaştırılmıştır. Grafikten görüldüğü üzere her iki ölçüm ve değerlendirme sonuçlarının birbirleri ile beklenen doğrusal yaklaşımı, yüksek bir istatistiksel sonuç ile vermiştir. Hatırlanacağı üzere (Bölüm 7) Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan akım

değerleri tamburlu kesicileri besleyen iki kafa motoru ve yürüyüşü sağlayan yürüyüş motorunun çektiği toplam akımları yansıtırken makina üzerinden okunan akım değerlerinin sadece ön ve arka tamburun çektiği akım değerlerini vermektedir. Her iki veri arasında aslında birebir sayısal sonuç beklerken aradaki yaklaşık %20'lik sapmanın yürüyüş takımlarına güç veren motorun çektiği akım değerlerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (makina boşta çalışırken yürüyüş motorunun çektiği akım 22–24 amper, bakınız Bölüm 7). Bu çalışmada öncelikle daha kısa aralıklarla (saniye) verinin toplandığı Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan akım okumalarının yukarıda anlatılan kabul dahilinde dikkate alınmasına karar verilmiştir.



Şekil 8.4. Tamburlu kesici üzerindeki dijital ekran üzerinden okunan akım değerleri ile Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen akım değerleri arasındaki ilişki.

Bilgi İşlem Merkezi'nden takip edilen B06 ve B08 panolarındaki akım değerleri yukarıda anlatılan yaklaşım ile değerlendirdikten sonra mekanik sonuçlar ile nihai akım değerleri Çizelge 8.3'deki gibi toparlanarak bir temel veri tabanı hazırlanmıştır. Çizelge 8.3'de mekanik deney sonuçları alt ölçüm alanı 1,2,3 ve 4 için verilirken akım değerleri yukarıda anlatılan yaklaşım nedeniyle alt ölçüm alanı 2,3 ve 4 için verilmiştir. Çizelge 8.3'de sunulan akım ölçüm sonuçları sütununda görüldüğü üzere ayrıca kazı hızı (m/dk), net kazı hızı (m^3/h) değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan spesifik enerji (SE, kWh/m^3) değerleri de verilmiştir. Net kazı hızı-NKH (m^3/h) ve spesifik enerji-SE (kWh/m^3) hesaplamaları ile ilgili detay bilgi Bölüm 7'de sunulmuştur. Çizelge 8.3'de sunulan veriler ayrıca değerlendirmenin daha açık olması için Şekil 8.5'de görüldüğü üzere log halinde de hazırlanmıştır.

Çizelge 8.3. Mekanik deneylerin ve performans ölçümlerinin sonuçları

Ölçüm Tarihleri	Pano Adı	Kazı Yönü	Alt Ölçüm Alan No	Mekanik Deney Sonuçları			Tahkimat Basınçları (Bar)	Performans Ölçüm Sonuçları					
								Kazı Hızı (m/dk)	Net kazı Hızı (m^3/h)	Bilgi işlem merkezi		Dijital ekrandan	
				Schmidt Sertliği	NYD (MPa)	Doğal Yoğunluk (gr/cm^3)				Ortalama Akım (Amper)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)	Ortalama Akım (Amper)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)
15 Şubat	B06	EA	1	30.59	0.61	1.58	329.1	4.33	272.8	-	-	-	-
15 Şubat	B06	EA	2	35.66	0.63	1.53	329.1	4.46	280.9	116.36	1.37	91.90	1.08
15 Şubat	B06	EA	3	37.30	0.50	1.25	329.1	4.39	276.4	113.88	1.36	89.97	1.07
15 Şubat	B06	EA	4	31.09	0.59	1.45	329.1	4.36	274.7	99.51	1.20	78.79	0.95
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	1	31.35	0.50	1.45	310.0	4.00	252.0	-	-	-	-
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	2	34.18	0.36	1.49	334.3	5.41	340.8	89.69	0.87	65.67	0.64
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	3	31.81	0.30	1.44	350.7	4.33	272.8	100.87	1.22	77.67	0.94
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	4	35.26	0.36	1.38	347.9	4.52	284.7	96.34	1.12	79.20	0.92
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	1	28.60	0.58	1.43	282.1	4.53	285.7	-	-	-	-
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	2	35.79	0.49	1.45	282.1	4.41	278.0	92.17	1.09	68.50	0.81
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	3	33.76	0.50	1.48	282.1	4.36	274.7	91.34	1.10	66.50	0.80
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	4	29.14	0.53	1.63	282.1	4.53	285.4	103.55	1.20	107.25	1.24
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	1	35.03	0.58	1.44	322.1	4.36	274.7	-	-	-	-
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	2	36.65	0.61	1.49	324.4	4.41	278.0	86.49	1.03	62.25	0.74
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	3	31.96	0.69	1.47	323.1	4.36	274.7	95.88	1.15	75.33	0.91
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	4	34.28	0.63	1.46	325.7	4.36	274.7	108.91	1.31	77.00	0.93
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	1	34.33	0.33	1.43	302.7	4.69	295.5	-	-	-	-
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	2	30.98	0.45	1.54	302.7	4.53	285.4	114.53	1.32	95.50	1.10
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	3	32.50	0.47	1.72	302.7	4.46	280.9	106.54	1.25	78.00	0.92
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	4	33.35	0.53	1.33	302.7	4.42	278.6	95.08	1.13	68.67	0.81
5 Mayıs	B06	EA	1	30.50	0.53	1.48	333.1	3.55	223.7	-	-	-	-
5 Mayıs	B06	EA	2	27.76	0.74	1.35	291.4	3.11	195.9	69.38	1.17	55.00	0.93
5 Mayıs	B06	EA	3	32.04	0.78	1.55	364.2	3.10	195.4	66.98	1.13	52.29	0.88
5 Mayıs	B06	EA	4	35.68	0.61	1.34	358.3	3.83	241.2	66.82	0.91	52.25	0.71
6 Mayıs	B06	EA	1	33.24	0.49	1.39	348.6	4.04	254.5	-	-	-	-
6 Mayıs	B06	EA	2	30.90	0.73	1.58	342.9	3.46	218.0	102.13	1.55	78.38	1.19
6 Mayıs	B06	EA	3	30.06	0.49	1.52	352.1	3.04	191.4	92.10	1.59	82.40	1.42
6 Mayıs	B06	EA	4	30.04	0.52	1.39	324.4	4.37	275.2	85.71	1.03	82.20	0.99

Çizelge 8.3.(Devam)

Ölçüm Tarihleri	Pano Adı	Kazı Yönü	Alt Ölçüm Alan No	Mekanik Deney Sonuçları			Tahkimat Basınçları (Bar)	Performans Ölçüm Sonuçları					
										Bilgi işlem merkezi		Dijital ekrandan	
				Schmidt Sertliği	NYD (MPa)	Doğal Yoğunluk (gr/cm^3)		Kazı Hızı (m/dk)	Net kazı Hızı (m^3/h)	Ortalama Akım (Amper)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)	Ortalama Akım (Amper)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)
23 Ağustos	B06	EY	1	28.64	0.98	1.54	330.5	3.72	234.4	-	-	-	-
23 Ağustos	B06	EY	2	30.38	1.29	1.67	330.5	3.49	219.9	72.53	1.09	57.80	0.87
23 Ağustos	B06	EY	3	30.06	0.91	1.61	330.5	3.83	241.3	80.92	1.11	64.32	0.88
23 Ağustos	B06	EY	4	32.51	0.74	1.48	330.5	4.20	264.6	97.67	1.22	77.36	0.96
24 Ağustos	B06	EA	1	30.43	0.90	1.54	328.1	3.81	240.0	-	-	-	-
24 Ağustos	B06	EA	2	28.79	0.76	1.52	328.1	3.65	230.0	70.37	1.01	56.12	0.81
24 Ağustos	B06	EA	3	28.09	0.85	1.46	328.1	3.89	245.1	97.59	1.31	77.29	1.04
24 Ağustos	B06	EA	4	30.28	0.80	1.55	328.1	4.31	271.5	106.00	1.29	83.84	1.02
25 Ağustos	B06	EY	1	28.83	0.81	1.53	341.8	3.55	223.7	-	-	-	-
25 Ağustos	B06	EY	2	27.70	0.85	1.65	341.8	3.61	227.4	89.47	1.30	70.98	1.03
25 Ağustos	B06	EY	3	29.76	0.85	1.57	341.8	3.41	214.8	95.39	1.47	75.58	1.16
25 Ağustos	B06	EY	4	29.73	0.98	1.59	341.8	3.60	226.8	83.86	1.22	66.61	0.97
19 Temmuz 1. kesim	B08	EA	1	29.68	0.68	1.34	314.1	3.55	223.7	-	-	-	-
19 Temmuz 1. kesim	B08	EA	2	30.39	0.57	1.37	314.1	3.06	192.8	79.54	1.36	64.79	1.11
19 Temmuz 1. kesim	B08	EA	3	30.05	0.66	1.34	314.1	3.06	192.8	77.54	1.33	62.30	1.07
19 Temmuz 1. kesim	B08	EA	4	32.56	0.40	1.31	314.1	3.08	194.0	78.58	1.34	63.55	1.08
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	1	29.53	0.65	1.39	306.5	2.76	173.9	-	-	-	-
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	2	30.79	0.77	1.45	306.5	3.04	191.5	77.50	1.34	65.67	1.13
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	3	31.44	0.87	1.45	306.5	3.36	211.7	79.32	1.24	61.29	0.96
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	4	32.99	0.95	1.56	306.5	3.05	192.2	78.72	1.35	61.92	1.06
20 Temmuz	B08	EA	1	35.06	0.66	1.46	160.0	3.29	283.5	-	-	-	-
20 Temmuz	B08	EA	2	29.46	0.65	1.32	200.0	3.69	232.5	86.07	1.22	67.05	0.95
20 Temmuz	B08	EA	3	30.55	0.83	1.43	230.0	3.91	246.3	100.83	1.35	70.84	0.95
20 Temmuz	B08	EA	4	30.45	0.73	1.47	263.9	4.11	258.9	97.11	1.24	71.75	0.91
25 Temmuz	B08	EA	1	28.59	0.50	1.41	290.0	3.93	247.6	-	-	-	-
25 Temmuz	B08	EA	2	24.08	0.52	1.38	283.1	3.12	196.6	73.06	1.23	61.40	1.03
25 Temmuz	B08	EA	3	23.48	0.49	1.38	371.1	3.12	196.6	73.16	1.23	61.63	1.03
25 Temmuz	B08	EA	4	27.48	0.63	1.60	372.5	5.03	316.9	80.06	0.83	55.66	0.58
*26 Temmuz	B08	-	-	19.80	0.29	1.22	420.0	-	-	63.00	0.41	-	-

En düşük akım okumasının yapıldığı durumda belirlenen mekanik deney ve spesifik enerji sonuçları

Ölçüm Tarihleri	Pano Adı	Kazı Yönü	Alt Ölçüm Alan No	Mekanik Deney Sonuçları			Tahkimat Basınçları (Bar)	Performans Ölçüm Sonuçları					
				Schmidt Sertliği	NYD (MPa)	Doğal Yoğunluk (gr/cm^3)		Kazı Hızı (m/dk)	Net kazı Hızı (m^3/h)	Bilgi işlem merkezi		Dijital ekrandan	
										Ortalama Akım (Amper)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)	Ortalama Akım (Amper)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)
15 Şubat	B06	EA	1	31	0.6	1.6	329	4.3	273				
15 Şubat	B06	EA	2	36	0.6	1.5	329	4.5	281	116	1.4	92	1.1
15 Şubat	B06	EA	3	37	0.5	1.3	329	4.4	276	114	1.4	90	1.1
15 Şubat	B06	EA	4	31	0.6	1.5	329	4.4	275	100	1.2	79	1
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	1	31	0.5	1.5	310	4	252				
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	2	34	0.4	1.5	334	5.4	341	90	0.9	66	0.6
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	3	32	0.3	1.4	351	4.3	273	101	1.2	78	0.9
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	4	35	0.4	1.4	348	4.5	285	96	1.1	79	0.9
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	1	29	0.6	1.4	282	4.5	286				
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	2	36	0.5	1.5	282	4.4	278	92	1.1	69	0.8
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	3	34	0.5	1.5	282	4.4	275	91	1.1	67	0.8
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	4	29	0.5	1.6	282	4.5	285	104	1.2	107	1.2
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	1	35	0.6	1.4	322	4.4	275				
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	2	37	0.6	1.5	324	4.4	278	86	1	62	0.7
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	3	32	0.7	1.5	323	4.4	275	96	1.2	75	0.9
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	4	34	0.6	1.5	326	4.4	275	109	1.3	77	0.9
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	1	34	0.3	1.4	303	4.7	296				
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	2	31	0.5	1.5	303	4.5	285	115	1.3	96	1.1
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	3	33	0.5	1.7	303	4.5	281	107	1.3	78	0.9
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	4	33	0.5	1.3	303	4.4	279	95	1.1	69	0.8
5 Mayıs	B06	EA	1	31	0.5	1.5	333	3.6	224				
5 Mayıs	B06	EA	2	28	0.7	1.4	291	3.1	196	69	1.2	55	0.9
5 Mayıs	B06	EA	3	32	0.8	1.6	364	3.1	195	67	1.1	52	0.9
5 Mayıs	B06	EA	4	36	0.6	1.3	358	3.8	241	67	0.9	52	0.7
6 Mayıs	B06	EA	1	33	0.5	1.4	349	4	255				
6 Mayıs	B06	EA	2	31	0.7	1.6	343	3.5	218	102	1.6	78	1.2
6 Mayıs	B06	EA	3	30	0.5	1.5	352	3	191	92	1.6	82	1.4
6 Mayıs	B06	EA	4	30	0.5	1.4	324	4.4	275	86	1	82	1

Şekil 8.5. Mekanik deneylerin ve performans ölçüm sonuçlarının log gösterimi.

Ölçüm Tarihleri	Pano Adı	Kazı Yönü	Alt Ölçüm Alan No	Mekanik Deney Sonuçları			Tahkimat Basınçları (Bar)	Performans Ölçüm Sonuçları					
				Schmidt Sertliği	NYD (MPa)	Doğal Yoğunluk (gr/cm^3)		Kazı Hızı (m/dk)	Net kazı Hızı (m^3/h)	Bilgi işlem merkezi		Dijital ekrandan	
										Ortalama Akım (Amper)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)	Ortalama Akım (Amper)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)
23 Ağustos	B06	EY	1	29	1	1.5	331	3.7	234				
23 Ağustos	B06	EY	2	30	1.3	1.7	331	3.5	220	73	1.1	58	0.9
23 Ağustos	B06	EY	3	30	0.9	1.6	331	3.8	241	81	1.1	64	0.9
23 Ağustos	B06	EY	4	33	0.7	1.5	331	4.2	265	98	1.2	77	1
24 Ağustos	B06	EA	1	30	0.9	1.5	328	3.8	240				
24 Ağustos	B06	EA	2	29	0.8	1.5	328	3.7	230	70	1	56	0.8
24 Ağustos	B06	EA	3	28	0.9	1.5	328	3.9	245	98	1.3	77	1
24 Ağustos	B06	EA	4	30	0.8	1.6	328	4.3	272	106	1.3	84	1
25 Ağustos	B06	EY	1	29	0.8	1.5	342	3.6	224				
25 Ağustos	B06	EY	2	28	0.9	1.7	342	3.6	227	89	1.3	71	1
25 Ağustos	B06	EY	3	30	0.9	1.6	342	3.4	215	95	1.5	76	1.2
25 Ağustos	B06	EY	4	30	1	1.6	342	3.6	227	84	1.2	67	1
19 Temmuz 1. kesim	B08	EA	1	30	0.7	1.3	314	3.6	224				
19 Temmuz 1. kesim	B08	EA	2	30	0.6	1.4	314	3.1	193	80	1.4	65	1.1
19 Temmuz 1. kesim	B08	EA	3	30	0.7	1.3	314	3.1	193	78	1.3	62	1.1
19 Temmuz 1. kesim	B08	EA	4	33	0.4	1.3	314	3.1	194	79	1.3	64	1.1
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	1	30	0.7	1.4	307	2.8	174				
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	2	31	0.8	1.5	307	3	192	78	1.3	66	1.1
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	3	31	0.9	1.5	307	3.4	212	79	1.2	61	1
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	4	33	1	1.6	307	3.1	192	79	1.4	62	1.1
20 Temmuz	B08	EA	1	35	0.7	1.5	160	3.3	284				
20 Temmuz	B08	EA	2	29	0.7	1.3	200	3.7	233	86	1.2	67	1
20 Temmuz	B08	EA	3	31	0.8	1.4	230	3.9	246	101	1.4	71	1
20 Temmuz	B08	EA	4	30	0.7	1.5	264	4.1	259	97	1.2	72	0.9
25 Temmuz	B08	EA	1	29	0.5	1.4	290	3.9	248				
25 Temmuz	B08	EA	2	24	0.5	1.4	283	3.1	197	73	1.2	61	1
25 Temmuz	B08	EA	3	23	0.5	1.4	371	3.1	197	73	1.2	62	1
25 Temmuz	B08	EA	4	27	0.6	1.6	373	5	317	80	0.8	56	0.6
*26 Temmuz	B08	-	-	20	0.3	1.2				63	0.4		

Şekil 8.5. (Devam)
*En düşük akım okumasının yapıldığı durumda belirlenen mekanik deney ve spesifik enerji sonuçları

B06 ve B08 panolarında yapılmış olan kazı çalışmalarının yürütüldüğü ayakların hepsinde ayak sonundan (kuyruk) ayak başına doğru yaklaşık 5º'lik bir eğim bulunmaktadır. Çizelge 8.3 ve Şekil 8.5'de kazı yönüne bağlı olarak performans parametrelerinin farklılaştığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı, uzun ayak kazı arınında yürütülen çalışmalar eğim aşağıya ve eğim yukarıya doğru yapılan çalışmalar olarak sınıflandırılmıştır. Aşağıda, Çizelge 8.3 ve Şekil 8.5'de sunulan verilere bağlı grafiksel değerlendirmeler sırasıyla sunulmuştur. Bu değerlendirmede sadece saniye saniye akım ölçümlerinin takip edilebildiği Bilgi İşlem Merkezi'nden temin edilen ölçüm sonuçları göz önüne alınmıştır.

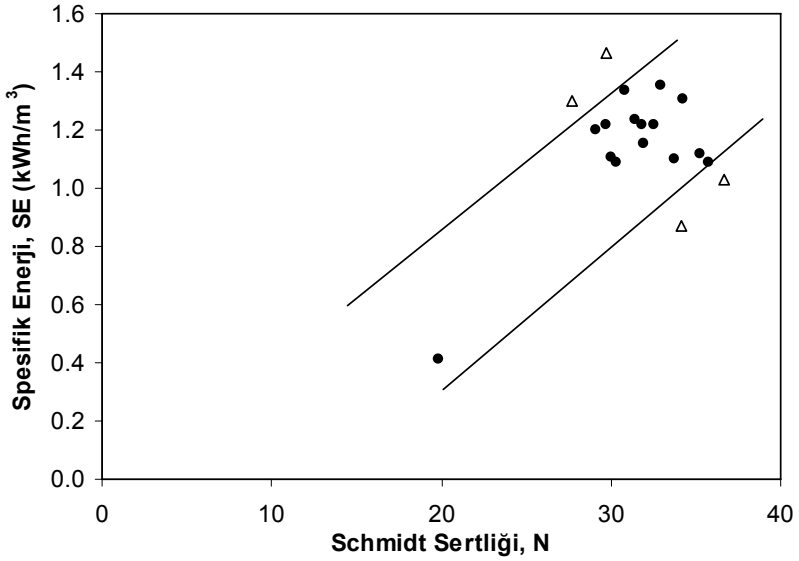
8.2.1. Spesifik enerji değerleri ile mekanik deneylerin karşılaştırılması

Tamburlu kesici-yükleyicinin kazı performansının belirlenmesinde önemli bir girdi parametresi olan spesifik enerji değerleri yerinde çalışmalar ile belirlenmiş ve deneysel kazı arınında ölçülen mekanik deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar kazı yönüne bağlı olarak iki alt başlık altında aşağıda sunulmuştur. Değerlendirmelerde istatistiksel ilişkiler verilmeyip verilerin konumlandığı sınırlar grafikler üzerinde gösterilmiştir. Sunulan grafiklerde bazı verilerin çizilen sınırları oldukça dışında kaldığı görülmüştür. Bu veriler grafik üzerinde içi boş üçgen sembolü ile gösterilmiştir. Ayrıca veri kümesine 14 farklı tarihte yapılan çalışmalar içerisinden belirlenen en düşük akım değeri ve bu akım okumasının gerçekleştiği yerdeki mekanik deney sonuçları da ilave edilmiştir. En düşük akım değerlerinin okunduğu noktada kazının daha kolay gerçekleştiği ve bu kazı noktasındaki mekanik deney sonuçlarının diğer sonuçlara göre oldukça küçük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 8.3 ve 8.5). En kolay kazının olduğu bu noktayı tanımlayan spesifik enerji değeri ve buna karşılık gelen mekanik değerin en küçük veri olduğu aşağıda sunulan grafiklerde görülmektedir.

8.2.1.1. Tamburlu kesicinin eğim yukarı çalışması

Tamburlu kesici eğim yukarıya doğru kazı yaparken elde edilen spesifik enerji değerleri ile uzun ayak arınının mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

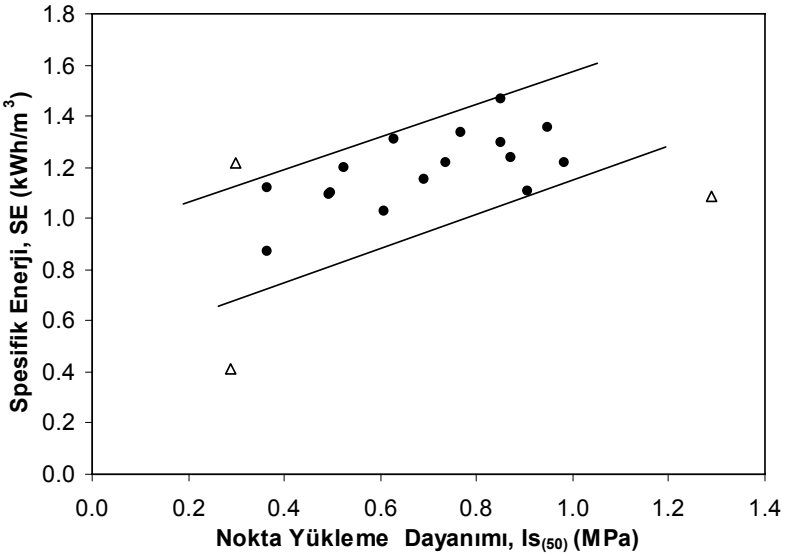
Şekil 8.6'da Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji değerleri ile Schmidt sertliği değerlerinin dar bir koridor arasında konumlandığı görülmektedir. Kazı arınındaki Schmidt sertlik değeri arttıkça spesifik enerji değerinin de doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir. Schmidt sertliği arttıkça kazı malzemesinin kazılması için gerekli enerji değerinin artması kazının zorlaştığını göstermektedir.



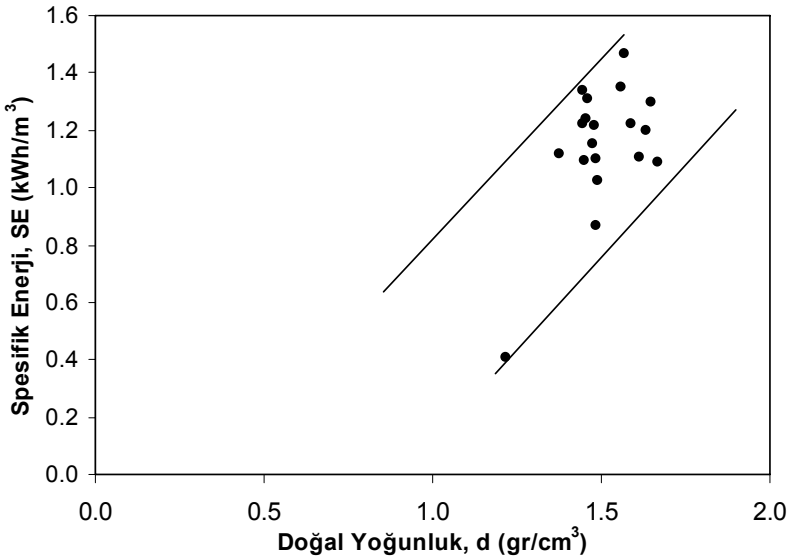
Şekil 8.6. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerjiler ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki.

Bilgi İşlem Merkezi kullanılarak elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan spesifik enerji ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 8.7'de görülmektedir. Nokta yükleme dayanımı arttıkça spesifik enerjinin de doğrusal bir şekilde arttığı verilerin belli bir koridor içerisinde konumlandığı görülmektedir. Kazı arınındaki malzemenin nokta yükleme dayanımı arttıkça kazı için gerekli spesifik enerji değeri de artmaktadır.

Şekil 8.8'de Bilgi İşlem Merkezi kullanılarak elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan spesifik enerji değerleri ile doğal yoğunluk değeri arasındaki ilişki görülmektedir. Dar bir koridor içerisinde konumlanan verilerden doğal yoğunluk değeri arttıkça spesifik enerji değerinin de doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir. Malzemenin doğal yoğunluğu arttıkça malzeme toklaşmakta diğer bir deyişle dayanımı artmaktadır ve böylece spesifik enerji değeri de buna paralel doğrusal olarak artmaktadır.



Şekil 8.7. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki.

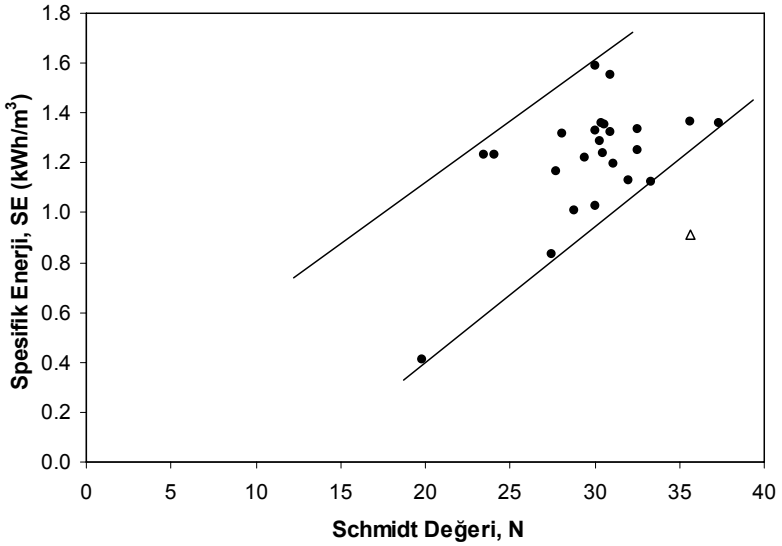


Şekil 8.8. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile doğal yoğunluk arasındaki ilişki.

8.2.1.2. Tamburlu kesicinin eğim aşağı çalışması

Tamburlu kesici eğim aşağıya doğru kazı yaparken elde edilen spesifik enerji değerleri ile uzun ayak arınının mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu veriler yardımıyla hesaplanan spesifik enerji değerleri ile uzun ayak arınının mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri gösteren grafikler aşağıda sunulmuştur.

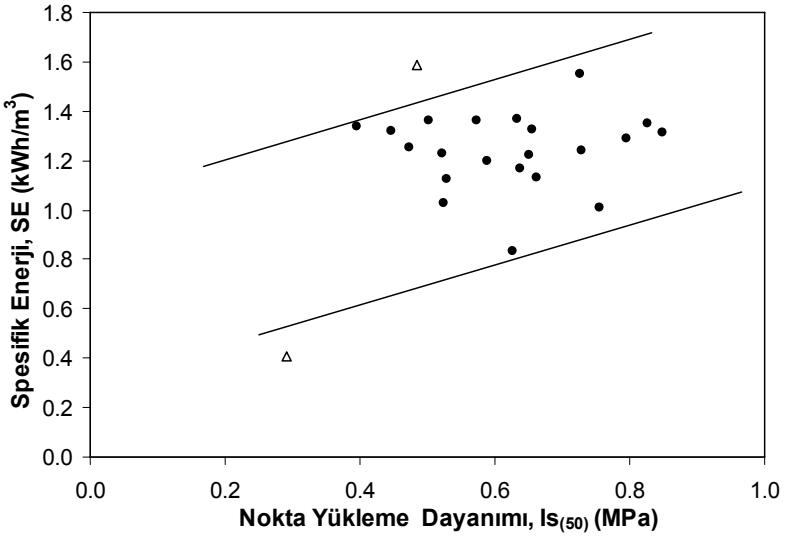
Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji değerleri ile Schmidt sertliği değerleri arasındaki ilişki Şekil 8.9'da görülmektedir. Schmidt sertliği arttıkça spesifik enerjinin de doğrusal bir şekilde arttığı verilerin toplandığı dar koridordan görülmektedir.



Şekil 8.9. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki.

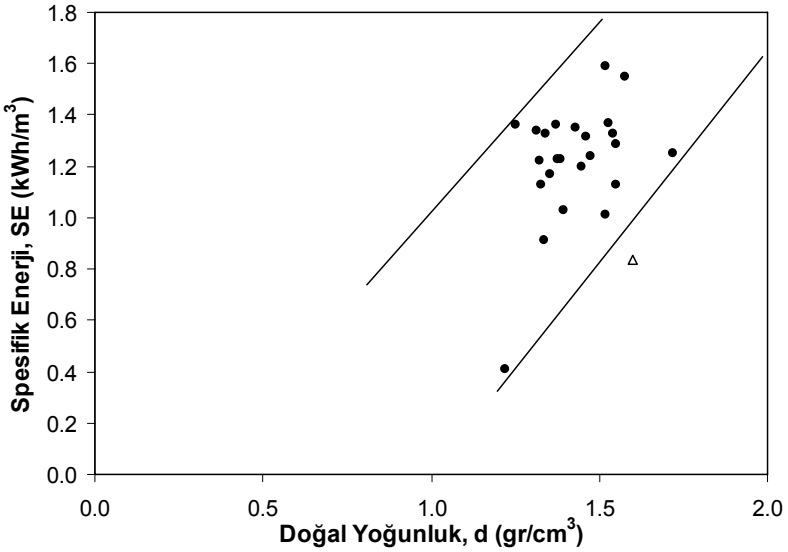
Eğim yukarı kazı çalışmaları için çizilen grafik (Şekil 8.6), Şekil 8.9'da hazırlanan grafik ile karşılaştırıldığında her ikisinin de benzer doğrusal bir yapı sergilediği görülmektedir.

Şekil 8.10'da Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki görülmektedir. Belli bir koridor içerisine konumlanan verilerden nokta yükleme dayanımı arttıkça spesifik enerjinin de doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir. Kazı malzemesinin dayanımının artmasıyla birlikte bu malzemenin kazılması için gerekli spesifik enerjinin de artığı görülmektedir. Eğim aşağı için belirlenen Şekil 8.10'un eğim yukarı için çizilen Şekil 8.7 ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 8.10. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki.

Bilgi İşlem Merkezi kullanılarak elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan spesifik enerji ile doğal yoğunluk değeri arasındaki ilişki Şekil 8.11'de görülmektedir. Doğal yoğunluk değeri arttıkça spesifik enerjinin doğrusal bir şekilde arttığı verilerin Şekil 8.8'de olduğu gibi dar bir koridorda olduğu görülmektedir. Malzemenin yoğunluğunun artması ile dayanım artmakta ve böylece kazı zorlaşmaktadır.



Şekil 8.11. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile doğal yoğunluğu arasındaki ilişki.

8.2.2. Spesifik enerji değerleri ile ayak içi parametrelerinin karşılaştırılması

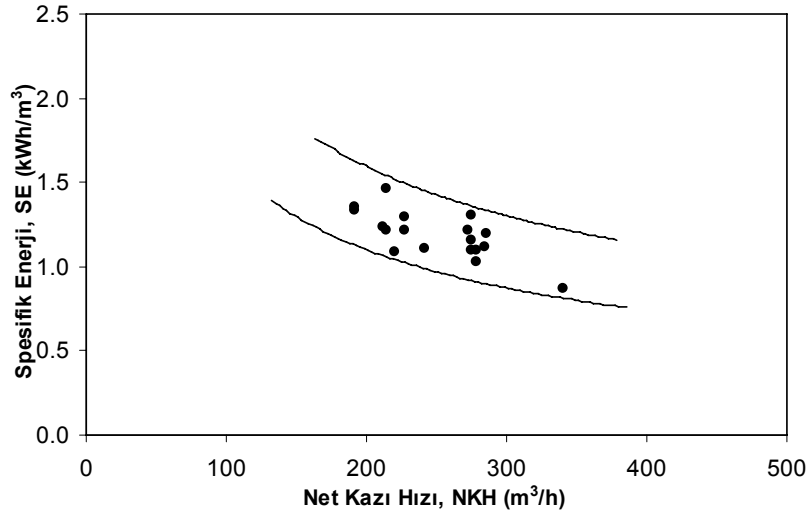
Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji değerleri ile ayak içerisinde ölçülen yürüyen tahkimatlara gelen basınçlar (bar), tamburlu kesicinin net kazı hızı (m^3/h) ve makinanın ilerleme hızı (m/dk) parametreleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Burada da yine ayak eğiminin spesifik enerji değerlerine etki edeceği düşünülerek değerlendirmeler eğim aşağıya doğru kazı ve eğim yukarıya doğru kazı olarak ayrı ayrı yapılmıştır. sunulan grafiklerde verilerin yoğunlaştığı sınırlar çizilmeye çalışılmıştır. Bu sınırlar dışında kalan veriler içi boş üçgen semboller ile gösterilmiştir. Ayrıca 14 farklı tarihte gerçekleştirilen ölçümlerden en düşük akım okumasının yapıldığı bölge göz önüne alınarak bu bölgeye ait spesifik enerji ve ayak içi parametreleri veri olarak aşağıda sunulan grafikler de kullanılmıştır (Çizelge 8.3 ve 8.5).

8.2.2.1. Tamburlu kesicinin eğim yukarı çalışması

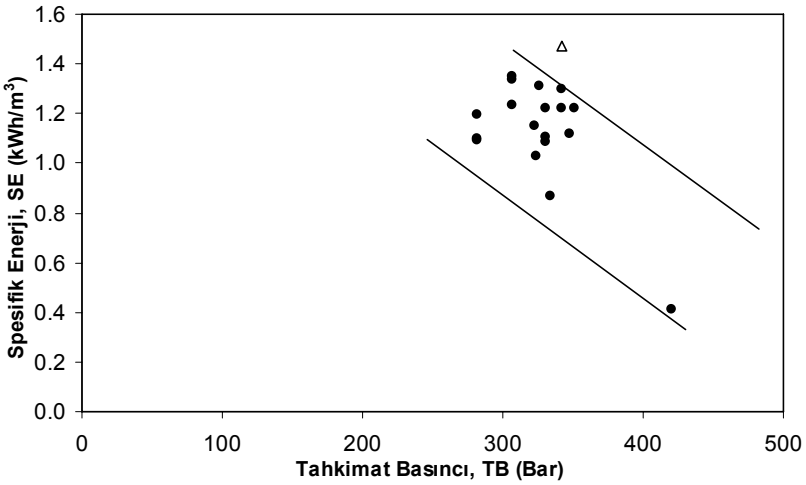
Tamburlu kesici eğim yukarıya doğru kazı yaparken Bilgi İşlem Merkezi'nden okunan veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji değerleri ile ayak içinde ölçülen yürüyen tahkimatlara gelen basınçlar (bar), tamburlu kesicinin net kazı hızı (m^3/h) ve ilerleme hızı (m/dk) karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler belirlenmiştir. Aşağıdaki grafiklerde bu ilişkiler sunulmuştur.

Şekil 8.12'de Bilgi İşlem Merkezi yardımıyla elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Net kazı hızı arttıkça spesifik enerjinin de üssel bir şekilde dar bir koridor içerisinde azaldığı görülmektedir. Birim zamanda kazılan malzeme miktarı azaldıkça başka bir deyişle kazı zorlaştıkça spesifik enerji değeri artmaktadır.

Bilgi İşlem Merkezi yardımıyla elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile tahkimat basıncı arasındaki ilişki Şekil 8.13'de görülmektedir. Tahkimat basıncı arttıkça spesifik enerjinin doğrusal bir şekilde dar bir koridor içerisinde azaldığı görülmektedir.



Şekil 8.12. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki.

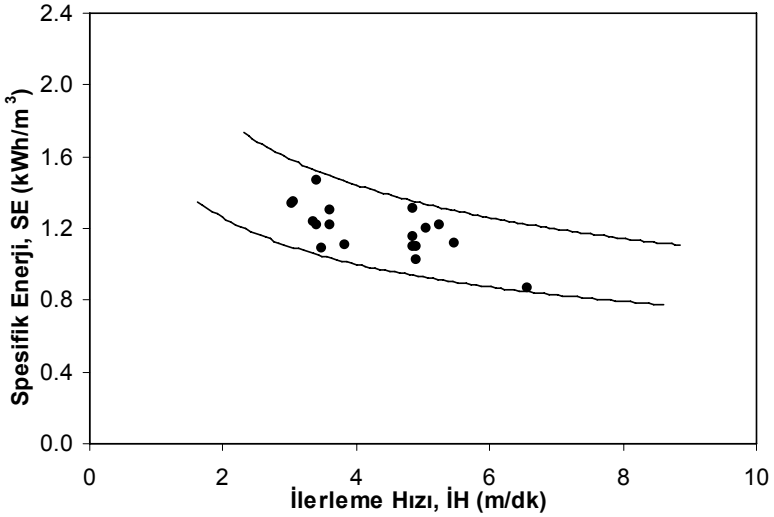


Şekil 8.13. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile tahkimat basıncı arasındaki ilişki.

Şekil 8.13'de görüldüğü gibi arın üzerinde oluşan ikincil arazi gerilmeleri nedeniyle tahkimata gelen basınç ile birlikte arın üzerinde oluşan gerilmeler zamanla artmaktadır. Böylece kömür damarının ön kısmı gevşeyerek kolay kazılabilir hale gelmekte ve kazı için gerekli olan güç azalmakta buna bağlı olarak da spesifik enerji doğrusal davranışla azalmaktadır. Ancak bu durum kömür arınının ön kısmı için geçerli olurken arının iç kısımlarında (yaklaşık 40–60 cm) tam tersi sıkılaşmalar olmakta ve böylece kömürün kazılmasının zorlaştığı görülmektedir.

Şekil 8.14'de Bilgi İşlem Merkezi kullanılarak elde edilen verilerden hesaplanan spesifik enerji değeri ile ilerleme hızı arasındaki ilişki görülmektedir.

Yerinde gerçekleştirilen çalışmalarda fiili makina hızı belirlenmiş ve aşağıdaki grafikte bu değerler kullanılmıştır. Şekil 8.14'de görüldüğü gibi ilerleme hızı arttıkça spesifik enerji değerinin dar sınır içerisinde üssel bir davranışla azaldığı görülmektedir.

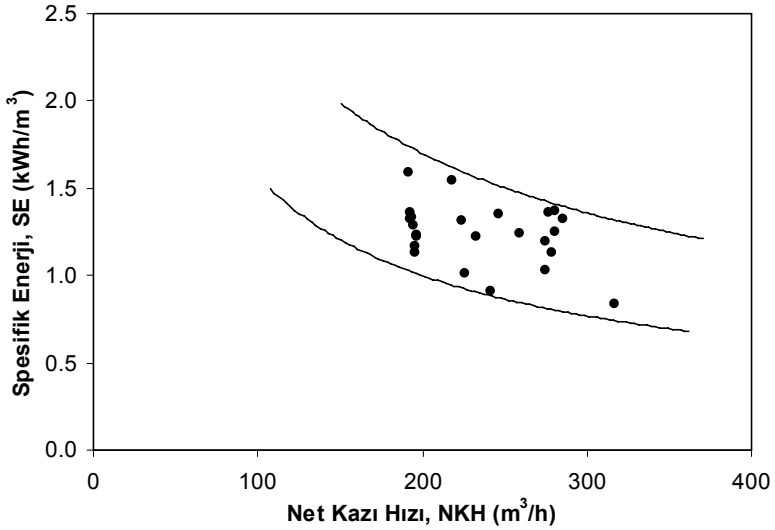


Şekil 8.14. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile ilerleme hızı arasındaki ilişki.

8.2.2.2. Tamburlu kesicinin eğim aşağı çalışması

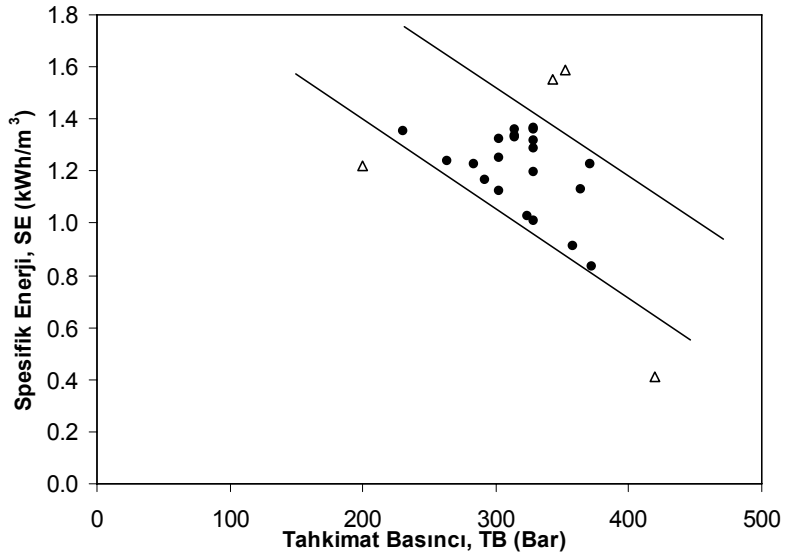
Tamburlu kesici eğim aşağıya doğru kazı yaparken saniye saniye akım değerlerinin toplandığı Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile ayak içinde ölçülen yürüyen tahkimatlara gelen basınçlar (bar), tamburlu kesicinin net kazı hızı (m^3/h) ve ilerleme hızı (m/dk) parametreleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler belirlenmiştir. Aşağıdaki grafiklerde bu ilişkiler sunulmuştur.

Şekil 8.15'de Bilgi İşlem Merkezi kullanılarak elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan spesifik enerji değeri ile makinanın net kazı hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Net kazı hızı arttıkça spesifik enerji değerinin üssel şekilde dar bir sınır içerisinde azaldığı görülmektedir. Eğim yukarı kazı için çizilen Şekil 8.12 ile eğim aşağı durum için burada sunulan Şekil 8.15 karşılaştırılırsa davranışın her iki durumunda aynı olduğu görülmektedir. Net kazı hızı (m^3/h) artarken (birim zamanda daha çok kazı yapılırken) spesifik enerji değerinin azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 8.15. Bilgi İşlem Merkezi elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki.

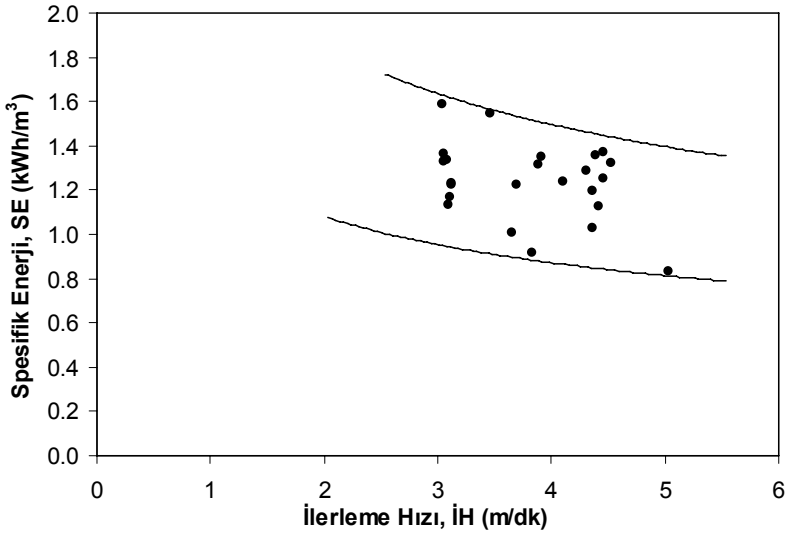
Kontrol merkezi olan Bilgi İşlem Merkezi kullanılarak elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan spesifik enerji değeri ile tahkimat basıncı arasındaki ilişki Şekil 8.16'da görülmektedir. Tahkimat basıncı artıkça spesifik enerji değerinin doğrusal bir şekilde belli bir sınır içerisinde azaldığı görülmektedir.



Şekil 8.16. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile tahkimat basıncı arasındaki ilişki.

Şekil 8.17'de Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji değeri ile makinanın ilerleme hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Bu çalışmada ilerleme hızı deneysel ölçüm bölgesi uzunluğunun

(48 m) bu bölgeyi makinanın kazdığı süreye (dk) bölünmesi ile belirlenmiştir. İlerleme hızı arttıkça spesifik enerji değerinin üstel şekilde dar bir sınır içerisinde azaldığı görülmektedir.



Şekil 8.17. Bilgi İşlem Merkezi'nden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan spesifik enerji ile ilerleme hızı arasındaki ilişki.

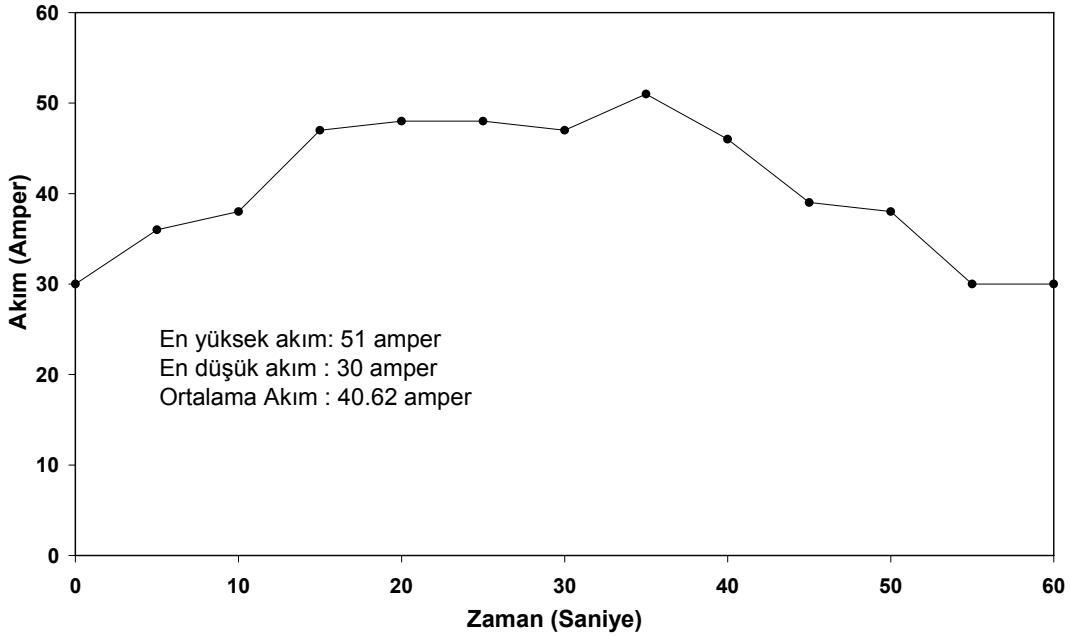
Eğim aşağı kazı sonuçları ile eğim yukarı kazı sonuçları (Şekil 8.14 ve 8.17) karşılaştırıldığında eğim yukarı kazı için ilerleme hızı (m/dk) ile spesifik enerji (kWh/m^3) arasındaki davranışların benzer olduğu görülmektedir.

8.3. Taban Yollarında Gerçekleştirilen Çalışmaların Değerlendirilmesi

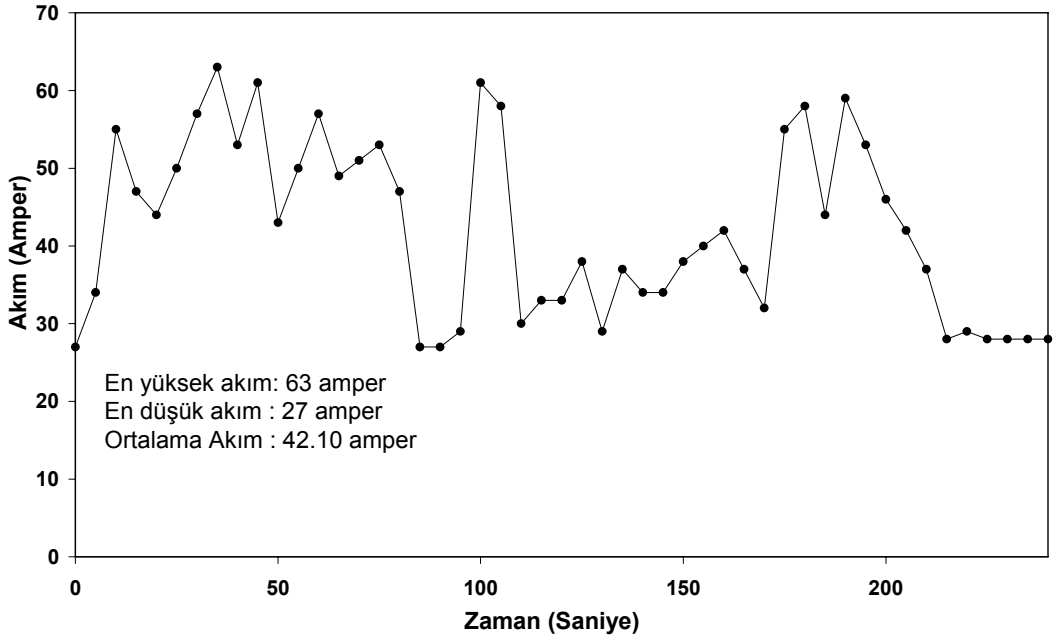
B810 ve C1310 taban yollarının kazısında kullanılan Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının performans analizleri için bu taban yollarında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Performans çalışması için hazırlanan arında öncelikle Bölüm 5'de anlatıldığı gibi sistematik bir biçimde Schmidt sertliği, nokta yükleme dayanımı ve doğal yoğunluk belirleme deneyleri yapılmış (Çizelge 8.4) daha sonra mekanik olarak taranan arında Bölüm 7'de anlatıldığı gibi Dosco Mk2B kollu galeri açma makinası ile kazı yapılmıştır. Kazı esnasında kazıcı makinanın çektiği akım değerleri 5 saniye aralıklarla manüel olarak kayıt edilmiştir. Tavan taşı, tavan kömürü, arakesme, taban kömürü ve taban taşından akım değerleri alınmıştır. Her bir kaya biriminden okunan akım değerleri Şekil 8.18'deki gibi değerlendirilmiş ve sonuçları Çizelge 8.5'de toplanmıştır.

Çizelge 8.4. Taban yollarında gerçekleştirilen mekanik deney sonuçları

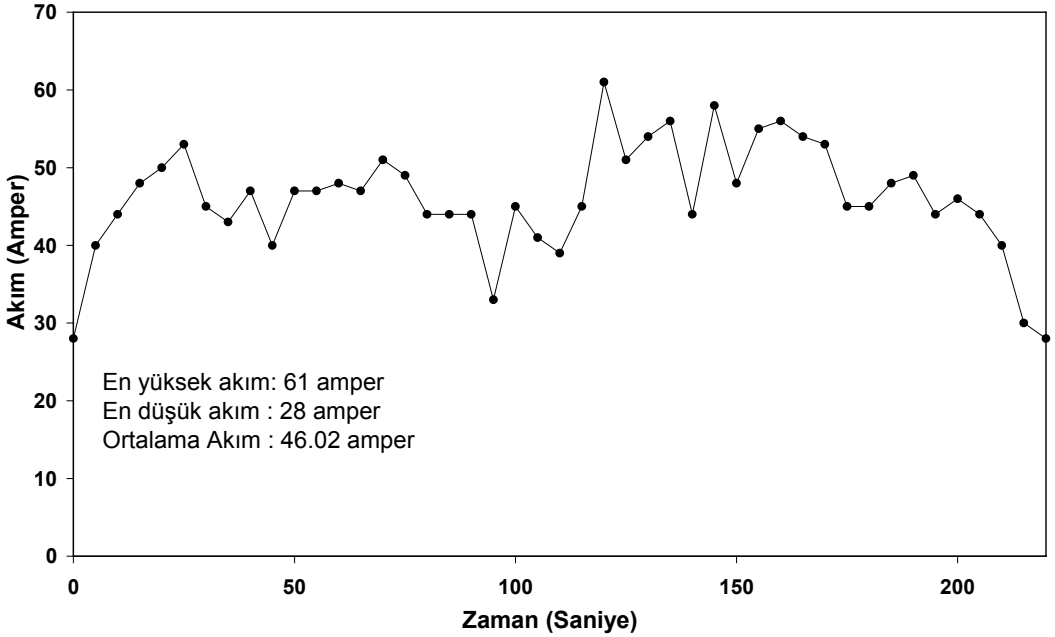
Ölçüm tarihi	Taban yolu adı	Ölçülen bölge	Schmidt sertliği		Nokta yükleme dayanımı		Doğal yoğunluk	
			Deney sayısı	Deney sonucu	Deney sayısı	Deney sonucu (MPa)	Deney sayısı	Deney sonucu (gr/cm^3)
21 Temmuz 2006	B810	Tavan taşı	45	24.8±10.7	-	-	-	-
21 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	50	29.9±9.6	10	0.52±0.23	8	1.51±0.07
21 Temmuz 2006	B810	Arakesme	42	20.2±5.2	6	0.22±0.17	-	-
21 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	50	29.1±10.4	7	0.82±0.35	7	1.58±0.23
21 Temmuz 2006	B810	Taban taşı	-	-	-	-	-	-
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan taşı	14	22.4±4.8	-	-	-	-
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	26	30.2±9.6	7	0.44±0.20	6	1.34±0.17
22 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	21	20.3±4.9	5	0.69±0.55	10	1.92±0.08
22 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	25	34.3±10.9	7	0.40±0.09	6	1.29±0.05
22 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	8	26.0±5.2	8	3.34±1.98	10	2.16±0.11
26 Temmuz 2006	B810	Tavan taşı	7	18.6±4.6	-	-	-	-
26 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	41	25.4±8.5	13	0.52±0.41	5	1.31±0.05
26 Temmuz 2006	B810	Arakesme	20	18.7±6.3	-	-	5	1.31±0.06
26 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	33	27.5±8.8	10	0.66±0.16	8	1.45±0.19
26 Temmuz 2006	B810	Taban taşı	-	-	-	-	-	-
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan taşı	6	22.3±3.2	-	-	-	-
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	42	29.6±7.5	8	0.43±0.12	8	1.41±0.06
27 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	22	21.9±2.6	-	-	-	-
27 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	25	26.4±5.2	9	0.31±0.12	9	1.28±0.06
27 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	6	19.7±2.7	-	-	-	-



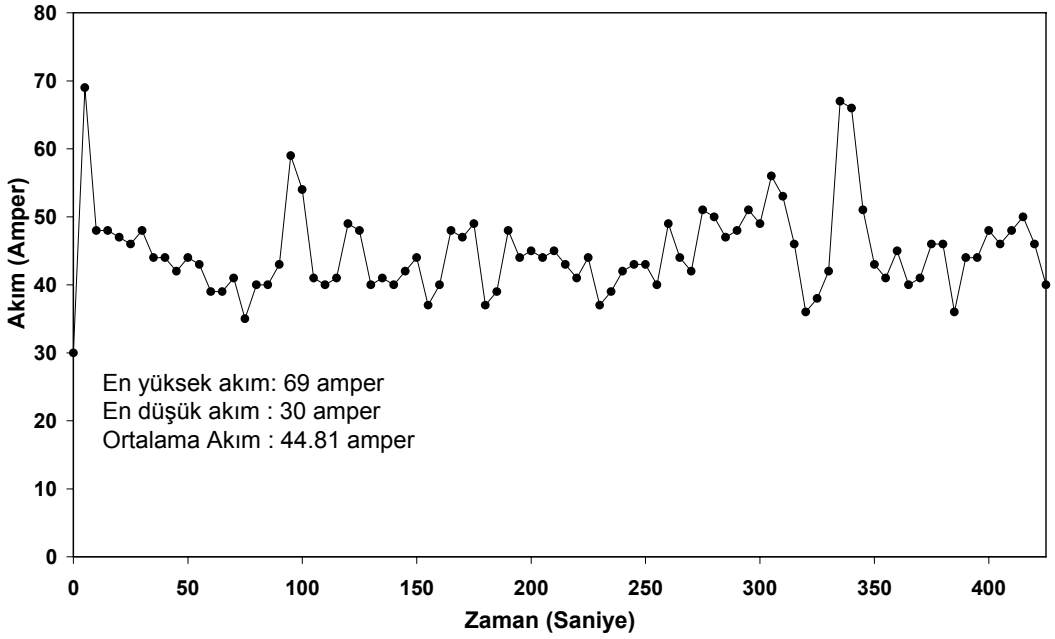
Şekil 8.18a. Taban yollarında tavan taşında gerçekleştirilen tipik bir akım ölçümü (27 Temmuz 2006).



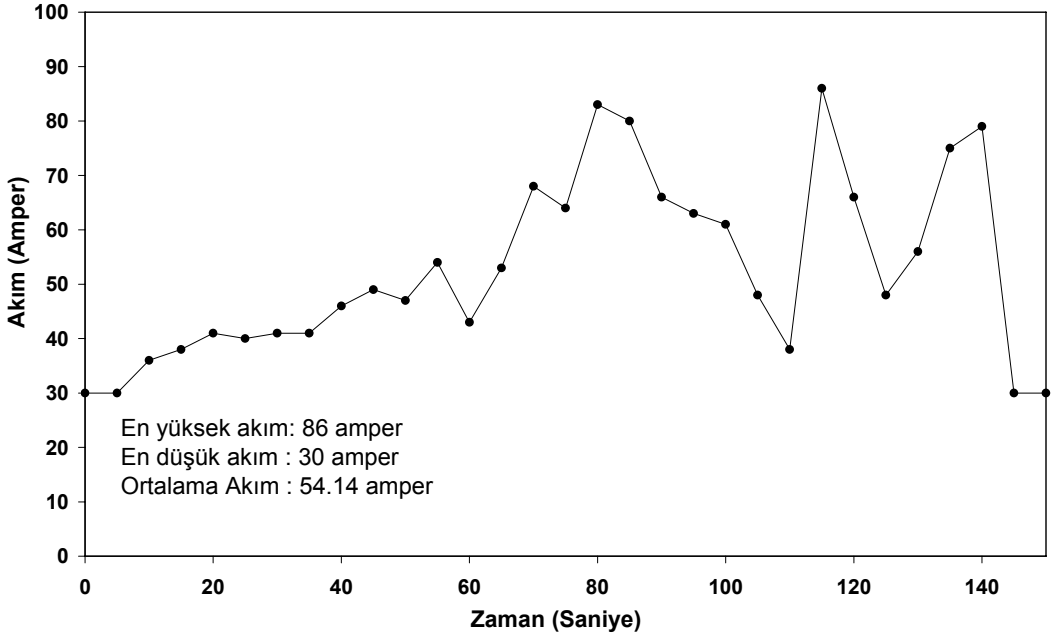
Şekil 8.18b. Taban yollarında tavan kömüründe gerçekleştirilen tipik bir akım ölçümü (27 Temmuz 2006).



Şekil 8.18c. Taban yollarında arakesmede gerçekleştirilen tipik bir akım ölçümü (27 Temmuz 2006).



Şekil 8.18d. Taban yollarında taban kömüründe gerçekleştirilen tipik bir akım ölçümü (27 Temmuz 2006).



Şekil 8.18e. Taban yollarında taban taşında gerçekleştirilen tipik bir akım ölçümü (27 Temmuz 2006).

Çizelge 8.5. Taban yollarındaki ortalama akım değerleri

Ölçüm tarihi	Taban yolu adı	Ölçülen bölge	Veri sayısı	Ortalama akım (Amper)
21 Temmuz 2006	B810	Tavan taşı	-	-
21 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	6	32.75±4.30
21 Temmuz 2006	B810	Arakesme	11	34.26±8.00
21 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	6	60.63±8.11
21 Temmuz 2006	B810	Taban taşı	-	-
26 Temmuz 2006	B810	Tavan taşı	10	25.10±2.81
26 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	15	33.27±8.10
26 Temmuz 2006	B810	Arakesme	33	48.52±9.23
26 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	46	46.58±10.05
26 Temmuz 2006	B810	Taban taşı	-	-
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan taşı	30	32.63±3.37
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	30	38.76±9.98
22 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	21	36.32±5.79
22 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	24	37.70±9.14
22 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	29	39.71±3.68
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan taşı	13	42.55±6.61
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	49	42.10±11.47
27 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	45	46.02±7.19
27 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	86	44.81±6.48
27 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	31	54.14±16.20

B810 ve C1310 taban yollarında gerçekleştirilen performans ölçümleri ve mekanik deney sonuçlarından değerlendirmek için bir veri tabanı hazırlanmıştır. Çizelge 8.6'da görülen bu veri tabanında her iki taban yolunda iki farklı tarihte gerçekleştirilen çalışmalara ait sonuçlar görülmektedir. Değerlendirmelerde kullanılmak üzere kazıcı makinanın kazı kapasitesinin ve harcadığı enerjinin arının mekanik özellikleri ile nasıl değiştiğini gösteren bir log hazırlanmıştır (Şekil 8.19). Bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak (Çizelge 8.6, Şekil 8.19) kazıcı makinanın performans değerlendirmesi yapılmıştır. Makinaya bağlı parametreler ile mekanik parametreler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla oluşturulan grafikler aşağıda sunulmuştur.

8.3.1. Spesifik enerji değerleri ile mekanik deney sonuçlarının karşılaştırılması

Kollu galeri açma makinasının güç ünitesi üzerinden her 5 saniyede bir okunan akım değerleri yardımıyla hesaplanan spesifik enerji değerleri ile arının mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu grafiklerde taban yollarındaki mekanik özellikleri belirlenmiş olan; taban kömürü, tavan kömürü, tavan taşı, taban taşı ve arakesme birimlerinden elde edilen veriler birlikte göz önüne alınmıştır. Ayrıca grafiksel analizlerde C1301 ve B810 taban yolları birlikte değerlendirilmiştir. Taban yollarındaki çalışmalardan elde edilen spesifik enerji ile mekanik deney sonuçları arasındaki ilişkiler aşağıda sırasıyla sunulmuştur. Grafiklerde verilerin yoğunlaştığı bölgeler belirlenmiştir. Bu veri yoğunlaşmasının dışında kalan veriler içi boş üçgen sembol ile ifade edilmiştir.

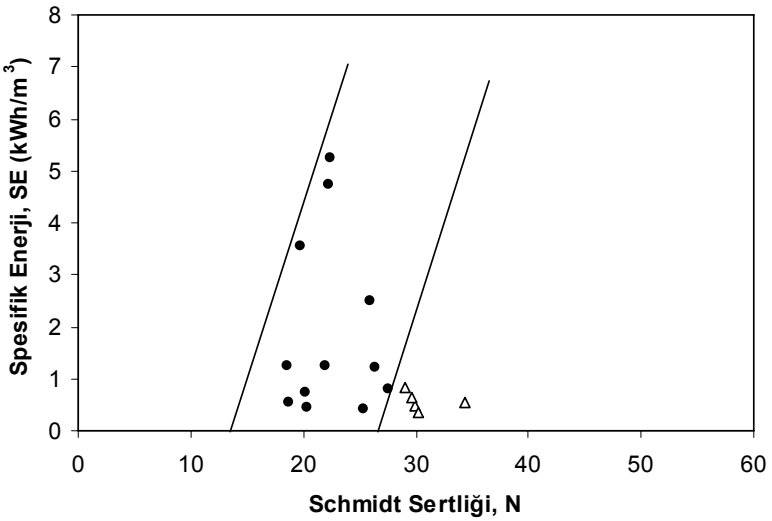
Spesifik enerji değeri ile Schmidt sertliği değeri arasındaki ilişki Şekil 8.20'de sunulmuştur. Buradan da açıkça görüldüğü gibi arının Schmidt sertlik değeri arttıkça spesifik enerji de dar bir sınır içerisinde doğrusal bir şekilde artmaktadır. Kazı yüzeyinin Schmidt sertlik değerinin yükselmesi arındaki malzemenin daha zor kazılacağını göstermektedir. Kazı zorluğu yada kolaylığının bir göstergesi olan spesifik enerji değerlerinin ise bununla bir yakınlık gösterdiği Şekil 8.20'de görülmektedir.

Çizelge 8.6. Taban yollarında gerçekleştirilen mekanik deney ve performans ölçüm sonuçları

Ölçüm tarihi	Taban yolu adı	Ölçülen bölge	Mekanik deney sonuçları			Performans ölçüm sonuçları			
			Schmidt sertliği	Nokta yükleme dayanımı (MPa)	Doğal yoğunluk (gr/cm^3)	Ortalama Akım (Amper)	Kazı hızı (m/dk)	Net kazı hızı (m^3/h)	Spesifik enerji (kWh/m^3)
21 Temmuz 2006	B810	Tavan taşı	24.8±10.7	-	-	-	-	-	-
21 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	29.9±9.6	0.52±0.23	1.51±0.07	32.75±4.30	0.17	66.90	0.49
21 Temmuz 2006	B810	Arakesme	20.2±5.2	0.22±0.17	-	34.26±8.00	0.09	47.29	0.72
21 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	29.1±10.4	0.82±0.35	1.58±0.23	60.63±8.11	0.17	71.90	0.84
21 Temmuz 2006	B810	Taban taşı	-	-	-	-	-	-	-
26 Temmuz 2006	B810	Tavan taşı	18.6±4.6	-	-	25.10±2.81	0.67	20.00	1.26
26 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	25.4±8.5	0.52±0.41	1.31±0.05	33.27±8.10	0.20	80.28	0.41
26 Temmuz 2006	B810	Arakesme	18.7±6.3	0.70±0.22	1.31±0.06	48.52±9.23	0.18	91.80	0.53
26 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	27.5±8.8	0.66±0.16	1.45±0.19	46.58±10.05	0.13	57.52	0.81
26 Temmuz 2006	B810	Taban taşı	-	-	-	-	-	-	-
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan taşı	22.4±4.8	-	-	32.63±3.37	0.21	6.21	5.26
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	30.2±9.6	0.44±0.20	1.34±0.17	38.76±9.98	0.21	106.14	0.37
22 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	20.3±4.9	0.69±0.55	1.92±0.08	36.32±5.79	0.30	82.80	0.44
22 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	34.3±10.9	0.40±0.09	1.29±0.05	37.70±9.14	0.13	69.10	0.55
22 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	26.0±5.2	3.34±1.98	2.16±0.11	39.71±3.68	0.21	15.81	2.51
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan taşı	22.3±3.2	-	-	42.55±6.61	0.60	9.00	4.73
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	29.6±7.5	0.43±0.12	1.41±0.06	42.10±11.47	0.13	64.95	0.65
27 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	21.9±2.6	-	-	46.02±7.19	0.14	37.23	1.24
27 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	26.4±5.2	0.31±0.12	1.28±0.06	44.81±6.48	0.07	36.76	1.22
27 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	19.7±2.7	-	-	54.14±16.20	0.21	15.27	3.55

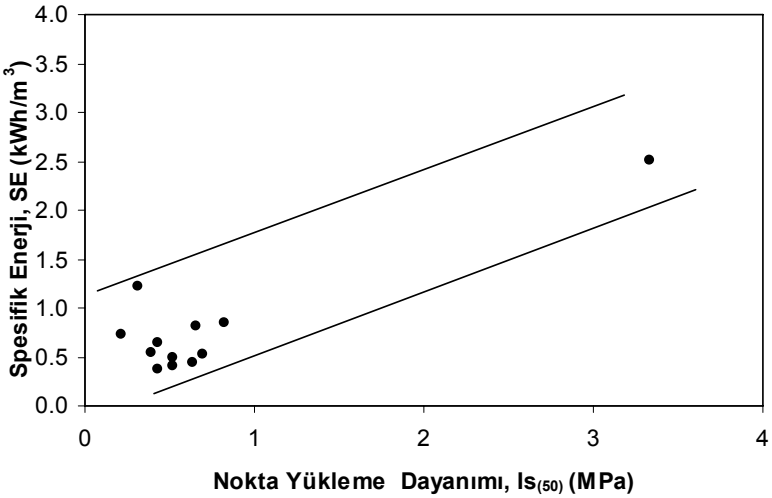
Ölçüm tarihi	Taban yolu adı	Ölçülen bölge	Mekanik deney sonuçları			Performans ölçüm sonuçları			
			Schmidt sertliği	Nokta yükleme dayanımı (MPa)	Doğal yoğunluk (gr/cm^3)	Ortalama Akım (Amper)	Kazı hızı (m/dk)	Net kazı hızı (m^3/h)	Spesifik enerji (kWh/m^3)
21 Temmuz 2006	B810	Tavan taşı	25						
21 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	30	0.5	1.5	33	0.2	67	0.5
21 Temmuz 2006	B810	Arakesme	20	0.2		34	0.1	47	0.7
21 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	29	0.8	1.6	61	0.2	72	0.8
21 Temmuz 2006	B810	Taban taşı							
26 Temmuz 2006	B810	Tavan taşı	19			25	0.7	20	1.3
26 Temmuz 2006	B810	Tavan kömürü	25	0.5	1.3	33	0.2	80	0.4
26 Temmuz 2006	B810	Arakesme	19		1.3	49	0.2	92	0.5
26 Temmuz 2006	B810	Taban kömürü	28	0.7	1.5	47	0.1	58	0.8
26 Temmuz 2006	B810	Taban taşı							
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan taşı	22			33	0.2	6.2	5.3
22 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	30	0.4	1.3	39	0.2	106	0.4
22 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	20	0.7	1.9	36	0.3	83	0.4
22 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	34	0.4	1.3	38	0.1	69	0.6
22 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	26	3.3	2.2	40	0.2	16	2.5
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan taşı	22			43	0.6	9	4.7
27 Temmuz 2006	C1310	Tavan kömürü	30	0.4	1.4	42	0.1	65	0.7
27 Temmuz 2006	C1310	Arakesme	22			46	0.1	37	1.2
27 Temmuz 2006	C1310	Taban kömürü	26	0.3	1.3	45	0.1	37	1.2
27 Temmuz 2006	C1310	Taban taşı	20			54	0.2	15	3.6

Şekil 8.19. Taban yollarında gerçekleştirilen mekanik deney ve performans ölçüm sonuçlarının log gösterimi.



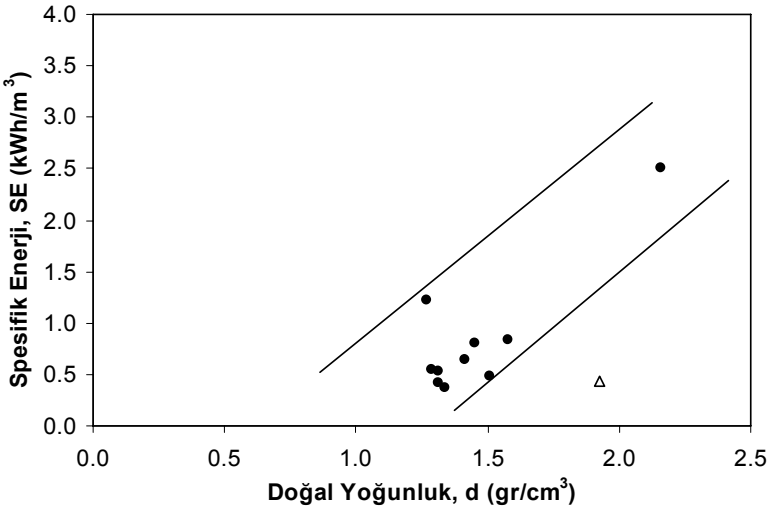
Şekil 8.20. Spesifik enerji ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki.

Spesifik enerji ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 8.21'de sunulmuştur. Aşağıda sunulan grafikten görüldüğü gibi arının nokta yükleme dayanımı değeri arttıkça spesifik enerji değeri de doğrusal dar bir koridor içerisinde artmaktadır. Kazı arınında karşılaşılan beş farklı malzemenin nokta yükleme dayanım değerlerinin sunulduğu Şekil 8.21'de nokta yükleme dayanımlarının artması malzemenin daha dayanıklı yani kazısının daha zor olacağını gösterirken kazı performansı olarak algılanan spesifik enerji değerlerinin de buna paralel arttığı görülmektedir.



Şekil 8.21. Spesifik enerji ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki.

Şekil 8.22'de spesifik enerji ile doğal yoğunluk arasındaki ilişki sunulmuştur. Şekil 8.22'de görüldüğü gibi arının doğal yoğunluk değeri arttıkça spesifik enerji değeri de doğrusal şekilde dar bir sınır içerisinde artmaktadır. Kazı arınında karşılaşılan farklı malzemelerin doğal yoğunluklarının artması malzemenin daha zor kazılması anlamına gelmekte olup yerinde yapılan akım okumalarından hesaplanan spesifik enerji ile uyumlu olduğu Şekil 8.22'den izlenmektedir.

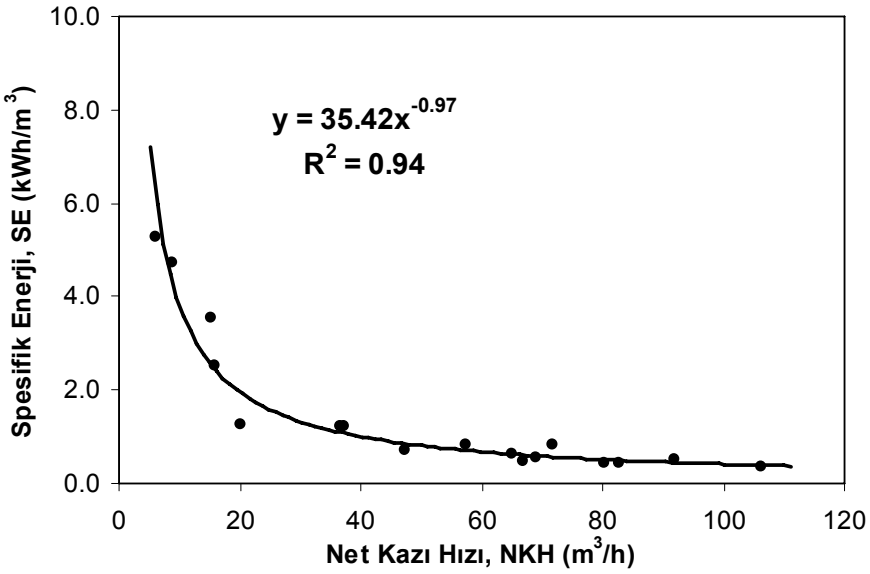


Şekil 8.22. Spesifik enerji ile doğal yoğunluk arasındaki ilişki.

8.3.2. Spesifik enerji değeri ile net kazı hızı arasındaki ilişki

Taban yollarında kazı çalışmalarını yürüten kollu galeri açma makinasının (Dosco Mk2B) kullandığı spesifik enerji değeri ile net kazı hızı arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmış ve analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Taban yollarında çalışan kazıcı makinanın spesifik enerji değeri ile net kazı hızı arasındaki ilişki Şekil 8.23'de görülmektedir. Spesifik enerji arttıkça net kazı hızı değeri üssel bir şekilde azalmaktadır. Uygulayıcı mühendisin dikkate alacağı birim saatteki kazı miktarı kazıcı makinanın kullanacağı spesifik enerji ile yakın bir ilişkide olduğu Şekil 8.23'den görülmektedir. Yukarıdaki bölümlerde sunulduğu gibi spesifik enerji malzemenin mekanik dayanımı ile doğrudan ilişkili olduğu bu çalışmada tespit edilmiştir.



Şekil 8.23. Spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki.

9. KAZICI MAKİNALARIN SEÇİMİ VE PERFORMANSLARININ TAHMİNİ İÇİN GELİŞTİRİLEN YAKLAŞIMLAR

9.1. Genel

Yeraltı kazı çalışmalarında bugün gelişen teknolojinin eseri olan kazı makinaları sıklıkla birçok projede kullanılmaktadır. Kazı makinaları kazı çalışmalarında hızlı ve sistematik bir uygulamanın yapılmasına fırsat vermektedir. Ancak ilk yatırımı pahalı olan bu makinaların yatırımcı kuruluşlar için tercihi çok önemli olmaktadır. Bunun için kazı makinaları üreten firmalar ve birçok araştırmacı kazı makinalarının tasarımında yoğun bir çalışma göstererek hemen hemen tasarımda son noktaya gelmişlerdir. Ancak uygulayıcı mühendisler, kazı işlemler için tercih edecekleri makinanın kendi iş yerlerinde ne derece başarılı olacağını diğer bir deyişle birim saatte ne kadar hacimde malzeme kazabileceğini ve enerji tüketeceğini bilmek istemektedir. Bunun için kazılacak malzemenin spesifik enerjisinin bilinmesi gereklidir. Bölüm 2'de sunulan kaynak araştırmasında belirtildiği gibi özellikle kollu galeri açma makinaları için spesifik enerji laboratuar çalışmaları ile belirlenebilmektedir. Bu doktora tez çalışması ile arazide belirlenen veri tabanı kullanılarak tamburlu kesici-yükleyiciler ve kollu galeri açma makinalarının seçiminde ve performanslarının tahmininde kullanılmak üzere spesifik enerji (SE) ve net kazı hızı (NKH) için görgül (amprik) matematiksel eşitlikler geliştirilmiş ve aşamaları aşağıda açıklanmıştır.

9.2. Tamburlu Kesici-Yükleyicilerin Seçiminde ve Performans Tahmininde Kullanılabilir Bir Matematiksel Yaklaşımın Geliştirilmesi

Çayırhan kömür havzasındaki B sektöründe hazırlanarak üretime alınan B06 ve B08 panolarında oluşturulan tavan ve taban ayak arınlarında farklı tarihlerde Bölüm 5 ve 7'de anlatıldığı gibi ölçümler yapılmıştır. Arında belirli bir sistematik dahilinde gerçekleştirilen ölçümler ile;

i.) Schmidt sertlik değerleri
ii.) Nokta yükleme dayanımı değerleri

iii.) Doğal yoğunluk değerleri
iv.) Tamburlu kesici-yükleyicinin çektiği akım değerleri
v.) Tamburlu kesici-yükleyicinin fiili hızı
vi.) Kazı öncesi arının bekleme süresi
vii.) Tahkimat ünitesine gelen yük değerleri

belirlenmiştir.

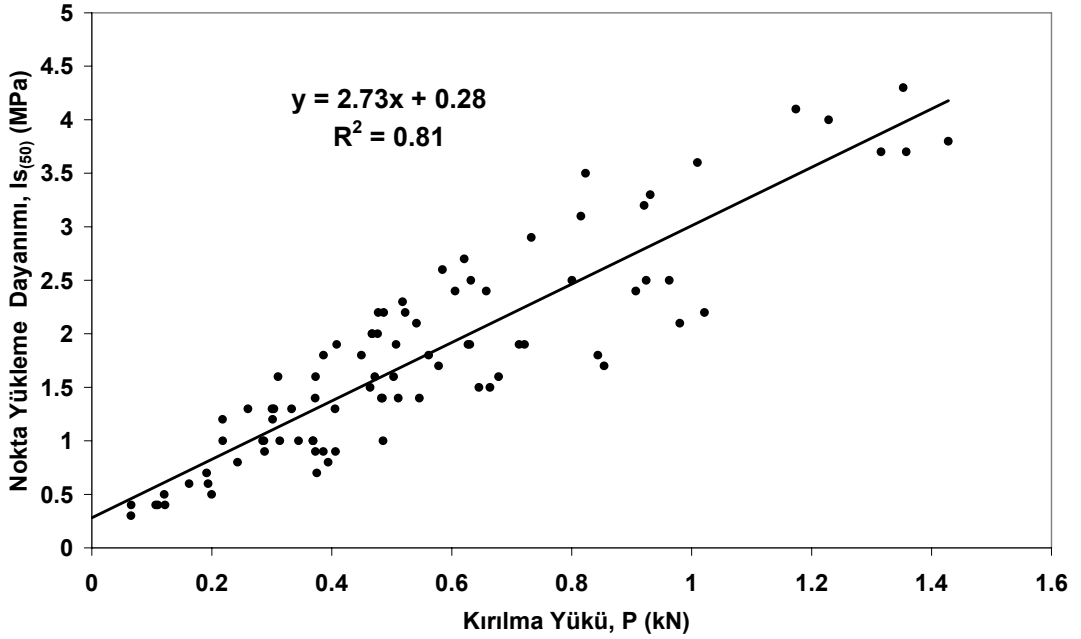
Yerinde yapılan ölçümler neticesinde öncelikle okunan akım değerleri ile makinanın çalıştığı volt değeri (3300 volt sabit) yardımıyla makinanın harcadığı güç (kW) değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra damar kalınlığı (1.5 m), tamburun damara dalma derinliği (0.7 m) ve tamburlu kesici-yükleyicinin fiili kazı hızı (m/dk) çarpılarak önce dakikada kazılan kömür hacmi daha sonra ise net kazı hızı olarak adlandırılan (m^3/h) değeri hesaplanmıştır. Neticede tamburlu kesicinin kazı esnasında çektiği güç (kW) değeri net kazı hızına (m^3/h) bölünerek spesifik enerji (kWh/m^3) değeri hesaplanmıştır. Bu detaylar ve spesifik enerji hesaplamaları Bölüm 7'de verilmiştir.

Çayırhan kömür havzası B sektöründeki B06 ve B08 pano arınlarında karşılaşılan spesifik enerji değerlerinin kazı yönüne bağlı olarak sınıflandırılabileceği görülmüştür. Kazı yönüne bağlı olarak kazının eğim aşağı olması durumunda spesifik enerji 0.83-1.59 kWh/m^3 aralığında değişirken eğim yukarı durumunda spesifik enerjinin 0.87-1.47 kWh/m^3 aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Bkz. Çizelge 8.3). Zorlu, zahmetli, zaman alıcı ve sistematik arazi çalışmaları ile hesaplanan bu spesifik enerjinin daha kolay bir görgül eşitlik ile belirlenebilmesi uygulayıcı mühendislerin işini kolaylaştıracaktır. Bu bakış açısı ile arazide sistematik çalışma ile gerçekleştirilen mekanik ölçümler yardımıyla bir görgül yaklaşım geliştirilmeye çalışılmıştır.

Spesifik enerjinin birimi iki türlü ifade edilmektedir. Bunlardan birincisi kWh/m^3 diğeri ise kNkm/m^3'dür. Birinci birimin 3.6 katı ikinci birimi vermektedir. Birinci birim zamana (h) ve güce (kW) bağlı iken ikinci birim yola (km) ve kuvvete (kN) bağlıdır. Kaynak araştırması ile genelde laboratuarda belirlenen spesifik enerjinin zamandan ve güçten bağımsız olarak kNkm/m^3 cinsinden belirlendiği daha sonra 3.6 değerine bölünerek kWh/m^3 birimine çevrildiği tespit edilmiştir. Çünkü kullanılacak makinanın gücü (kW) belirlenen spesifik enerjiye (kWh/m^3) bölünerek

uygulayıcı mühendisin öncelikle görmek istediği net kazı hızı (m^3/h) hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada da kaynak araştırmasındaki sistematiğin izlenmesine karar verilerek spesifik enerjinin zamandan (h) ve güçten (kW) bağımsız olarak yola (km) ve kuvvete (kN) bağlı olarak hesaplanmasına karar verilmiştir. Zamandan (h) bağımsız yola (km) ve kuvvete (kN) bağımlı spesifik enerji birimi, kNkm/m^3 göz önüne alınarak adım adım aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır;

i.) Kazı arınında sistematik olarak tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılamazken (Bölüm 6) nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilebilmiştir. Bu deney yardımıyla ISRM (1981) standardına uygun seçilen düzensiz parça numunelerin yenilmesi esnasında okunan kırılma yükü (P, kN) değerinin yenilme dayanımı ($Is_{(50)}$, MPa) ile uyumlu olduğu ve ilişkinin doğrusal bir davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum için tipik bir örnek Şekil 9.1'de sunulmuştur. Değerlendirmeler sonucunda bu parametrenin (P, kN) geliştirilecek eşitlikte çarpan olarak kullanılması düşünülmüştür.



Şekil 9.1. Nokta yükleme dayanımı ile kırılma yükü arasındaki ilişki (6 Mayıs 2005).

ii.) Kazı arınında kazılan malzeme miktarının hacim (m^3) cinsinden belirlenmesi için bu çalışmada yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bölüm 2'de sunulan kaynak araştırmasında belirtildiği gibi kollu galeri açma makinaları için

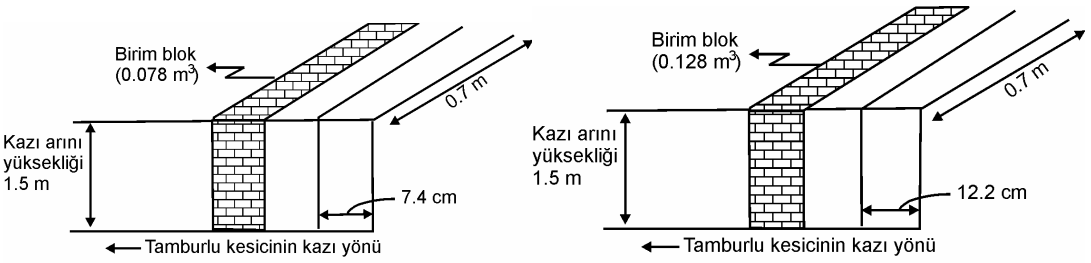
önerilen kayaç kazılabilirlik indeksi (Bölüm 2, Eşitlik 2.11) eşitliğinin RQD'ye bağlı olarak belirlendiği dikkat çekmiştir (Bilgin ve ark., 1988, 1990a, 1996, 1997). RQD ve süreksizlik sıklığı arasındaki yakın ilişki göz önüne alınarak kömür içerisindeki süreksizliğin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bunun için açık kömür yüzeylerinde (taban yolu boyunca) seçilen hat boyunca süreksizlik düzlemleri belirlenmeye çalışılmış ancak kömür yüzeylerinin zamanla bozuşması nedeniyle süreksizlikler belirlenememiştir. Bu yüzden B810 ve C1310 taban yollarından getirilen blokların hacimsel değerleri kayıt edilmiştir. Bu bloklardan laboratuarda alınan karotlar yardımıyla karşılaşılan süreksizlik düzlemleri tespit edilmiştir. Daha sonra bu belirlenen süreksizlik düzlemleri blok üzerinde üç boyutlu olarak işaretlenmiştir. Böylece getirilen her blokta ne kadar süreksizlik olduğu belirlenmiştir (Çizelge 9.1). Daha sonra $1m^3$'teki süreksizlik sayısı belirlenmiş ve B (B810 taban yolundan) ile C (C1310 taban yolundan) sektörleri için ortalama süreksizlik sayılarının sırasıyla 12.73 $\#/m^3$ ve 7.80 $\#/m^3$ olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 9.1. B ve C sektörlerine ait birim hacim için belirlenen ortalama süreksizlik sayısı.

Bloğun alındığı taban yolu	Blok adı	Blok hacmi (m^3)	Blokta tespit edilen süreksizlik sayısı (#)	Birim hacimdeki süreksizlik sayısı ($\#/m^3$)	Ortalama süreksizlik sayısı ($\#/m^3$)
B810	B Taban-1	-	-	-	
B810	B Taban-2	0.2312	4	17.3	
B810	B Taban-3	0.1961	3	15.3	
B810	B Taban-4	0.2000	3	15.0	
B810	B Taban-5	0.2083	1	4.8	
B810	B Tavan-1	0.2777	3	10.8	12.73
B810	B Tavan-2	0.2597	2	7.7	
B810	B Tavan-3	0.2098	3	14.3	
B810	B Tavan-4	0.2777	3	10.8	
B810	B Tavan-5	0.2151	4	18.6	
C1310	C Taban-1	0.2500	2	8.0	
C1310	C Taban-2	0.2500	2	8.0	
C1310	C Taban-3	0.2500	3	12.0	7.80
C1310	C Tavan-1	0.2857	2	7.0	
C1310	C Tavan-2	0.2500	1	4.0	

B ve C sektörlerine ait belirlenen süreksizlik adedinin ($\#/m^3$) tersi alınırsa iki süreksizlik arasında kalan birim bloğun hacim değeri ($m^3/\#$) belirlenmiş olacaktır. Bu değer B sektörü için 0.078 m^3, C sektörü için 0.128 m^3 olacaktır. Bu değer V ($m^3/\#$) ile sembolize edilmiştir. Kazı arını yüksekliği 1.5 m ve tamburlu kesicinin kazı derinliği 0.7 m olarak alınırsa birim bloğun

üçüncü boyutu B sektörü için 7.4 cm, C sektörü için 12.2 cm olarak hesaplanabilecektir (Şekil 9.2).



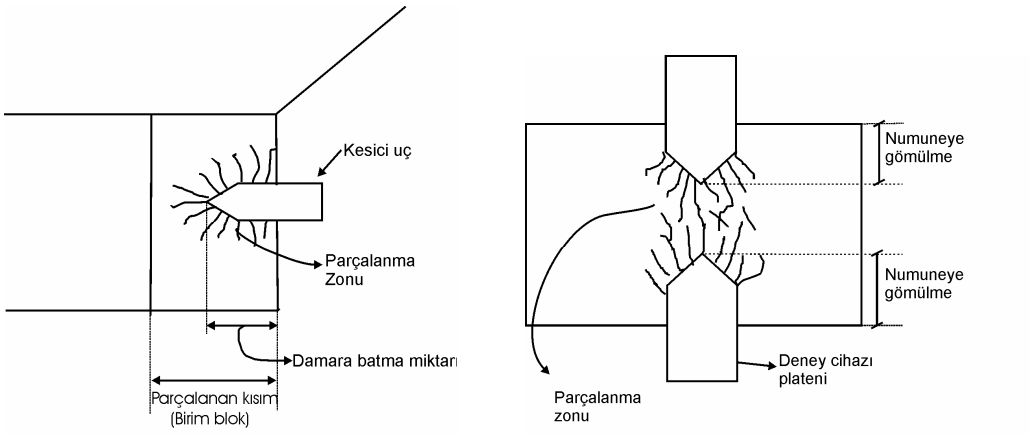
B sektörü için C sektörü için

Şekil 9.2. B ve C sektörü için birim blok tanımı.

Şekil 9.2'de görüldüğü gibi tamburlu kesicinin kazı yönünde var olan birim bloğun genişliği B ve C sektörleri için sırasıyla 7.4 cm ve 12.2 cm olacaktır. Tamburlu kesicinin üzerindeki her bir kesici ucun yerleştiği soketin dışındaki uç uzunluğun 10 cm olduğu düşünülürse kesicinin her bir darbesiyle öncelikle belirlenen birim blok darbe alarak parçalanacaktır. Şekil 9.2'de ifade edilen birim blok hacminin (V, m^3/#) geliştirilecek eşitlikte bölen olarak kullanılması planlanmıştır.

iii.) Nokta yükleme dayanımı deneyinde numune, cihaz üzerinde takılı olan iki platen arasında sıkıştırılarak kırılmaktadır. Bu durum tamburlu kesicinin üzerindeki platen uçlara benzemektedir. Tamburlu kesicide malzemeye uçlar vasıtasıyla noktasal olarak etki etmekte ve sonuçta malzemeyi parçalamaktadır. Arındaki kömür üzerine baskı yapan uç önce saplanmakta ve malzemeye uygulanan kuvvet yardımıyla malzemede çatlaklar oluşmakta ve parçalanma söz konusu olmaktadır. Benzer durum nokta yükleme dayanımı deneyinde de söz konusudur. Deney cihazının platen uçları önce malzeme içine batmakta ve uygulanan kuvvet yardımıyla malzeme kırılmaktadır (Şekil 9.3). Nokta yükleme dayanımı deneyinden okunan batma değerinin (U,mm) arazideki tamburlu kesiciye ait bir ucun malzemeye batmasını temsil ettiği bu çalışmada kabul edilmiştir. Tamburlu kesicinin her bir ucu burada ifade edilen U (mm) kadar batacak ve sonuçta Şekil 9.3a'da görüldüğü gibi birim bloğu parçalayacaktır. Bu birim blok ise bu çalışmada Şekil 9.2'deki gibi

varsayılmıştır. Burada hesaplanan U değeri bu çalışmada km olarak ifade edilerek geliştirilecek eşitlikte çarpan olarak kullanılmasına karar verilmiştir.



(a) Tamburlu kesiciye ait uç (b) Nokta yükleme dayanım deneyine ait

Şekil 9.3. Nokta yükleme dayanımı deney cihazının konik uçlar ile tamburlu kesicideki kalem uçların malzemeyi parçalaması.

Yukarıda i,ii, ve iii'de belirtilen büyüklükler hesap ile belirlenecek spesifik enerji (SE_h) için aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$SE_h = \frac{P(kN) * U(km)}{V\left(\frac{m^3}{\#}\right)} \qquad \left(\frac{kNkm}{m^3}\right) \qquad [9.1]$$

Ancak yukarıdaki eşitlikte süreksizliğin hacimsel değerinin büyümesi sonucunda hesaplanacak SE_h değeri küçülecektir. Aslında parçalanacak hacim değeri arttıkça bloğun kırılması için gereken SE_h değerinin azalmaması aksine büyümesi gerekmektedir. Bunun için yapılan parametrik analizler ile Eşitlik 9.1'de bölen durumdaki V değerinin aşağıdaki Eşitlik 9.2'deki gibi ifade edilmesinin daha anlamlı sonuçlar vereceği sonucuna ulaşılmıştır.

$$SE_h = \frac{P * U}{(1-V)^{25d}} \qquad \left(\frac{kNkm}{m^3}\right) \qquad [9.2]$$

Eşitlik 9.2'de d, doğal yoğunluğu (gr/cm^3) ifade etmektedir. Bu ifadede birim hacim (V) sabitken yoğunluk arttıkça kesrin altındaki değer azalmakta ve böylece kesrin üzerindeki büyüklük (P*U) sabit iken SE_h değeri büyümektedir. Kömür yoğunluğunun artması ile kazı işinin zorlaşması gerekliliğinden dolayı bu beklenen bir durumdur. Eğer doğal yoğunluk (d, gr/cm^3) sabit olursa birim hacim (V) arttıkça

bir başka deyişle birim hacimdeki doğal süreksizlik sayısı azaldıkça kesrin altındaki sayı küçülecek ve böylece kesrin üstündeki büyüklük (P*U) sabit iken SE_h değeri beklendiği gibi büyüyecektir. Çünkü süreksizlik sayısının azalması ile kazı zorlaşmaktadır.

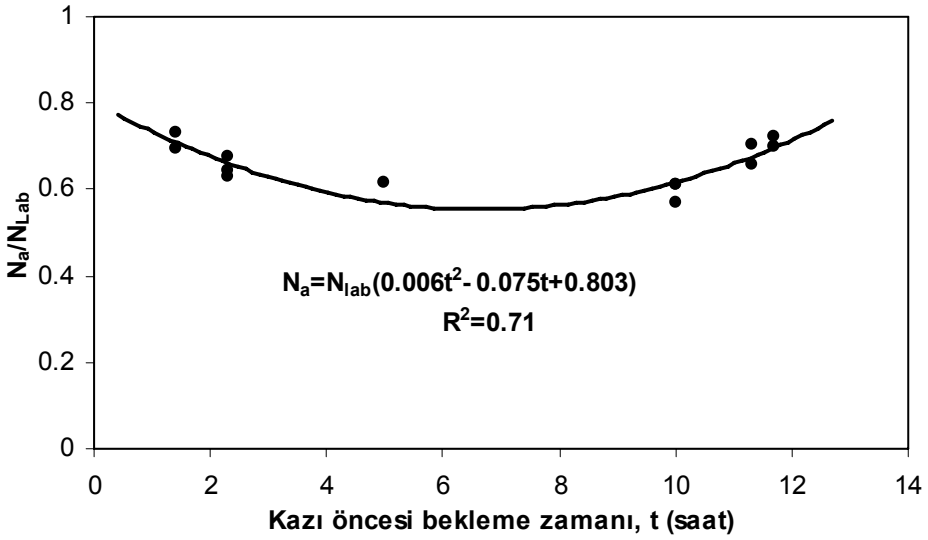
Eşitlik 9.2'nin birimsel olarak aranan spesifik enerjiye uyduğu ancak elde edilen büyüklüklerin çok küçük olduğu görülmüştür. Bunun üzerine birimsiz bir büyüklük olan ve arındaki malzeme değişimini çok iyi belirten bir indikatör olan Schmidt sertlik (N_a) değerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Arazideki yapılan çalışmalarda ölçülen spesifik enerjinin, Schmidt sertlik (N_a) değeri ile arttığı veya azaldığı görülmüştür. Bundan dolayı Eşitlik 9.2'nin Schmidt sertlik değeri (N_a) ile çarpılmasının gerektiği düşünülmüştür.

$$SE_h = \left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}}\right] * N_a \qquad \left(\frac{kNkm}{m^3}\right) \qquad [9.3]$$

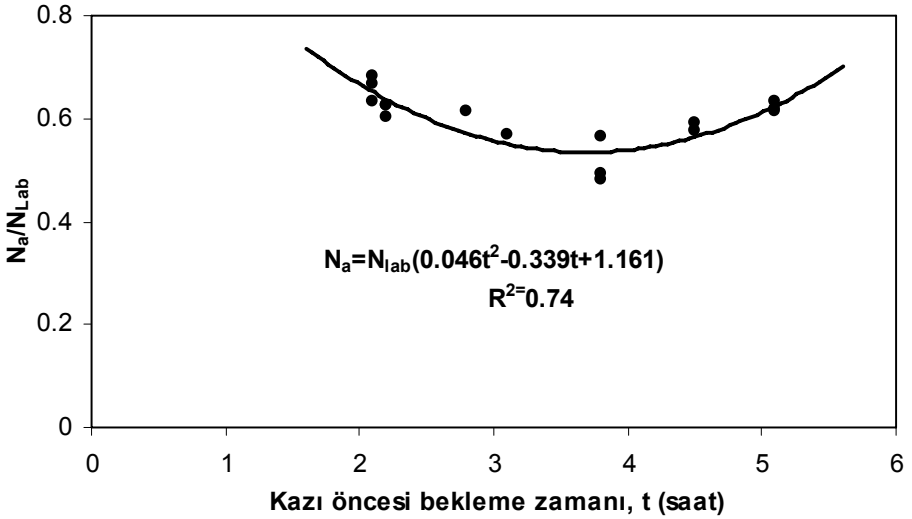
Eşitlik 9.3'den belirlenen spesifik enerji (SE_h) değerleri ile araziden bulunan spesifik enerji (SE_a) değerleri arasında belirli bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Ancak Eşitlik 9.2'de kullanılan N_a değeri arazide okunan sertlik değerleri olup gerçekte uygulayıcı mühendis ancak bu değeri araziden getireceği bloktan veya sondaj yardımıyla alınan karotlar üzerinde uygulayarak bulabilir. Arından okunan Schmidt sertlik değerleri (N_a) arında oluşan ikincil arazi gerilmelerine bağlı olarak değişim göstermektedir. B810 ve C1310 taban yollarından getirilen bloklardan ayrıca elde edilen Schmidt sertlik değeri 48.78 olarak belirlenmiş ve N_{Lab} olarak tanımlanmıştır. Buna karşın araziden belirlenen Schmidt sertlik değerleri N_a olarak ifade edilmiştir N_{Lab} değerinin arından okunan N_a değerlerinden hep büyük olduğu tespit edilmiştir. (Çizelge 8.3 ve 8.6). Bunun üzerine zamana bağlı olarak N_a değerlerinin görgül olarak hesaplanabileceği iki eşitlik elde edilmiştir (Şekil 9.4 ve Şekil 9.5). Bu eşitlikler yardımıyla kazı yönüne bağlı olarak Eşitlik 9.3, yeniden Eşitlik 9.4 ve 9.5'deki gibi ifade edilmişlerdir.

$$(SE_h)_{ey} = \left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}}\right] * \left[N_{Lab} * \left(0.006*t^2 - 0.075*t + 0.803\right)\right] \quad \left(\frac{kNkm}{m^3}\right) \qquad [9.4]$$

$$(SE_h)_{ea} = \left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}}\right] * \left[N_{Lab} * \left(0.046*t^2 - 0.339*t + 1.161\right)\right] \quad \left(\frac{kNkm}{m^3}\right) \qquad [9.5]$$



Şekil 9.4. Eğim yukarı kazı için N_a değerlerinin görgül olarak hesaplanması.



Şekil 9.5. Eğim aşağı kazı için N_a değerlerinin görgül olarak hesaplanması.

Eşitlik 9.4 eğim yukarı kazı, Eşitlik 9.5 ise eğim aşağı kazı durumunda geçerli olacak spesifik enerji (kNkm/m^3) değerlerini verecektir. Arazide gerçekleştirilen ölçümlere bağlı belirlenen spesifik enerji (SE_a) birimi kWh/m^3 olduğu için Eşitlik 9.4 ve Eşitlik 9.5'in birimlerinin (kNkm/m^3) karşılaştırma yapabilmek için aynı birime çevrilmesi gerekmektedir. Bunun için Eşitlik 9.4 ve 9.5, 3.6 sabit sayısına bölünerek kWh/m^3 biriminden ifade edilmişlerdir (Eşitlik 9.6 ve 9.7). Eşitlik 9.6 ve 9.7'den hesaplanan (SE_h) değerlerinin arazide belirlenen (SE_a) değerleri ile karşılaştırılması için Çizelge 9.2 ve 9.3 hazırlanmıştır.

$$(SE_h)_{ey} = \frac{1}{3.6}\left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}}\right]*\left[N_{Lab}*\left(0.006*t^2-0.075*t+0.803\right)\right]\ \left(\frac{kWh}{m^3}\right) \quad [9.6]$$

$$(SE_h)_{ea} = \frac{1}{3.6}\left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}}\right]*\left[N_{Lab}*\left(0.046*t^2-0.339*t+1.161\right)\right]\ \left(\frac{kWh}{m^3}\right) \quad [9.7]$$

Çizelge 9.2. Eğim yukarı kazılardan yapılan ölçümler ile belirlenen $(SE_a)_{ey}$ ve geliştirilen Eşitlik 9.6 ile hesaplanan $(SE_h)_{ey}$ değerleri

Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yeri	*$(SE_a)_{ey}$ (kWh/m^3)	Görgül eşitlik (Eşitlik 9.6) ile belirlenen spesifik enerji $(SE_h)_{ey}$ hesaplanması					
			P (kN)	U (km)	d (gr/cm^3)	$(1-V)^{25d}$ (m^3/#)	**N_a	$(SE_h)_{ey}$ (kWh/m^3)
16 Şubat 1. kesim	B06	0.87	1.49	4.57E-06	1.49	0.048	33.98	1.34E-03
16 Şubat 1. kesim	B06	1.22	1.30	4.17E-06	1.44	0.052	33.98	9.80E-04
16 Şubat 1. kesim	B06	1.12	1.77	4.58E-06	1.38	0.060	33.98	1.28E-03
16 Şubat 2. Kesim	B06	1.09	1.99	5.11E-06	1.45	0.052	34.60	1.89E-03
16 Şubat 2. Kesim	B06	1.10	2.93	5.13E-06	1.48	0.048	34.60	3.01E-03
16 Şubat 2. Kesim	B06	1.20	2.53	5.14E-06	1.63	0.035	34.60	3.54E-03
17 Şubat 1. Kesim	B06	1.03	2.11	5.73E-06	1.49	0.047	32.92	2.33E-03
17 Şubat 1. Kesim	B06	1.15	2.10	5.73E-06	1.47	0.049	32.92	2.24E-03
17 Şubat 1. Kesim	B06	1.31	2.76	4.80E-06	1.46	0.050	32.92	2.40E-03
23 Ağustos	B06	1.09	3.10	4.33E-06	1.67	0.033	27.77	3.14E-03
23 Ağustos	B06	1.11	2.46	4.29E-06	1.61	0.037	27.77	2.21E-03
23 Ağustos	B06	1.22	1.66	4.32E-06	1.48	0.048	27.77	1.14E-03
25 Ağustos	B06	1.30	2.71	4.71E-06	1.65	0.034	30.07	3.10E-03
25 Ağustos	B06	1.47	2.60	4.85E-06	1.57	0.040	30.07	2.62E-03
25 Ağustos	B06	1.22	1.97	4.92E-06	1.59	0.039	30.07	2.09E-03
19 Temmuz 2. kesim	B08	1.34	1.83	6.04E-06	1.45	0.052	32.23	1.91E-03
19 Temmuz 2. kesim	B08	1.24	3.06	6.09E-06	1.45	0.051	32.23	3.28E-03
19 Temmuz 2. kesim	B08	1.35	2.87	6.00E-06	1.56	0.041	32.23	3.74E-03

* Araziden belirlenen spesifik enerji $(SE_a)_{ey}$ (Çizelge 7.3, 7.4, 7.5 ve 7.6)
** Şekil 9.4'de ifade edilen eşitlik yardımıyla hesaplanan N_a değerleri

Çizelge 9.2 ve 9.3'de sunulan spesifik enerji değerleri karşılaştırıldığında Eşitlik 9.6 ve 9.7'den hesaplanan $(SE_h)_{ey}$ ve $(SE_h)_{ea}$ değerlerinin gerçek arazi değerleri ile belirli bir sistematik gösterdiği ancak gerçek değerlerden ($(SE_a)_{ey}$ ve $(SE_a)_{ea}$) küçük olduğu görülmektedir (Şekil 9.6 ve 9.7). Aslında beklenen arazi ve hesap ile belirlenen spesifik enerji değerlerinin birebir olmasıdır. Bunun için Eşitlik 9.6 ve 9.7'nin bir düzeltme katsayısı ile düzeltilmesi gerektiği düşünülmüştür.

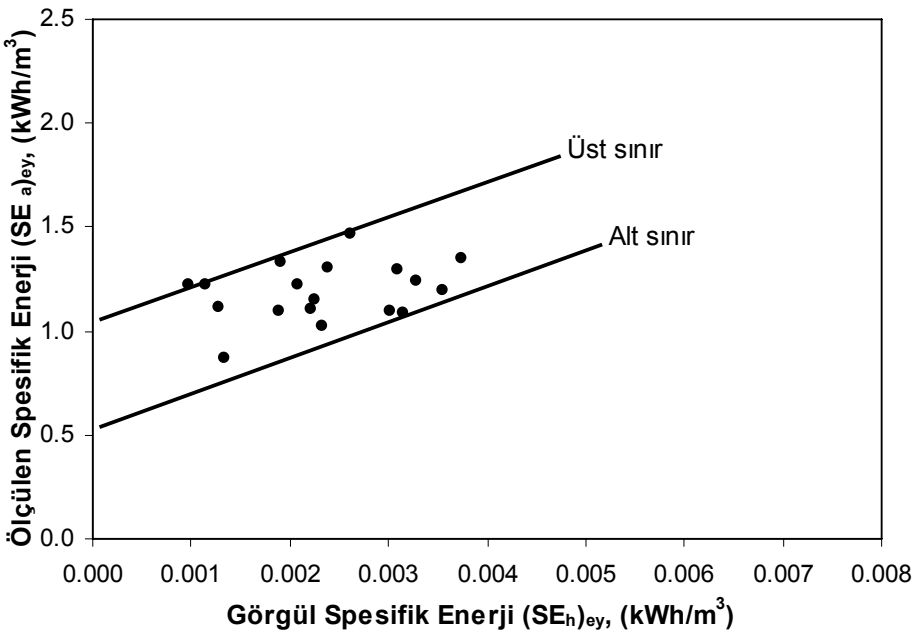
Eğim yukarı kazı için arazide belirlenen spesifik enerji $(SE_a)_{ey}$ değerleri Eşitlik 9.6'dan hesaplanan spesifik enerji $(SE_h)_{ey}$ değerine bölünmüş ve elde edilen oranlar Şekil 9.8'de olduğu gibi Eşitlik 9.6'dan hesaplanan spesifik enerji $(SE_h)_{ey}$ değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.3. Eğim aşağı kazılardan yapılan ölçümler ile belirlenen $(SE_a)_{ea}$ geliştirilen Eşitlik 9.7 ile hesaplanan $(SE_h)_{ea}$ değerleri

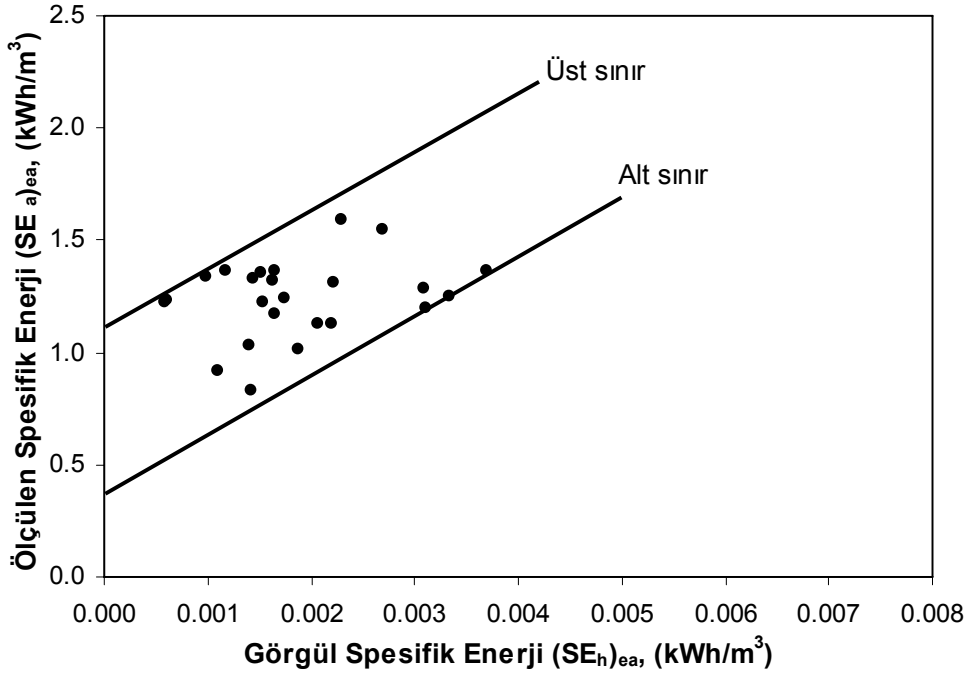
Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yeri	*$(SE_a)_{ea}$ (kWh/m^3)	Görgül eşitlik (Eşitlik 9.7) ile belirlenen spesifik enerji $(SE_h)_{ey}$ hesaplanması					
			P (kN)	U (km)	d (gr/cm^3)	$(1-V)^{25d}$ (m^3/#)	**N_a	$(SE_h)_{ea}$ (kWh/m^3)
15 Şubat	B06	1.37	2.81	7.37E-06	1.53	0.044	28.31	3.70E-03
15 Şubat	B06	1.36	2.23	7.28E-06	1.25	0.077	28.31	1.65E-03
15 Şubat	B06	1.20	2.83	7.21E-06	1.45	0.052	28.31	3.10E-03
17 Şubat 2. Kesim	B06	1.32	1.66	4.78E-06	1.54	0.043	31.78	1.64E-03
17 Şubat 2. Kesim	B06	1.25	2.35	4.78E-06	1.72	0.030	31.78	3.34E-03
17 Şubat 2. Kesim	B06	1.13	2.97	5.22E-06	1.33	0.066	31.78	2.08E-03
5 Mayıs	B06	1.17	3.09	4.50E-06	1.35	0.063	26.87	1.65E-03
5 Mayıs	B06	1.13	2.78	4.45E-06	1.55	0.042	26.87	2.20E-03
5 Mayıs	B06	0.91	2.20	4.35E-06	1.34	0.065	26.87	1.10E-03
6 Mayıs	B06	1.55	2.59	4.88E-06	1.58	0.040	30.46	2.69E-03
6 Mayıs	B06	1.59	1.51	8.00E-06	1.52	0.045	30.46	2.29E-03
6 Mayıs	B06	1.03	1.86	5.18E-06	1.39	0.058	30.46	1.41E-03
24 Ağustos	B06	1.01	1.94	5.67E-06	1.52	0.045	27.50	1.87E-03
24 Ağustos	B06	1.31	1.98	7.36E-06	1.46	0.050	27.50	2.21E-03
24 Ağustos	B06	1.29	2.37	7.16E-06	1.55	0.042	27.50	3.09E-03
19 Temmuz1. kesim	B08	1.36	1.70	5.38E-06	1.37	0.060	27.87	1.17E-03
19 Temmuz1. kesim	B08	1.33	2.38	5.05E-06	1.34	0.064	27.87	1.44E-03
19 Temmuz1. kesim	B08	1.34	1.65	5.21E-06	1.31	0.068	27.87	9.78E-04
20 Temmuz	B08	1.22	1.92	6.19E-06	1.32	0.067	31.09	1.53E-03
20 Temmuz	B08	1.35	1.97	4.77E-06	1.43	0.054	31.09	1.51E-03
20 Temmuz	B08	1.24	2.06	4.82E-06	1.47	0.049	31.09	1.75E-03
25 Temmuz	B08	1.23	1.12	4.29E-06	1.38	0.059	26.09	5.90E-04
25 Temmuz	B08	1.23	1.19	4.27E-06	1.38	0.060	26.09	6.16E-04
25 Temmuz	B08	0.83	1.69	4.38E-06	1.60	0.038	26.09	1.42E-03

* Araziden belirlenen spesifik enerji $(SE_a)_{ey}$ (Çizelge 7.3, 7.4, 7.5 ve 7.6)

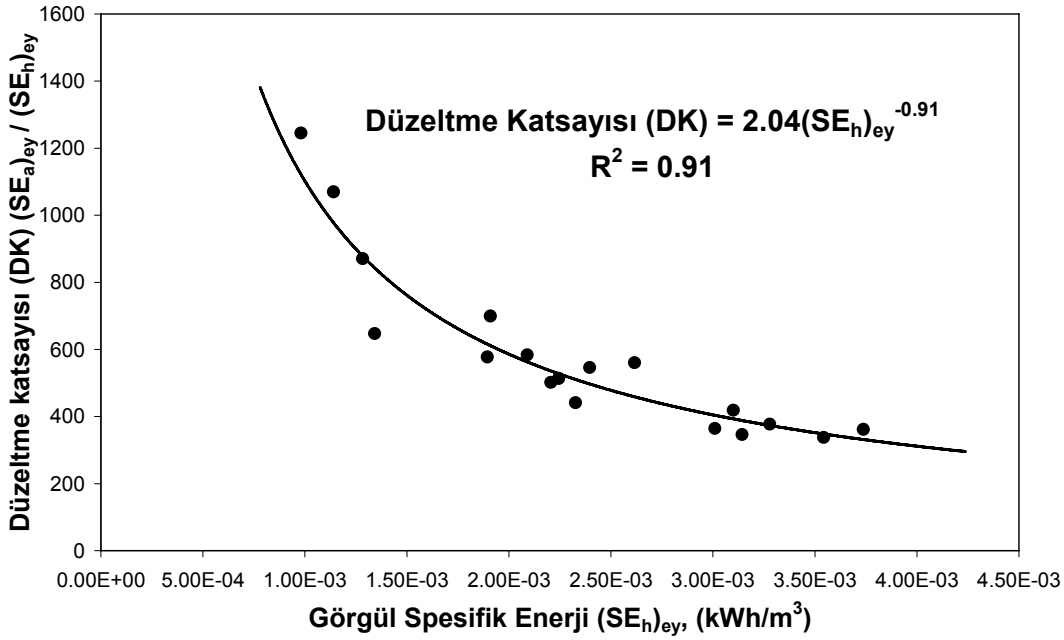
** Şekil 9.5'de ifade edilen eşitlik yardımıyla hesaplanan N_a değerleri



Şekil 9.6. Arazide belirlenen $(SE_a)_{ey}$ ve Eşitlik 9.6 ile hesaplanan $(SE_h)_{ey}$ değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 9.7. Arazide belirlenen $(SE_a)_{ea}$ ve hesaplanan $(SE_h)_{ea}$ (Eşitlik 9.7) değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 9.8. Görgül eşitlik (Eşitlik 9.6) ile belirlenen $(SE_h)_{ey}$ değerlerini arazi değerlerine yaklaştıran düzeltme katsayısı.

Eşitlik 9.6'da ifade edilen büyüklük eğer Şekil 9.8'de gösterilen düzeltme katsayısı ile çarpılırsa hesaplanan $(SE_h)_{ey}$ değerleri sayısal olarak $(SE_a)_{ey}$ değerlerine

yaklaşacaktır. Buna göre eğim yukarı kazı için Eşitlik 9.6 yeniden aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$(SE_h)_{ey} = [DK] * \left[\frac{1}{3.6} \left[\frac{P * U}{(1-V)^{25d}} \right] * \left[N_{Lab} * \left(0.006 * t^2 - 0.075 * t + 0.803 \right) \right] \right] \quad [9.8]$$

Burada DK, düzeltme katsayısıdır.

Şekil 9.8'de belirlenen düzeltme katsayısı Eşitlik 9.8'de yerine konursa;

$$(SE_h)_{ey} = 2.04 * \left[\frac{1}{3.6} \left[\frac{P * U}{(1-V)^{25d}} \right] * \left[N_{Lab} * \left(0.006 * t^2 - 0.075 * t + 0.803 \right) \right] \right]^{-0.91} * \left[\frac{1}{3.6} * \left[\frac{P * U}{(1-V)^{25d}} \right] * \left[N_{Lab} * \left(0.006 * t^2 - 0.075 * t + 0.803 \right) \right] \right] \quad \left(\frac{kWh}{m^3} \right) \quad [9.9]$$

elde edilir.

Eşitlik 9.9'daki benzer ifadeler ortak paranteze alınırsa;

$$(SE_h)_{ey} = 2.04 * \left[\frac{1}{3.6} \left[\frac{P * U}{(1-V)^{25d}} \right] * \left[N_{Lab} * \left(0.006 * t^2 - 0.075 * t + 0.803 \right) \right] \right]^{0.09} \quad [9.10]$$

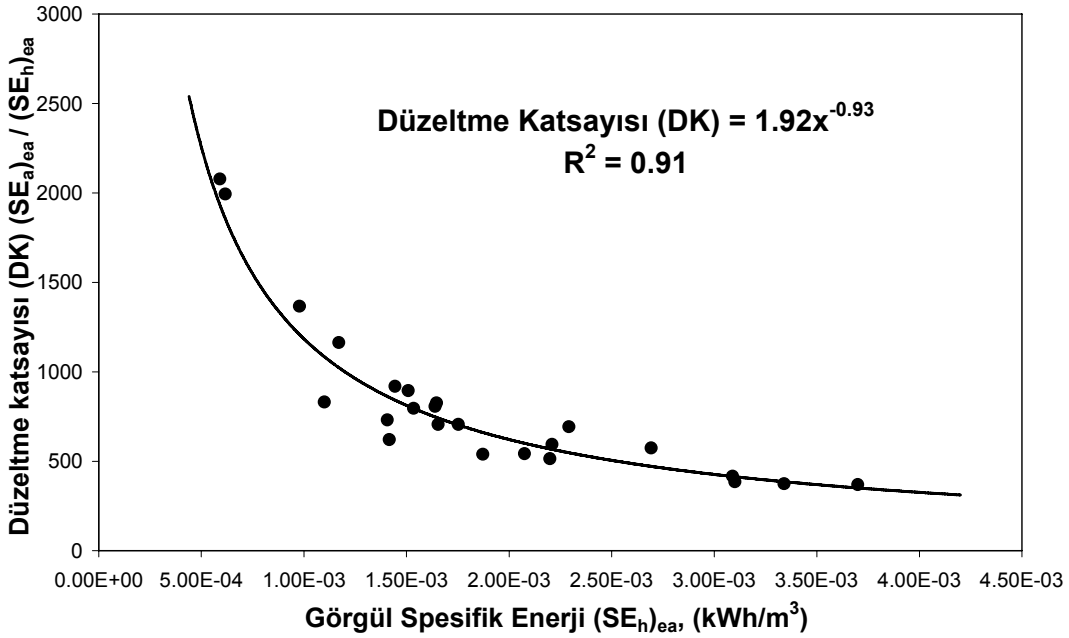
ifadesine ulaşılır.

Eğim aşağı kazı durumu için de belirlenen $(SE_a)_{ea}$ ile $(SE_h)_{ea}$ değerleri karşılaştırıldığında aralarında eğim yukarı kazıda olduğu gibi bir sistematik olduğu ancak bire bir beklentisinin olmadığı belirlenmiştir (Şekil 9.7). Eğim yukarı kazıda olduğu gibi bir düzeltme katsayısının gerekliliği görülmüştür. Aynı şekilde benzer çalışma eğim aşağı kazı durumu için de yapılmıştır. Bunun için eğim aşağı kazı için araziden belirlenen spesifik enerji $(SE_a)_{ea}$ değerleri Eşitlik 9.7'den hesaplanan spesifik enerji $(SE_h)_{ea}$ değerlerine bölünmüş ve elde edilen oranlar Şekil 9.9'da olduğu gibi Eşitlik 9.7'den hesaplanan spesifik enerji $(SE_h)_{ea}$ değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 9.9'dan elde edilen düzeltme katsayısı eğer Eşitlik 9.7 ile çarpılırsa, o zaman gerçek arazi $(SE_a)_{ea}$ ile görgül yaklaşım ile hesaplanan $(SE_h)_{ea}$ değerleri birbirlerini iyi bir şekilde birebir ifade edebileceklerdir. Buna göre eğim aşağı kazı için Eşitlik 9.7 yeniden ifade edilirse;

$$(SE_h)_{ea} = [DK] * \left[\frac{1}{3.6} \left[\frac{P * U}{(1-V)^{25d}} \right] * \left[N_{Lab} * \left(0.046 * t^2 - 0.339 * t + 1.161 \right) \right] \right] \quad [9.11]$$

Burada DK, düzeltme katsayıdır.



Şekil 9.9. Görgül eşitlik (Eşitlik 9.7) ile belirlenen $(SE_h)_{ea}$ değerlerini arazi değerlerine $(SE_a)_{ea}$ yaklaştıran düzeltme katsayısı.

Eşitlik 9.11'de ifade edilen düzeltme katsayısı eğim aşağı kazı için belirlenen Şekil 9.9'dan alınır ve yerine konursa;

$$(SE_h)_{ea} = 1.92 * \left[\frac{1}{3.6}\left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}}\right] * \left[N_{Lab} * \left(0.046*t^2 - 0.339*t + 1.161\right)\right]\right]^{-0.93} * \left[\frac{1}{3.6} * \left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}}\right] * \left[N_{Lab} * \left(0.046*t^2 - 0.339*t + 1.161\right)\right]\right] \quad \left(\frac{kWh}{m^3}\right) \quad [9.12]$$

elde edilir.

Eşitlik 9.12'deki benzer ifadeler ortak paranteze alınırsa;

$$(SE_h)_{ea} = 1.92 * \left[\frac{1}{3.6}\left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}}\right] * \left[N_{Lab} * \left(0.046*t^2 - 0.339*t + 1.161\right)\right]\right]^{0.07} \quad [9.13]$$

ifadesine ulaşılır.

Eğim yukarı kazı ve eğim aşağı kazı için nihai olarak ifade edilen $(SE_h)_{ey}$ ve $(SE_h)_{ea}$ (Eşitlik 9.10 ve 9.13) sonuçları ile gerçek arazi ölçümlerinden belirlenen $(SE_a)_{ey}$ ve $(SE_a)_{ea}$ değerlerini karşılaştırmak için Çizelge 9.4 ve 9.5 hazırlanmıştır.

Çizelge 9.4. Eğim yukarı kazılardan ölçülen $(SE_a)_{ey}$ ile Eşitilik 9.10'dan hesaplanan $(SE_h)_{ey}$ değerleri

Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yeri	*Arazide belirlenen Spesifik enerji $(SE_a)_{ey}$,(kWh/m^3)	Eşitlik 9.10'dan hesaplanan görgül spesifik enerji		
			Orijinal $(SE_h)_{ey}$ (kWh/m^3)	Düzeltme katsayısı	Nihai $(SE_h)_{ey}$ (kWh/m^3)
16 Şubat 1. kesim	B06	0.87	1.34E-03	842.98	1.13
16 Şubat 1. kesim	B06	1.22	9.80E-04	1121.88	1.10
16 Şubat 1. kesim	B06	1.12	1.28E-03	877.86	1.13
16 Şubat 2. Kesim	B06	1.09	1.89E-03	615.45	1.17
16 Şubat 2. Kesim	B06	1.10	3.01E-03	403.67	1.21
16 Şubat 2. Kesim	B06	1.20	3.54E-03	347.97	1.23
17 Şubat 1. Kesim	B06	1.03	2.33E-03	510.41	1.19
17 Şubat 1. Kesim	B06	1.15	2.24E-03	527.45	1.18
17 Şubat 1. Kesim	B06	1.31	2.40E-03	496.97	1.19
23 Ağustos	B06	1.09	3.14E-03	388.05	1.22
23 Ağustos	B06	1.11	2.21E-03	535.83	1.18
23 Ağustos	B06	1.22	1.14E-03	977.39	1.11
25 Ağustos	B06	1.30	3.10E-03	392.94	1.22
25 Ağustos	B06	1.47	2.62E-03	458.75	1.20
25 Ağustos	B06	1.22	2.09E-03	562.82	1.18
19 Temmuz 2. kesim	B08	1.34	1.91E-03	611.10	1.17
19 Temmuz 2. kesim	B08	1.24	3.28E-03	373.36	1.22
19 Temmuz 2. kesim	B08	1.35	3.74E-03	331.36	1.24

Çizelge 9.4'de sunulan veriler yardımıyla Şekil 9.10 çizilmiştir. Sunulan grafikten görüldüğü gibi her iki değerin bire bir ifade edilmesinin belirli dar bir sınır dahilinde olduğu görülmektedir. Üst ve alt sınırlarının eğimi aynı iken aralarındaki farkın 0.5 olduğu görülmektedir.

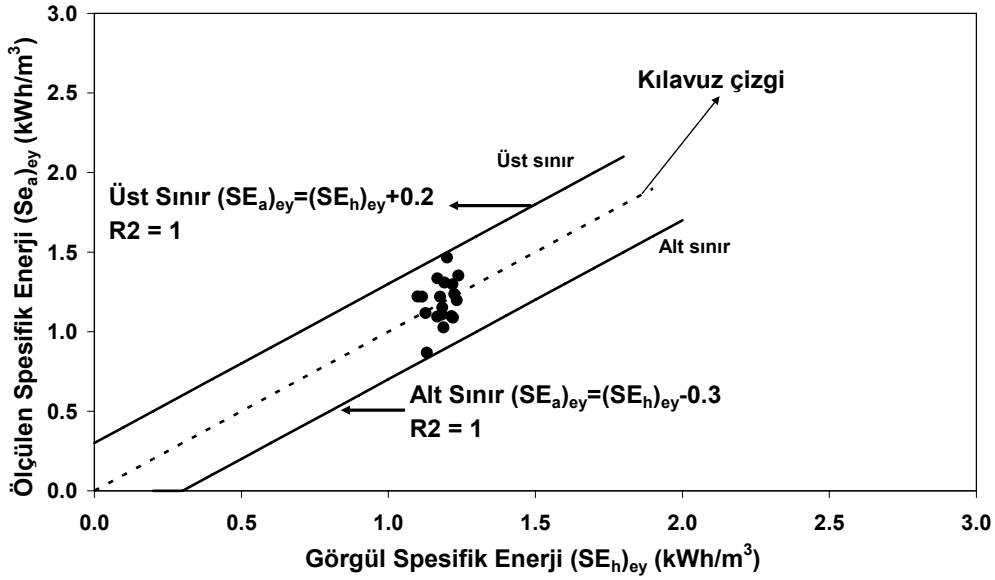
Çizelge 9.5'de sunulan veriler kullanılarak ise Şekil 9.11 hazırlanmıştır. Araziden belirlenen $(SE_a)_{ea}$ değerleri ile Eşitlik 9.13 yardımıyla hesaplanan $(SE_h)_{ea}$ değerlerinin dar bir bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Üst ve alt sınır eğimler aynı iken iki doğru arasında 0.7'lik bir farkın olduğu görülmektedir.

Şekil 9.10 ve 9.11'de sunulan sonuçlara göre uzun ayak panolarında karşılaşılan kömür arınındaki malzemenin spesifik enerji değerlerinin görgül yaklaşım ile Eşitlik 9.10 ve 9.13 yardımıyla hesaplanabileceği görülmüştür. Eşitlik 9.10 ve 9.13 yardımıyla görgül olarak hesaplanan spesifik enerji değeri kullanılarak uygulayıcı mühendis, hangi kazıcının kendisi için uygun olduğunu belirleyebilir. Uygulayıcı mühendis tarafından dikkate alınan tamburlu kesicinin gücü (kW) aşağıda sunulan eşitlikte yerine konursa net kazı hızı (m^3/h) bulunabilir.

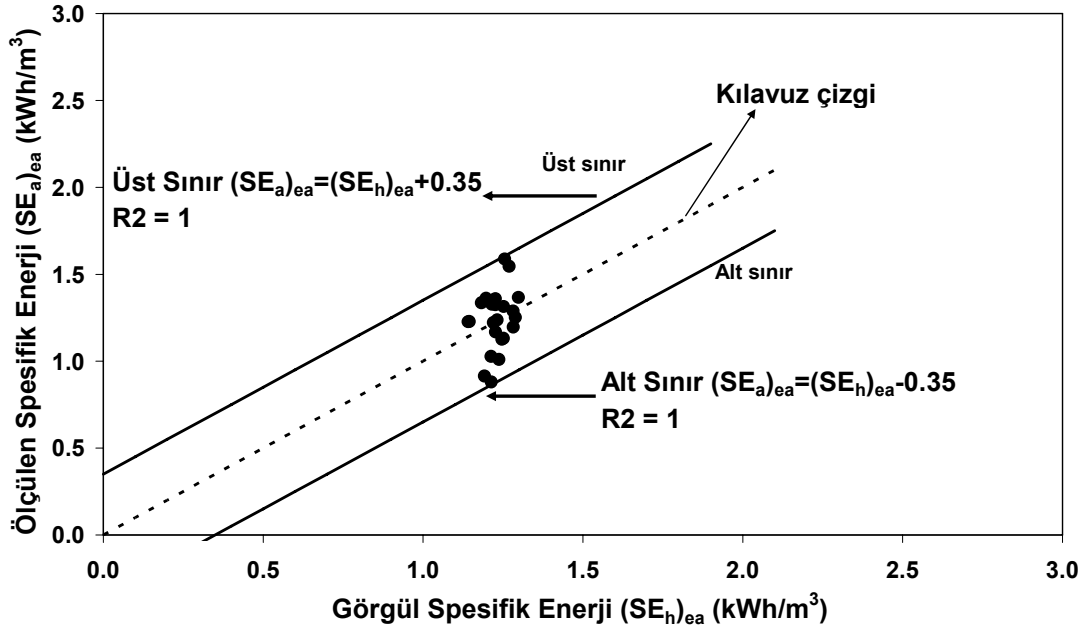
Çizelge 9.5. Eğim aşağı kazılardan ölçülen $(SE_a)_{ea}$ ile Eşitlik 9.13'den hesaplanan $(SE_h)_{ea}$ değerleri

Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yeri	*Araziden belirlenen spesifik enerji $(SE_a)_{ea}$,(kWh/m^3)	Eşitlik 9.13'den hesaplanan görgül spesifik enerji		
			Orijinal $(SE_h)_{ea}$ (kWh/m^3)	Düzeltme katsayısı	Nihai $(SE_h)_{ea}$ (kWh/m^3)
15 Şubat	B06	1.37	3.70E-03	350.91	1.30
15 Şubat	B06	1.36	1.65E-03	744.92	1.23
15 Şubat	B06	1.20	3.10E-03	413.59	1.28
17 Şubat 2. Kesim	B06	1.32	1.64E-03	747.91	1.23
17 Şubat 2. Kesim	B06	1.25	3.34E-03	385.92	1.29
17 Şubat 2. Kesim	B06	1.13	2.08E-03	600.71	1.25
5 Mayıs	B06	1.17	1.65E-03	741.64	1.23
5 Mayıs	B06	1.13	2.20E-03	569.20	1.25
5 Mayıs	B06	0.91	1.10E-03	1084.30	1.19
6 Mayıs	B06	1.55	2.69E-03	471.54	1.27
6 Mayıs	B06	1.59	2.29E-03	547.85	1.26
6 Mayıs	B06	1.03	1.41E-03	862.72	1.21
24 Ağustos	B06	1.01	1.87E-03	661.09	1.24
24 Ağustos	B06	1.31	2.21E-03	566.78	1.25
24 Ağustos	B06	1.29	3.09E-03	415.02	1.28
19 Temmuz1. kesim	B08	1.36	1.17E-03	1023.38	1.20
19 Temmuz1. kesim	B08	1.33	1.44E-03	841.61	1.22
19 Temmuz1. kesim	B08	1.34	9.78E-04	1209.17	1.18
20 Temmuz	B08	1.22	1.53E-03	795.33	1.22
20 Temmuz	B08	1.35	1.51E-03	808.16	1.22
20 Temmuz	B08	1.24	1.75E-03	703.06	1.23
25 Temmuz	B08	1.23	5.90E-04	1933.63	1.14
25 Temmuz	B08	1.23	6.16E-04	1858.16	1.14
25 Temmuz	B08	0.83	1.42E-03	857.16	1.21

* $(SE_a)_{ea}$ değerlerinin Çizelge 7.3, 7.4, 7.5 ve 7.6'da sunulmuştur.



Şekil 9.10. Eşitlik 9.10'dan hesaplanan $(SE_h)_{ey}$ ile araziden belirlenen $(SE_a)_{ey}$ değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 9.11. Eşitlik 9.13'den hesaplanan $(SE_h)_{ea}$ ile arazide belirlenen $(SE_a)_{ea}$ değerlerinin karşılaştırılması.

Benzer bir eşitlik Bilgin (1994) tarafından verilmiştir. Kaynak araştırmalarının sunulduğu Bölüm 2'de Eşitlik 2.13 olarak verilen yaklaşımda eşitliğin önünde arazi katsayısı olduğu ifade edilen bir büyüklük kullanılmaktadır. Ancak bu eşitlikte matematiksel olarak paydada bulunan spesifik enerji değeri sıfır olabilir. Bu durumda net kazı hızı sonsuza gitmektedir. Bu problemin çözümü için paydada bulunan spesifik enerji değerine bir rakamının ilave edilmesi düşünülmüş ve Eşitlik 2.13 (Bölüm 2) aşağıdaki gibi tekrar yazılmıştır.

$$\text{Net Kazı Hızı} = \frac{\text{Makine Kesici Kafa Gücü (kW)}}{\text{Spesifik Enerji (kWh/m}^3\text{)}+1} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \qquad [9.14]$$

Sonuçta, nihai eşitlik aşağıdaki gibi verilebilir.

$$NKH = \frac{G}{SE+1} \ (\text{m}^3/\text{h}) \qquad [9.15]$$

Burada, NKH net kazı hızı (m^3/h), kesici kafa gücü (kW) ve SE ise spesifik enerjiyi (kWh/m^3) tanımlamaktadır

Eşitlik 9.15'den hesaplanan net kazı hızı (m^3/h), damar yüksekliği (m) ve tamburun arına dalma derinliği (m) çarpımına bölünürse bu taktirde tamburlu kesicinin ilerleme hızı (m/dk) hesaplanabilecektir.

$$İH = \frac{NKH}{[H * D * 60]} \quad \text{(m/dk)} \qquad [9.16]$$

Burada; İH tamburlu kesicinin ilerleme hızı (m/dk), NKH net kazı hızı (m^3/h), H damar yüksekliği (m), D tamburun damara dalma derinliği (m) olup 60 sabiti ise saati dakikaya çevirmek için kullanılmıştır.

Çayırhan havzasında B sektörünün B06 ve B08 panosunda kullanılan tamburlu kesicinin toplam kafa gücü 600 kW'dır. Her iki panoda yapılan arazi ölçümleri yardımıyla geliştirilen spesifik enerji [$(SE_h)_{ey}$ ve $(SE_h)_{ea}$] eşitliklerinden bulunan değerler, Eşitlik 9.15'de kullanılırsa net kazı hızları hesaplanabilecektir (Çizelge 9.6). Ayrıca elde edilen net kazı hızları (m^3/h), B06 ve B08 panoları için damar kalınlığı (H=1.5 m) ve damara tamburun dalma mesafesinin (D=0.7 m) çarpım değerlerine bölünürse (Eşitlik 9.16) tamburlu kesicinin ilerleme hızları (m/dk) hesaplanmış olacaktır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 9.6'da arazi ölçümleri ile birlikte topluca sunulmuştur.

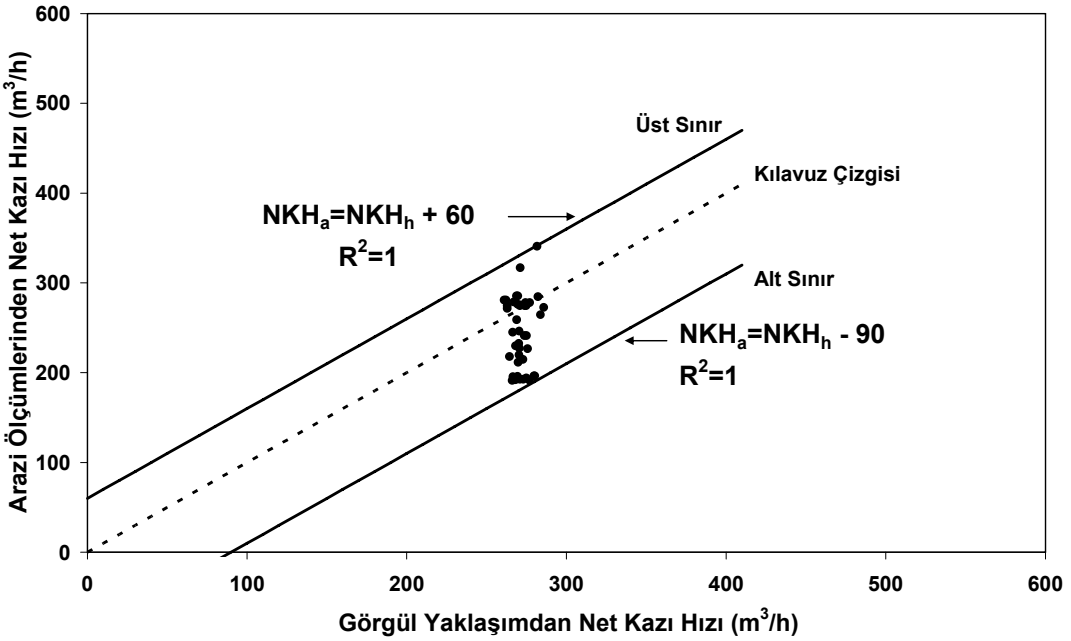
Çizelge 9.6'da sunulan arazi ölçümlerinden belirlenen ve görgül eşitliklerden hesaplanan spesifik enerji, net kazı hızları ve tamburlu kesicinin ilerleme hızları aşağıda sunulan grafikler ile karşılaştırılmıştır. Grafiklerden görüldüğü üzere (Şekil 9.12 ve 9.13) veriler dar bir koridorda konumlanmışlardır.

Eğim aşağı ve eğim yukarı kazılar için bulunan görgül eşitlikler vasıtasıyla elde edilen spesifik enerji, net kazı hızı ve ilerleme hızlarının birbirleri ile olan ilişkileri ise Şekil 9.14 ve 9.15'de sunulmuştur. Grafiklerde gerçek arazi ölçümleri de görülmektedir. Grafiklerden görüldüğü üzere net kazı hızı (m^3/h) ve ilerleme hızı (m/dk) artarken spesifik enerji (kWh/m^3) değerinin tam aksine azaldığı görülmektedir. Bu azalış, kaynak araştırmasında belirlenen (Bölüm 2, Şekil 2.19, 2.23 ve 2.24) araştırmalara benzer (üssel) formdadır. Geliştirilen matematiksel yaklaşımdan bulunan eğrinin araziden tespit edilen alt ve üst sınırlar arasında kaldığı Şekil 9.14 ve 9.15'den izlenmektedir.

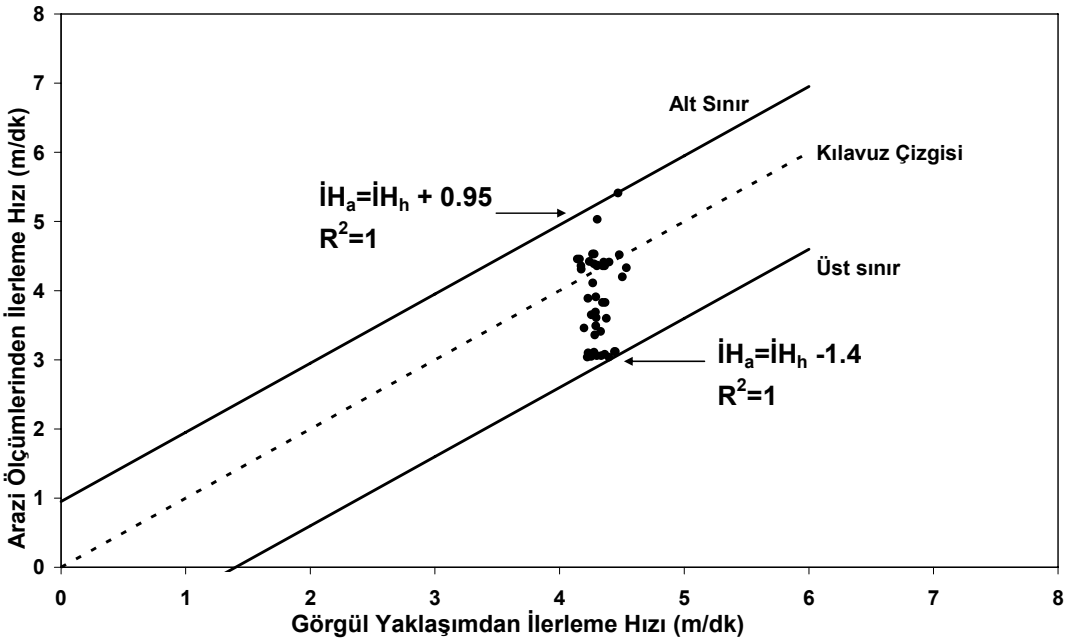
Çizelge 9.6. Arazi çalışmaları ile belirlenen ve görgül yaklaşımdan hesaplanan net kazı hızları (m^3/h) ve ilerleme hızları (m/dk)

Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yeri	*Kazı Yönü	Arazi ölçümlerinden			Görgül eşitliklerden		
			(SE_a) (kWh/m^3)	NKH (m^3/h)	İlerleme Hızı (m/dk)	(SE_h) (kWh/m^3)	NKH (m^3/h)	İlerleme Hızı (m/dk)
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	0.87	340.85	5.41	1.13	281.69	4.47
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	1.22	272.78	4.33	1.10	285.71	4.54
16 Şubat 1. kesim	B06	EY	1.12	284.73	4.52	1.13	281.69	4.47
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	1.09	278.05	4.41	1.17	276.50	4.39
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	1.10	274.65	4.36	1.21	271.49	4.31
16 Şubat 2. Kesim	B06	EY	1.20	285.41	4.53	1.23	269.06	4.27
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	1.03	278.05	4.41	1.19	273.97	4.35
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	1.15	274.65	4.36	1.18	275.23	4.37
17 Şubat 1. Kesim	B06	EY	1.31	274.65	4.36	1.19	273.97	4.35
23 Ağustos	B06	EY	1.09	219.87	3.49	1.22	270.27	4.29
23 Ağustos	B06	EY	1.11	241.29	3.83	1.18	275.23	4.37
23 Ağustos	B06	EY	1.22	264.60	4.20	1.11	284.36	4.51
25 Ağustos	B06	EY	1.30	227.43	3.61	1.22	270.27	4.29
25 Ağustos	B06	EY	1.47	214.83	3.41	1.20	272.73	4.33
25 Ağustos	B06	EY	1.22	226.80	3.60	1.18	275.23	4.37
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	1.34	191.52	3.04	1.17	276.50	4.39
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	1.24	211.68	3.36	1.22	270.27	4.29
19 Temmuz 2. kesim	B08	EY	1.35	192.15	3.05	1.24	267.86	4.25
15 Şubat	B06	EA	1.37	280.88	4.46	1.30	260.87	4.14
15 Şubat	B06	EA	1.36	276.35	4.39	1.23	269.06	4.27
15 Şubat	B06	EA	1.20	274.65	4.36	1.28	263.16	4.18
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	1.32	285.41	4.53	1.23	269.06	4.27
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	1.25	280.88	4.46	1.29	262.01	4.16
17 Şubat 2. Kesim	B06	EA	1.13	278.62	4.42	1.25	266.67	4.23
5 Mayıs	B06	EA	1.17	195.91	3.11	1.23	269.06	4.27
5 Mayıs	B06	EA	1.13	195.42	3.10	1.25	266.67	4.23
5 Mayıs	B06	EA	0.91	241.20	3.83	1.19	273.97	4.35
6 Mayıs	B06	EA	1.55	218.02	3.46	1.27	264.32	4.20
6 Mayıs	B06	EA	1.59	191.41	3.04	1.26	265.49	4.21
6 Mayıs	B06	EA	1.03	275.22	4.37	1.21	271.49	4.31
24 Ağustos	B06	EA	1.01	229.95	3.65	1.24	267.86	4.25
24 Ağustos	B06	EA	1.31	245.07	3.89	1.25	266.67	4.23
24 Ağustos	B06	EA	1.29	271.53	4.31	1.28	263.16	4.18
19 Temmuz1. kesim	B08	EA	1.36	192.78	3.06	1.20	272.73	4.33
19 Temmuz1. kesim	B08	EA	1.33	192.78	3.06	1.22	270.27	4.29
19 Temmuz1. kesim	B08	EA	1.34	194.04	3.08	1.18	275.23	4.37
20 Temmuz	B08	EA	1.22	232.47	3.69	1.22	270.27	4.29
20 Temmuz	B08	EA	1.35	246.33	3.91	1.22	270.27	4.29
20 Temmuz	B08	EA	1.24	258.93	4.11	1.23	269.06	4.27
25 Temmuz	B08	EA	1.23	196.56	3.12	1.14	280.37	4.45
25 Temmuz	B08	EA	1.23	196.56	3.12	1.14	280.37	4.45
25 Temmuz	B08	EA	0.83	316.89	5.03	1.21	271.49	4.31

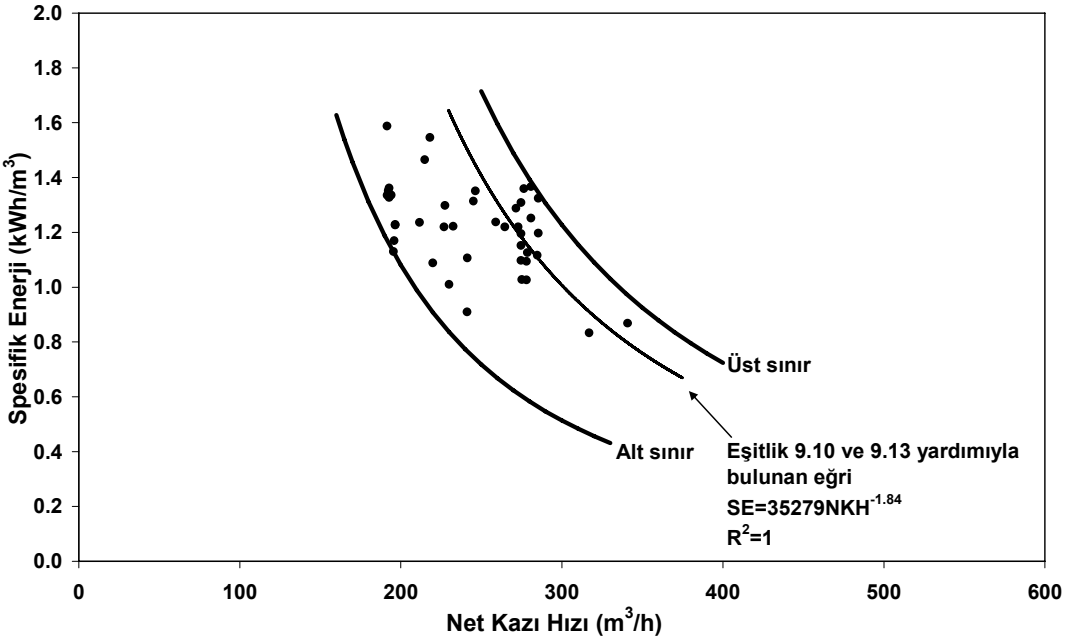
EY: Eğim yukarı, EA: Eğim aşağı



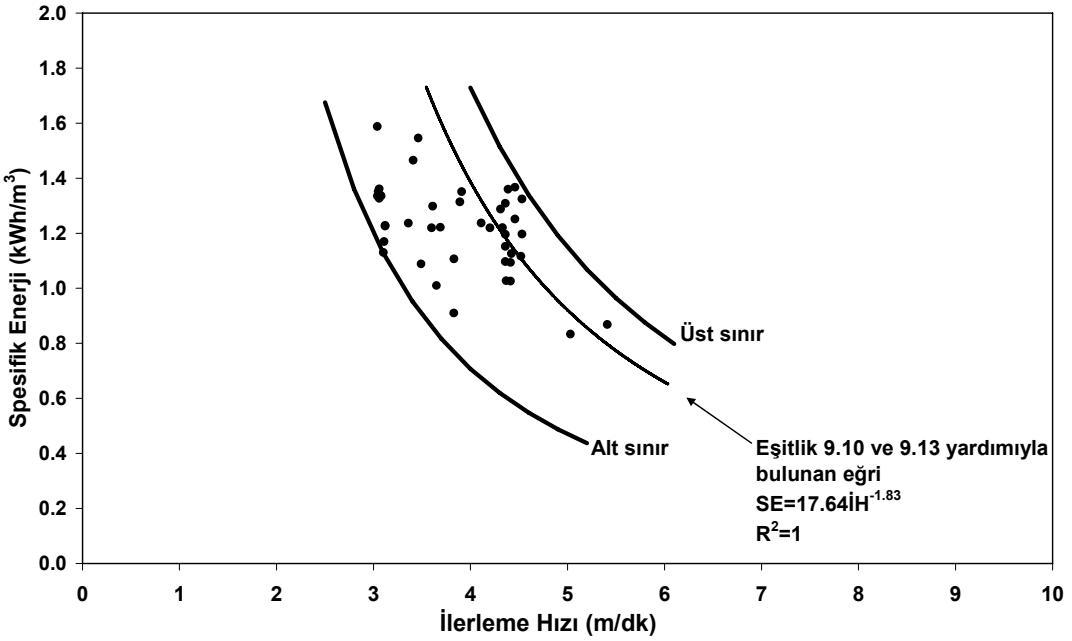
Şekil 9.12. Görgül yaklaşım ve arazi ölçümlerinden belirlenen net kazı hızları.



Şekil 9.13. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen tamburlu kesici ilerleme hızları.



Şekil 9.14. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen net kazı hızı ve spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 9.15. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen ilerleme hızı ve spesifik enerji arasındaki ilişki.

9.3. Kollu Galeri Açma Makinalarının Seçiminde ve Performans Tahmininde Kullanılacak Matematiksel Yaklaşımın Gelişimi

Çayırhan kömür havzasındaki B810 ve C1310 taban yollarının hazırlanması sırasında yürütülen kazı çalışmaları sırasında farklı tarihlerde Bölüm 5 ve 7'de anlatıldığı gibi ölçümler yapılmıştır. Galeri arınında belirli bir sistematik dahilinde gerçekleştirilen ölçümlerde;

i.) Schmidt sertlik değerleri
ii.) Nokta yükleme dayanımı değerleri
iii.) Doğal yoğunluk değerleri
iv.) Kollu galeri açma makinasının çektiği akım değerleri
v.) Kollu galeri açma makinasının fiili kazı hızı

belirlenmiştir.

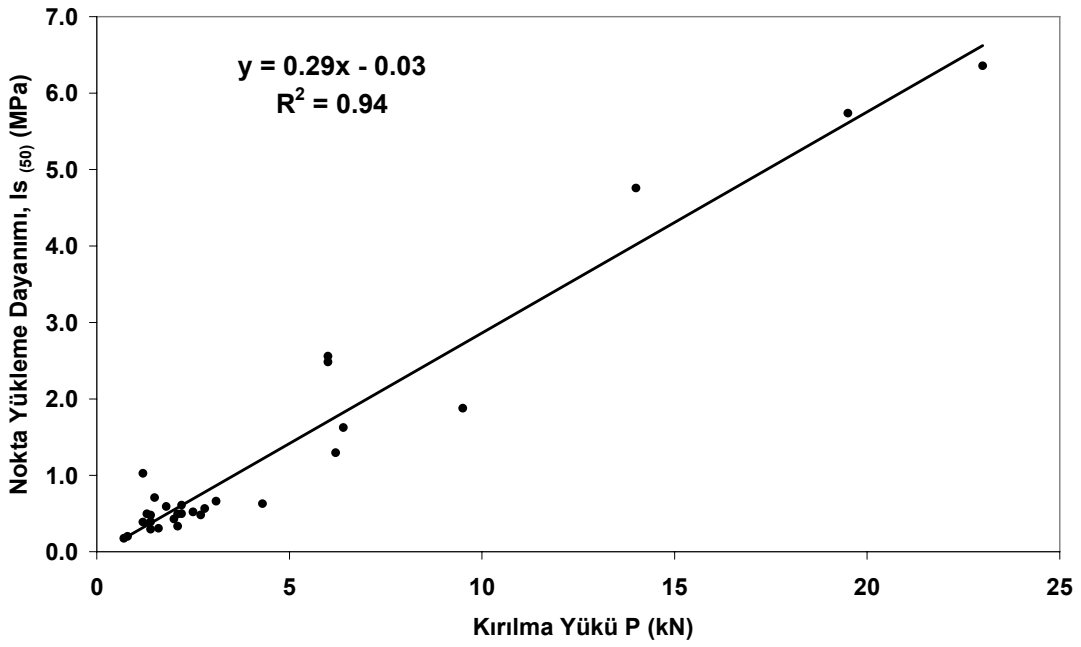
Yerinde yapılan ölçümler neticesinde öncelikle okunan akım değerleri ile makinanın çalıştığı volt değeri (1000 volt sabit) yardımıyla makinanın harcadığı güç (kW) değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra galeri çapı, kesici kafanın arına dalma derinliği (0.5 m) ve kollu galeri açma makinasının fiili kazı hızı (m/dk) çarpılarak önce dakikada kazılan malzeme hacmi daha sonra ise net kazı hızı olarak adlandırılan (m^3/h) değeri hesaplanmıştır (Çopur, 2007). Neticede kollu galeri açma makinasının kazı esnasında çektiği güç (kW) değeri net kazı hızına (m^3/h) bölünerek spesifik enerji (kWh/m^3) değeri hesaplanmıştır. Bu detaylar ve hesaplanan spesifik enerji değerleri Bölüm 7'de anlatılmıştır.

Çayırhan kömür havzası B810 ve C1310 taban yollarındaki kömür malzemesinin çok büyük farklılıklar göstermemesinden dolayı spesifik enerji değerleri birlikte değerlendirilmiştir. B810 ve C1310 taban yollarında karşılaşılan kömür malzemesi için spesifik enerji 0.37-0.84 kWh/m^3 aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Bkz. Çizelge 8.6). Burada kömür dışındaki tavan taşı, taban taşı ve arakesme malzemelerinin spesifik enerji değerleri değerlendirmeye alınmamıştır. Arazi çalışmaları sonucu kömür malzemesi için hesaplanan bu spesifik enerji değerlerinin bir görgül eşitlik ile belirlenebilmesi amacıyla tamburlu kesici-yükleyici makinalar için geliştirilen eşitliğe benzer bir eşitlik geliştirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada da tamburlu kesici-yükleyici makinalar için geliştirilen eşitlikte olduğu gibi; spesifik enerjinin zamandan (h) ve güçten (kW) bağımsız olarak yola

(km) ve kuvvete (kN) bağlı olarak hesaplanmasına karar verilmiştir. Zamandan (h) bağımsız yola (km) ve kuvvete (kN) bağımlı spesifik enerji birimi kNkm/m^3 göz önüne alınarak adım adım değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler tamburlu kesici-yükleyici makina için yapılanlar ile aynıdır. Yukarıda ayrıntıları ile anlatılan bu kriterler burada özetlenecek olursa;

i.) Kazı arınında sistematik olarak nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deney yardımıyla ISRM (1981) standardına uygun seçilen düzensiz parça numunelerin yenilmesi esnasında okunan kırılma yükü (P, kN) değerinin nokta yükleme dayanımı ($Is_{(50)}$, MPa) ile uyumlu olduğu ve doğrusal bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Bu durum için tipik olarak 22 Temmuz 2006 ölçüm sonuçları Şekil 9.16'de verilmiştir. Değerlendirme sonucunda bu parametrenin (P, kN) geliştirilecek eşitlikte çarpan olarak kullanılması düşünülmüştür.



Şekil 9.16. Nokta yükleme dayanımı değeri ile kırılma yükü arasındaki ilişki (22 Temmuz 2006).

ii.) B810 ve C1310 taban yolları için ortalama süreksizlik sayıları hesaplanmıştır (Çizelge 9.1). Tamburlu kesici-yükleyicideki yaklaşım burada da göz önüne alınarak Şekil 9.2'de ifade edilen birim blok hacminin (V, m^3/#) geliştirilecek eşitlikte bölen olarak kullanılması planlanmıştır.

iii.) Bu çalışmada, tamburlu kesici-yükleyicideki yaklaşım göz önüne alınarak (Şekil 9.3) nokta yükleme dayanımı deneyinden okunan batma değerinin (U,mm) arazideki tamburlu kesiciye ait bir ucun malzemeye batmasını temsil ettiği kabul edilmiştir. Burada hesaplanan U değeri bu çalışmada km olarak ifade edilmiş ve geliştirilecek eşitlikte çarpan olarak kullanılmasına karar verilmiştir.

Yukarıda i,ii, ve iii'de belirtilen büyüklükler spesifik enerji için aşağıdaki gibi formülize edilmiştir.

$$SE_h = \frac{P(kN) * U(km)}{V\left(\frac{m^3}{\#}\right)} \qquad \left(\frac{kNkm}{m^3}\right)$$

[9.17]

Bu formülün geliştirilme aşamaları tamburlu kesici-yükleyiciler için geliştirilen Eşitlikler 9.2 ve 9.3'deki gibi olmuştur. Eşitlik 9.17'deki formüle yoğunluk parametresi ilave edilerek Eşitlik 9.18 elde edilmiş daha sonra Schmidt sertliği parametresi katılarak da Eşitlik 9.19'a ulaşılmıştır.

$$SE_h = \frac{P * U}{(1-V)^{25d}} \qquad \left(\frac{kNkm}{m^3}\right) \qquad [9.18]$$

$$SE = \left[\frac{P * U}{(1-V)^{25d}}\right] * N_a \qquad \left(\frac{kNkm}{m^3}\right) \qquad [9.19]$$

Tamburlu kesici yükleyici makinalar için yapılan çalışmalar sonucunda arından ölçülen Schmidt sertliklerinin zaman ile değiştiği belirlenmiştir (Şekil 9.4 ve 9.5). Bu sebeple kazı öncesi bekleme zamanı da geliştirilen eşitlikte kullanılmıştır. Fakat kollu galeri açma makinaları için yapılan çalışmalarda, kazı öncesi bekleme zamanı hemen hemen hep aynı olduğundan, kazı öncesi bekleme zamanı parametresinin Schmidt sertliğini nasıl etkilediği belirlenememiştir. Galeri arınında ikinci arazi gerilme etkisinin daha az olduğu düşüncesiyle Schmidt sertliğinin zamana bağlı olarak değişiminin ayak içindeki kadar olmadığı kabul edilmiştir. Sonuç olarak eşitlikte yerinde deneyler ile belirlenen Schmidt sertlik (N_a) değerlerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Eşitlik 9.19'dan elde edilen spesifik enerji birimi kNkm/m^3'ün diğer spesifik enerji birimi olan kWh/m^3'e çevrilmesi planlanmıştır. Bunun için Eşitlik 9.19, 3.6

sabit sayısına bölünerek kWh/m^3 biriminden ifade edilmiş ve yeniden yazılmıştır (Eşitlik 9.20). Taban yollarındaki tavan ve taban kömürlerinden belirlenen $(SE)_a$ değerleri ile Eşitlik 9.20'den belirlenen görgül $(SE)_h$ değerlerinin karşılaştırılması için Çizelge 9.7 hazırlanmıştır.

$$SE = \frac{1}{3.6}\left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}}\right]*N_a \qquad \left(\frac{kWh}{m^3}\right) \qquad [9.20]$$

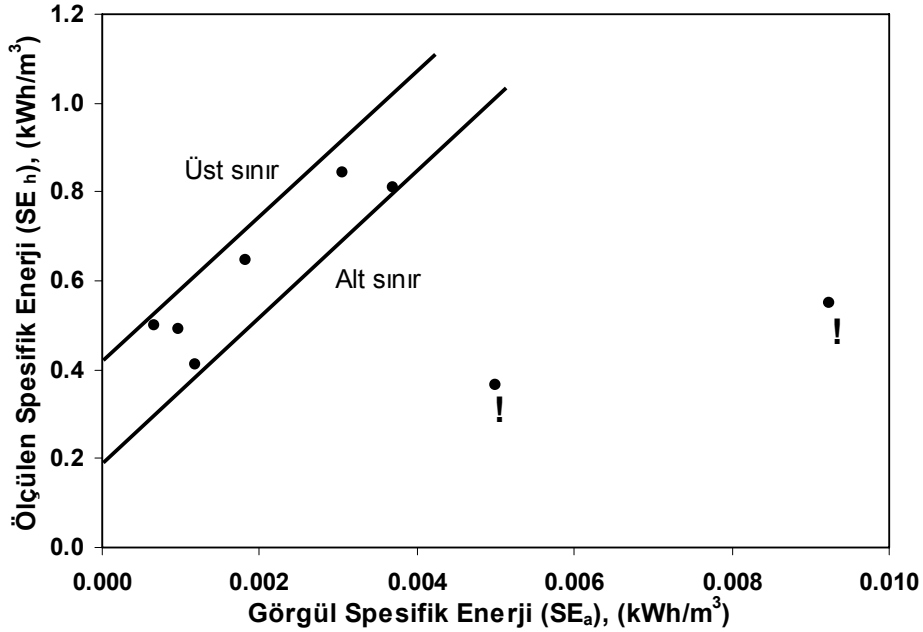
Çizelge 9.7. Taban yollarında yapılan ölçümler ile belirlenen (SE_a) ile geliştirilen Eşitlik 9.20 ile hesaplanan (SE_h) değerleri

Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yeri	*(SE_a) (kWh/m^3)	Görgül eşitlik (Eşitlik 9.20) ile belirlenen spesifik enerji (SE_h) hesaplanması					
			P (kN)	U (km)	d (gr/cm^3)	$(1-V)^{25d}$ (m^3/#)	N_a	(SE_h) (kWh/m^3)
21 Temmuz 2007	B810	0.49	1.56	4.30E-06	1.39	0.058	29.9	9.63E-04
21 Temmuz 2007	B810	0.84	1.82	8.20E-06	1.58	0.039	29.1	3.06E-03
26 Temmuz 2007	B810	0.41	1.31	9.67E-06	1.26	0.076	25.4	1.17E-03
26 Temmuz 2007	B810	0.81	2.17	1.27E-05	1.40	0.057	27.5	3.69E-03
22 Temmuz 2007	C1310	0.37	1.24	4.86E-06	1.34	0.010	30.2	5.00E-03
22 Temmuz 2007	C1310	0.55	1.87	6.29E-06	1.29	0.012	34.3	9.23E-03
27 Temmuz 2007	C1310	0.65	1.30	1.33E-06	1.41	0.008	29.6	1.82E-03
27 Temmuz 2007	C1310	0.50	0.94	1.25E-06	1.27	0.013	26.4	6.66E-03

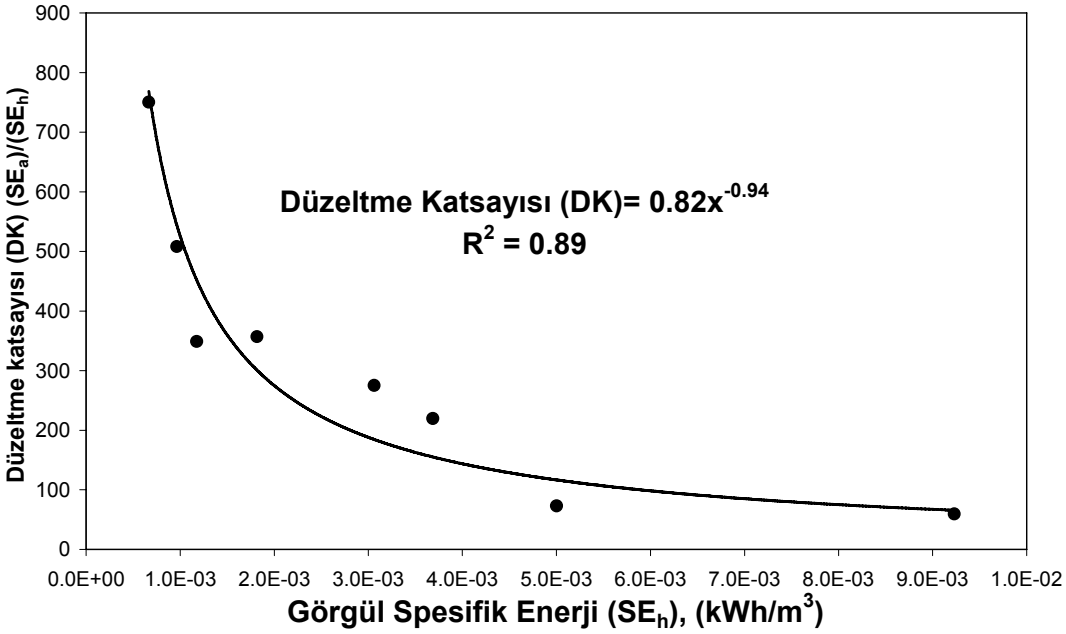
* Araziden belirlenen spesifik enerji $(SE_a)_{ey}$ (Çizelge 7.8 ve 7.9)

Çizelge 9.7'de sunulan spesifik enerji değerleri karşılaştırıldığında Eşitlik 9.20'den hesaplanan (SE_h) değerlerinin gerçek değerler (SE_a) ile belirli bir sistematik gösterdiği ancak gerçek değerlerden daha küçük olduğu görülmektedir (Şekil 9.17). Aslında beklenen, arazi ve hesap ile belirlenen spesifik enerji değerlerinin bire bir olmasıdır. Bunun için Eşitlik 9.20'nin bir düzeltme katsayısı ile düzeltilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Araziden belirlenen spesifik enerji (SE_a) değerleri Eşitlik 9.20'den hesaplanan spesifik enerji (SE_h) değerine bölünmüş ve elde edilen oranlar Şekil 9.18'da olduğu gibi Eşitlik 9.20'den hesaplanan spesifik enerji (SE_h) değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Eşitlik 9.20'de ifade edilen eşitlik eğer Şekil 9.18'de gösterilen düzeltme katsayısı ile çarpılırsa, gerçek arazi (SE_a) ile görgül yaklaşım ile hesaplanan (SE_h) değerleri sayısal büyüklük açısından bire bir ifade edebileceklerdir. Buna göre Eşitlik 9.20 yeniden aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.



Şekil 9.17. Araziden (SE_a) ve Eşitlik 9.20'den belirlenen (SE_h) değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 9.18. Görgül eşitlik (Eşitlik 9.20) ile belirlenen (SE_h) değerlerini arazi değerlerine yaklaştıran düzeltme katsayısı.

$$(SE_h) = [DK] * \left[\frac{1}{3.6} \left[\frac{P * U}{(1-V)^{25d}} \right] * N_a \right] \qquad \left(\frac{kWh}{m^3} \right) \qquad [9.21]$$

Burada DK: düzeltme katsayısıdır.

Şekil 9.18'de belirlenen düzeltme katsayısı Eşitlik 9.21'de yerine konursa;

$$(SE_h) = 0.82 * \left[\frac{1}{3.6} \left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}} \right] * N_a \right]^{-0.94} * \left[\frac{1}{3.6} * \left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}} \right] * N_a \right] \quad \left(\frac{kWh}{m^3} \right) \text{[9.22]}$$

elde edilir.

Eşitlik 9.22'deki benzer ifadeler ortak paranteze alınırsa;

$$(SE_h) = 0.82 * \left[\frac{1}{3.6} \left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}} \right] * N_a \right]^{0.06} \quad \left(\frac{kWh}{m^3} \right) \text{[9.23]}$$

ifadesine ulaşılır.

Görgül yaklaşım (Eşitlik 9.23) ile belirlenen (SE_h) sonuçları ile gerçek arazi ölçümleri ile belirlenen (SE_a) değerleri arasında karşılaştırma yapmak için Çizelge 9.8. hazırlanmıştır.

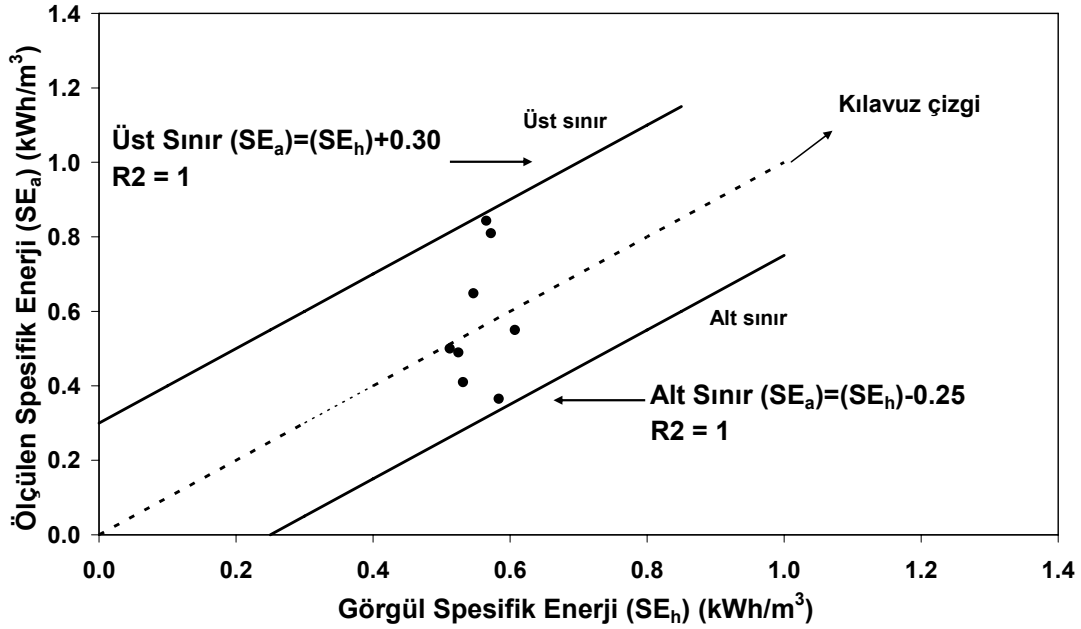
Çizelge 9.8. Tavan ve taban kömür damarları için (SE_a) ile Eşitilik 9.23'den hesaplanan (SE_h) değerleri.

Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yeri	*Araziden belirlenen Spesifik enerji (SE_a) ,(kWh/m^3)	Eşitlik 9.23'den hesaplanan görgül spesifik enerji		
			Orijinal (SE_h) (kWh/m^3)	Düzeltme katsayısı	Nihai (SE_h) (kWh/m^3)
21 Temmuz 2007	B810	0.49	9.63E-04	544.34	0.52
21 Temmuz 2007	B810	0.84	3.06E-03	184.58	0.57
26 Temmuz 2007	B810	0.41	1.17E-03	452.16	0.53
26 Temmuz 2007	B810	0.81	3.69E-03	155.18	0.57
22 Temmuz 2007	C1310	0.37	5.00E-03	116.66	0.58
22 Temmuz 2007	C1310	0.55	9.23E-03	65.78	0.61
27 Temmuz 2007	C1310	0.65	1.82E-03	300.88	0.55
27 Temmuz 2007	C1310	0.50	6.66E-03	768.46	0.51

* (SE_a) değerlerinin hesaplanması Çizelge 7.8 ve 7.9'da sunulmuştur.

Çizelge 9.8'de sunulan veriler yardımıyla Şekil 9.19 çizilmiştir. Sunulan grafikten görüldüğü gibi her iki değerin bire bir ifade edilmesinin belirli dar bir sınır dahilinde olduğu görülmektedir. Üst ve alt sınırların eğimi aynı iken aralarındaki farkın 0.60 olduğu görülmektedir.

Şekil 9.19'de sunulan sonuçlara göre taban yollarında karşılaşılan kömür malzemenin spesifik enerji değerlerinin görgül yaklaşım Eşitlik 9.23 yardımıyla hesaplanabileceği görülmüştür. Tamburlu kesici-yükleyici için geliştirilen yaklaşımda olduğu gibi Eşitlik 9.23 yardımıyla görgül olarak hesaplanan spesifik enerji değeri kullanılarak uygulayıcı mühendis, hangi kazıcının kendisi için uygun olduğunu belirleyebilir. Uygulayıcı mühendis tarafından dikkate alınan kollu galeri



Şekil 9.19. Eşitlik 9.23'den hesaplanan (SE_h) ile araziden belirlenen (SE_a) değerlerinin karşılaştırılması.

Gleri açma makinasının gücü (kW) aşağıda sunulan eşitlikte yerine konursa net kazı hızı (m^3/h) bulunabilir.

$$\text{Net kazı hızı} = \frac{\text{Makina Kesici Kafa Gücü (kW)}}{\text{Spesifik Enerji (kWh/m}^3\text{)}+1} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \qquad [9.24]$$

Sonuç olarak nihai eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$NKH = \frac{G}{SE+1} \ (\text{m}^3/\text{h}) \qquad [9.25]$$

Burada, NKH net kazı hızı (m^3/h), G kesici kafa gücü (kW) ve SE spesifik enerji (kWh/m^3)'dir.

Eşitlik 9.25'den hesaplanan net kazı hızı (m^3/h), kesilen malzeme boyutuna (m^2) bölünürse bu taktirde tamburlu kesicinin ilerleme hızı (m/dk) hesaplanabilecektir.

$$\dot{I}H = \frac{NKH}{[S*60]} \quad (\text{m/dk}) \qquad [9.26]$$

Burada; İH ilerleme hızı (m/dk), NKH net kazı hızı (m^3/h), S kazı yapılan kömür yüzey alanı (m^2)'dır.

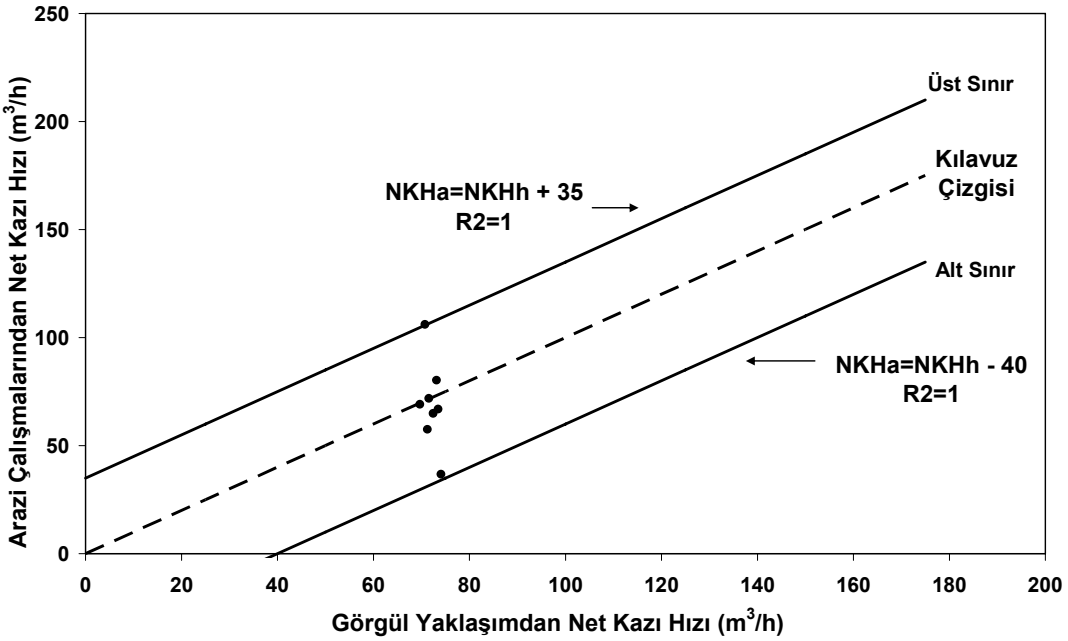
Çayırhan havzasında B810 ve C1310 taban yollarında kullanılan kollu galeri açma makinasının kesici kafa gücü 112 kW'dır. Her iki taban yolunda da yapılan arazi ölçümleri yardımıyla geliştirilen görgül yaklaşımdan (Eşitlik 9.23) hesaplanan spesifik enerji (SE_h) değerleri Eşitlik 9.25'de kullanılarak net kazı hızları hesaplanmıştır (Çizelge 9.9). Ayrıca elde edilen net kazı hızları (m^3/h), B810 ve C1310 taban yolu için kesilen malzeme boyutuna (m^2) bölünerek (Eşitlik 9.26), kollu galeri açma makinasının ilerleme hızları (m/dk) hesaplanmış ve Çizelge 9.9'da sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 9.9'da arazi ölçümlerinden belirlenen net kazı hızı (m^3/h) ve makina ilerleme hızları (m/dk) verilmiştir.

Çizelge 9.9'da sunulan arazi ölçümlerinden belirlenen ve görgül eşitliklerden (Eşitlik 9.25 ve 9.26) hesaplanan net kazı hızları (m^3/h) ve kollu galeri açma makinasının ilerleme hızları (m/dk) aşağıda sunulan grafikler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 9.20 ve 9.21). Ayrıca görgül yaklaşımdan hesapanan spesifik enerji, net kazı hızı ve ilerleme hızı parametrelerinin birbirleri ile olan ilişkileri ise Şekil 9.22 ve 9.23'de sunulmuştur.

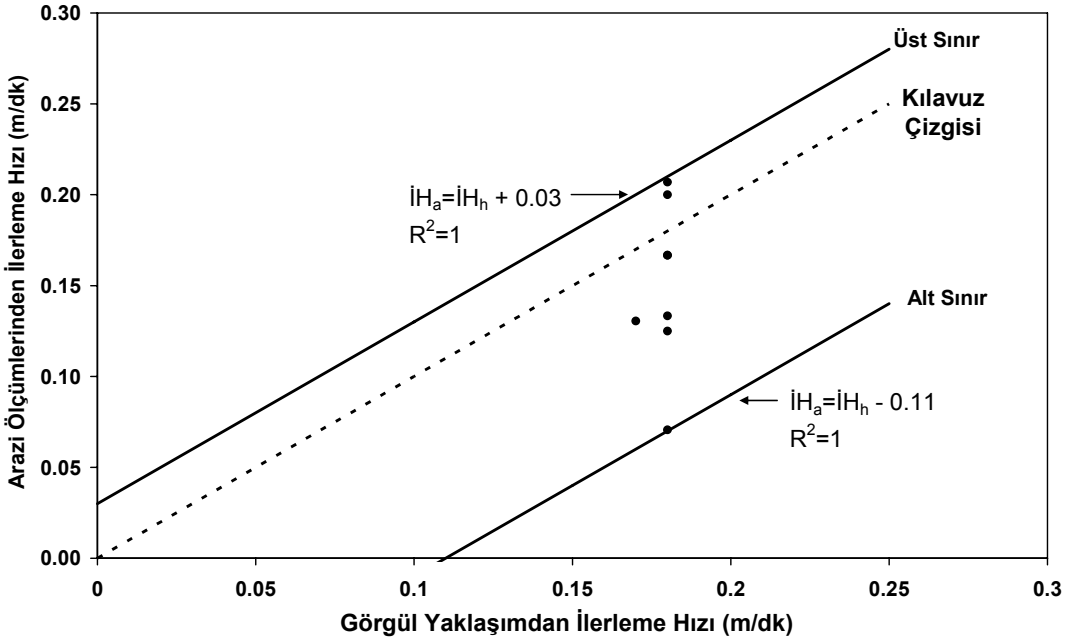
Şekil 9.20 ve 9.21'den görüldüğü üzere veriler dar bir koridorda yerleşmişlerdir. Uygulayıcı mühendislerin bu çalışma ile kollu galeri açma makinalarının performans analizlerinde kullanılmak üzere geliştirilen görgül spesifik enerji (Eşitlik 9.23) eşitliğini kullanabilecekleri görülmektedir. Net kazı hızı (m^3/h) ile spesifik enerji (kWh/m^3) parametresinin üssel bir ilişkide olduğu Şekil 9.22 görülürken benzer bir ilişki de ilerleme hızı ile spesifik enerji arasında görülmektedir (Şekil 9.23). Spesifik enerji azalırken üssel bir fonksiyon davranışı göstererek net kazı hızı ve ilerleme hızının arttığı Şekil 9.22 ve 9.23'den izlenebilmektedir. Geliştirilen matematiksel yaklaşımların alt ve üst sınırlar arasında kaldığı görülmektedir.

Çizelge 9.9. Arazi çalışmaları ile belirlenen görgül yaklaşımdan hesaplanan net kazı hızları (m^3/h) ve kesicinin ilerleme hızı (m/dk).

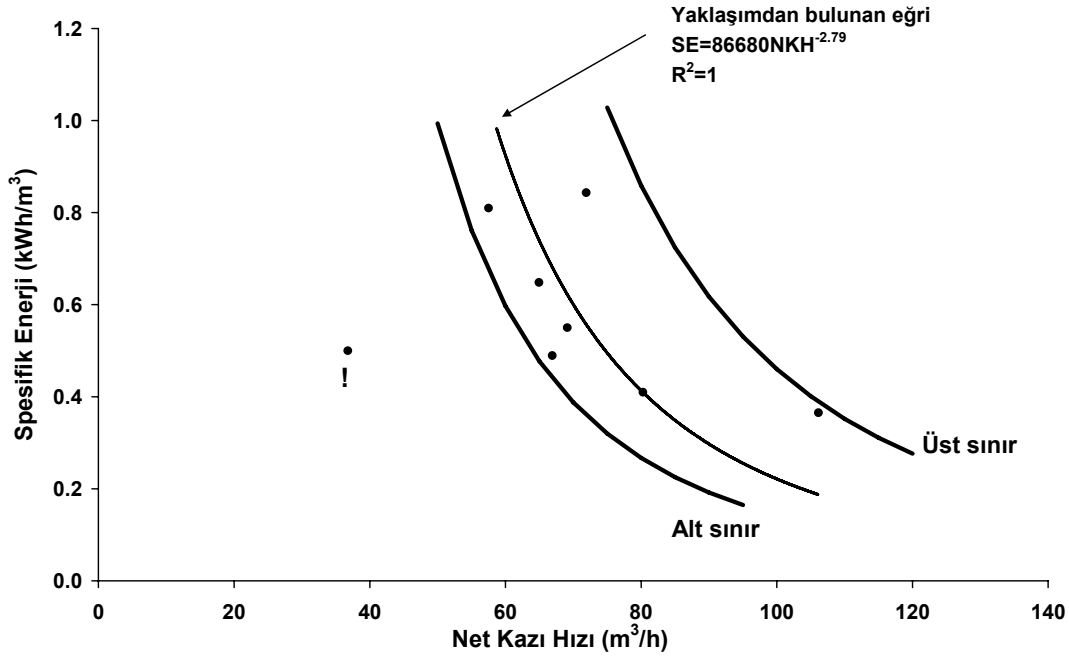
Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yeri	Araziden ölçümlerinden			Görgül eşitliklerden		
		(SE_a) (kWh/m^3)	NKH (m^3/h)	İlerleme Hızı (m/dk)	(SE_h) (kWh/m^3)	NKH (m^3/h)	İlerleme Hızı (m/dk)
21 Temmuz 2007	B810	0.49	66.90	0.17	0.52	73.68	0.184
21 Temmuz 2007	B810	0.84	71.90	0.17	0.57	71.34	0.178
26 Temmuz 2007	B810	0.41	80.28	0.20	0.53	73.20	0.182
26 Temmuz 2007	B810	0.81	57.52	0.13	0.57	71.34	0.178
22 Temmuz 2007	C1310	0.37	106.14	0.21	0.58	70.89	0.177
22 Temmuz 2007	C1310	0.55	69.10	0.13	0.61	69.57	0.173
27 Temmuz 2007	C1310	0.65	64.95	0.13	0.55	72.26	0.180
27 Temmuz 2007	C1310	0.50	36.76	0.07	0.51	74.17	0.185



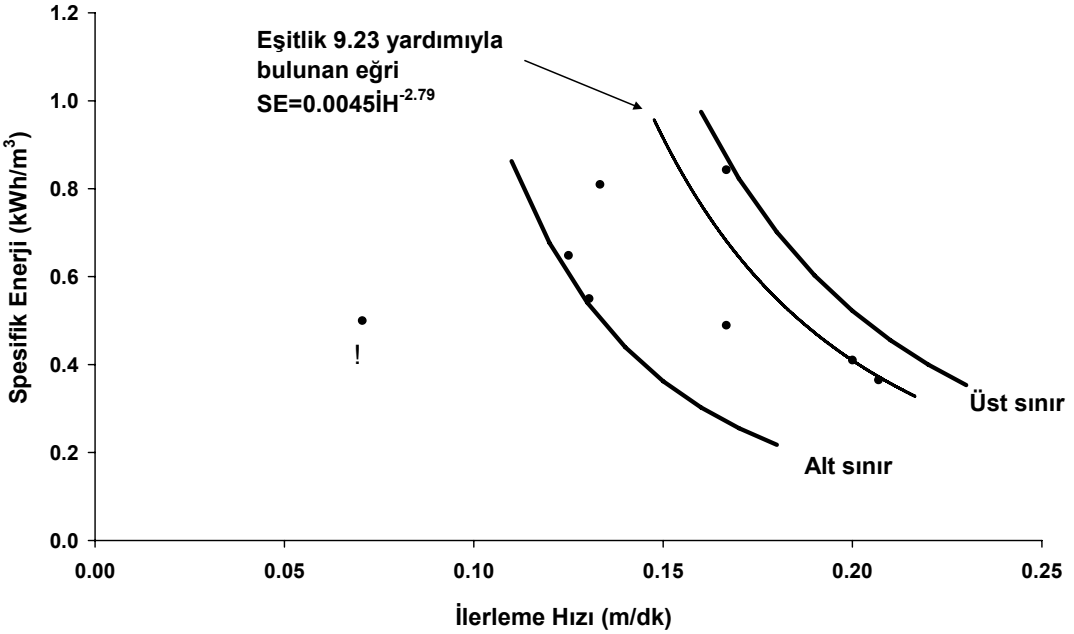
Şekil 9.20. Görgül yaklaşım ve arazi ölçümlerinden belirlenen net kazı hızları.



Şekil 9.21. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen kollu galeri açma makinasının ilerleme hızları.



Şekil 9.22. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen net kazı hızı ve spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 9.23. Görgül yaklaşım ile arazi ölçümlerinden belirlenen ilerleme hızı ve spesifik enerji arasındaki ilişki.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

10.1. Sonuçlar

Doktora tez çalışması esnasında yürütülen arazi ve laboratuar çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar; laboratuar, arazi ve matematiksel yaklaşım çalışmaları olmak üzere üç başlık altında toplanmıştır.

1. Laboratuar çalışmaları sonucunda ulaşılan sonuçlar

- B810 ve C1310 taban yolu arınlarından alınan 15 adet bloktan toplam 84 adet silindirik ve küp numune hazırlanmıştır. Hazırlanan silindirik numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) deneyleri sonucunda B810 taban yolundaki tavan kömürünün TEBD 11.93 MPa ve taban kömürünün 15.20 MPa olduğu belirlenmiştir. C1310 taban yolundaki tavan kömürünün TEBD 9.67 MPa, taban kömürünün 9.05 MPa ve arakesmenin ise 12.70 MPa olduğu tespit edilmiştir.
- Küp numuneler üzerinde yapılan TEBD deneyleri sonucunda B810 taban yolundaki tavan kömürünün TEBD 8.17 MPa, taban kömürünün TEBD 12.08 MPa olarak tespit edilmiştir. C1310 bacasındaki tavan kömürünün ise TEBD 14.23 MPa olarak belirlenmiştir.
- Toplam 134 numune üzerinde yapılan dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) deneyi sonucunda B810 taban yolu için tavan kömürünün dolaylı çekme dayanımı değeri 1.08 MPa, taban kömürünün ise 1.40 MPa olduğu belirlenmiştir. C1310 taban yolu için tavan kömürünün dolaylı çekme dayanım değeri 1.07 MPa, taban kömürünün 1.18 MPa ve arakesmenin 1.74 MPa olduğu tespit edilmiştir.
- 17 adet numune üzerinde yapılan deformabilite deneyleri sonucunda B810 taban yolundaki tavan kömürünün elastik modül değerleri E_t=0.53 GPa, E_s=0.54 GPa, E_{ort}=0.61 GPa olurken taban kömürünün E_t=0.75 GPa, E_s=0.44 GPa, E_{ort}=0.58 GPa olarak belirlenmiştir. C1301 taban yolundaki tavan kömürünün elatik modül değerleri E_t=0.57 GPa, E_s=0.51 GPa, E_{ort}=0.62 GPa, taban kömürünün E_t=0.49 GPa, E_s=0.64 GPa, E_{ort}=0.54 GPa, arakesmenin ise E_t=1.06 GPa, E_s=0.49 GPa, E_{ort}=0.69 GPa olduğu tespit edilmiştir.

- Bloklardan hazırlanan düzensiz toplam 93 adet numune üzerinde nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. B810 taban yolu için ölçülen tavan kömürünün ortalama nokta yükleme dayanımı değeri 0.50 MPa, taban kömürünün değeri 0.70 MPa ve arakesmenin nokta yükleme dayanımı 0.46 MPa olarak bulunmuştur. C1310 taban yolu için ölçülen tavan kömürünün nokta yükleme dayanımı değeri 0.45 MPa, taban kömürünün 0.51 MPa, arakesmenin 0.64 MPa ve taban taşının ise 3.34 MPa olduğu belirlenmiştir.
- Bloklardan hazırlanan toplam 73 adet numune üzerinde yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. B810 taban yolu için ölçülen tavan kömürünün doğal yoğunluk değeri 1.36 gr/cm^3, etkili gözeneklilik değeri %6.88; taban kömürünün doğal yoğunluk değeri 1.48 gr/cm^3, etkili gözeneklilik değeri %5.48 olarak bulunmuştur. C1310 taban yolu için ölçülen tavan kömürünün doğal yoğunluk değeri 1.39 gr/cm^3, etkili gözeneklilik değeri %7.09; taban kömürünün doğal yoğunluk değeri 1.28 gr/cm^3, etkili gözeneklilik değeri %7.29; taban taşının doğal yoğunluk değeri 2.16 gr/cm^3, etkili gözeneklilik değeri ise %1.64 olarak bulunmuştur.
- Tavan, taban kömürü ve arakesme birimlerinden alınan 15 blok numune üzerinde Schmidt sertliği belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. B810 taban yolu için bloktan ölçülen tavan kömürünün Schmidt sertlik değeri 47.78, taban kömürünün değeri 47.83 olarak bulunmuştur. C1310 taban yolu için bloktan ölçülen tavan kömürünün Schmidt sertlik değeri, 45.74, taban kömürünün değeri ise 46.50 olarak bulunmuştur.
- 20 adet silindirik numune üzerinde yapılan ses geçirgenlik deneyleri sonucunda B810 taban yolundaki tavan kömürü için P dalgasının yayılım hızı 614.5 m/sn, S dalgasının yayılım hızı 512.6 m/sn, taban kömürü için P dalgasının yayılım hızı 567.0 m/sn, S dalgasının yayılım hızı ise 447.5 m/sn olarak ölçülmüştür. C1310 taban yolundaki tavan kömüründe P dalgasının yayılım hızı 1961.7 m/sn, S dalgasının yayılım hızı 1180.0 m/sn; taban kömüründe P dalgasının yayılım hızı 2008.6 m/sn, S dalgasının yayılım hızı ise 1334.3 m/sn olarak tespit edilmiştir.
- Laboratuar çalışmaları yoluyla belirlenen mekanik özellikleri birbirleri ile olan ilişkileri değerlendirildiğinde en iyi ilişkilerin tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında (R^2=0.95) ve nokta yükleme dayanımı ($Is_{(50)}$)

ile doğal yoğunluk arasında (R^2=0.90) olduğu görülmüştür. En düşük ilişkilerin dolaylı çekme dayanımı değeri ile doğal yoğunluk değeri arasında (R^2=0.35) ve nokta yükleme dayanımı değeri ile Schmidt sertliği arasında (R^2=0.45) olduğu tespit edilmiştir.

2. *Arazi çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar*

2.1. Uzun ayak kömür arınında yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçlar

- 14 farklı uzun ayak arınında hazırlanan 48 m uzunluğundaki deneysel alanın mekanik tanımlaması ile kazıcı makine performans ölçümlerinin yapılabilmesi için deneysel alanın bölümlere ayrılması gerekmiştir. Özellikle Schmidt sertlik deneyler için bu kaçınılmaz olmuştur.
- Bunun için Schmidt çekicinin arazide kullanımı konusunda yeni bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntem uygulanarak arazideki yüzey sertlik ölçümleri yapılmıştır (Çizelge 5.3). Bu yöntem ile arazideki tek bir Schmidt sertliği değerinin en az ne kadar bir alanı temsil edebileceği belirlenmiştir. Sonuçta, deneysel alan 0.375 m^2'lik ızgaralara bölünmüş ve her bir 0.375 m^2'lik alanda tek bir Schmidt sertliği ölçümünün alınmasının uygun olacağı belirlenmiştir.
- Kömür arını üzerinde zamana bağlı olarak Schmidt sertliklerinin nasıl değiştiğini belirlemek için yapılan deneyler sonucunda, arındaki kömürün zamana bağlı olarak sertlik değerinin üstel davranış göstererek azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.5). Bu değişimin arın tavanındaki ikincil arazi gerilmeleri nedeni ile olduğu kabul edilmiştir. Değişim, yüzey sertlik değerinin yüke bağlı bozunması olarak değerlendirilmiştir.
- Toplam 1014 m^2'lik bir kömür arını üzerinde B06 panosunda toplam 1965 adet B08 panosunda 768 adet Schmidt sertliği deneyi gerçekleştirilmiştir. B06 panosunda 11 farklı kazı arını üzerinde yapılan Schmidt sertliği deneyleri sonucunda, B06 panosunun ortalama Schmidt sertliği değeri 31.77 bulunmuştur. B08 panosunda 4 farklı kazı arını üzerinde yapılan Schmidt sertliği deneyleri sonucunda ise B08 panosunun ortalama Schmidt sertliği değeri 29.79 olarak hesaplanmıştır.
- B06 panosunun ortalama nokta yükleme dayanımı değeri ($Is_{(50)}$) 0.65 MPa, B08 panosunun 0.66 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara B06 panosunda 658

adet, B08 panosunda 377 adet nokta yükleme dayanımı deneyi yapılarak ulaşılmıştır. Deneylerde ISRM (1981) tarafından önerilen düzensiz prça numuneler kullanılmıştır.

- B06 panosunda 458 adet, B08 panosunda 244 adet doğal yoğunluk ve porozite belirleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda B06 panosunun ortalama doğal yoğunluk değeri 1.49 gr/cm^3, etkili porozite değeri %3.16 olarak belirlenirken B08 panosunun doğal yoğunluk değeri 1.42 gr/cm^3, etkili porozite değeri % 9.45 olarak belirlenmiştir.
- Mekanik özellikleri belirlenen kömür arınının durumunu kazı öncesi dijital ortamda saklamak için her bir birim ölçüm alanının (1.5x15 m) fotoğrafı çekilmiş ve böylece geriye dönük analizlerde kullanılmak üzere 448 adet fotoğraf dijital ortama aktarılmıştır.
- Mekanik özellikleri belirlenen kömür arınında tamburlu kesici-yükleyici ile gerçekleştirilen kazı çalışmalarında B06 panosunda yapılan performans ölçüm çalışmaları sonucunda Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan en düşük akım değerinin 5 Mayıs 2005 tarihinde (67.73 amper) en yüksek akım değerinin ise 15 Şubat 2005 tarihinde (109.92 amper) yapılan ölçümlerden elde edildiği tespit edilmiştir. B06 panosunda toplam 11 farklı kazı arınında yapılan performans ölçüm çalışmaları sonucunda elde edilen ortalama akım değeri ise 92.94 amper olarak belirlenmiştir.
- B06 panosundaki en düşük net kazı hızı (m^3/h) 5 Mayıs 2005 tarihindeki yapılan ölçümde elde edilirken (210.83 m^3/h) en yüksek net kazı hızı ise 16 Şubat 2005 tarihindeki 1. ölçümde (299.43 m^3/h) bulunmuştur. B06 panosunda yürütülen çalışmalardaki ortalama net kazı değeri ise 256.64 m^3/h olarak tespit edilmiştir.
- B06 panosundaki Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan veriler ile hesaplanan spesifik enerji değerleri içinde en düşük olan 16 Şubat 2005'de yapılan 1. kesimde olurken (1.07 kWh/m^3) en yüksek olanı 6 Mayıs 2005 tarihinde (1.39 kWh/m^3) yapılan ölçümlerde elde edilmiştir. B06 panosunda yürütülen çalışmalardaki ortalama spesifik enerji değerinin ise 1.20 kWh/m^3 olduğu görülmüştür.
- B06 panosundaki en düşük ilerleme hızı (m/dk) 25 Ağustos 2005 tarihinde yapılan ölçümde olurken (3.54 m/dk) en yüksek ilerleme hızı 16 Şubat 2005

tarihinde yapılan 1. ölçümde (5.76 m/dk) bulunmuştur. B06 panosunda yürütülen çalışmalardaki ortalama ilerleme hızı ise 4.45 m/dk olarak tespit edilmiştir

- B06 panosundaki yapılan ölçümler neticesinde ulaşılan en düşük tahkimat basıncı değeri (282.10 bar) 16 Şubat 2005'de yapılan ikinci ölçümde belirlenirken en yüksek basınç değerinin ise 16 Şubat 2005'de yapılan 1. ölçüm (344.30 bar) neticesinde elde edilmiştir. B06 panosunda yürütülen çalışmalardaki ortalama tahkimat basıncının 323.88 bar olduğu belirlenmiştir.
- B06 panosunda yapılan ölçümlerde kazı öncesi bekleme süresi 16 Şubat 2005 tarihindeki 2. ölçümde en az olurken (1.4 saat) 16. Şubat 2005 tarihindeki 1. ölçümde en fazla (11.7 saat) olduğu görülmüştür.
- B08 panosunda yapılan performans ölçüm çalışmaları sonucunda Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan en düşük akım değeri 25 Temmuz 2006 tarihinde (74.43 amper) en yüksek akım değeri 20 Temmuz 2006 tarihinde (94.67 amper) yapılan ölçümler sonucunda tespit edilmiştir. B08 panosunda toplam 4 farklı kazı arınında yapılan performans ölçüm çalışmaları sonucunda elde edilen ortalama akım değeri ise 81.79 amper olduğu belirlenmiştir.
- B08 panosundaki en düşük net kazı hızı (m^3/h) 19 Temmuz 2006 tarihindeki 1. ölçümde elde edilirken (193.20 m^3/h) en yüksek net kazı hızı ise 20 Temmuz 2006 tarihinde (245.90 m^3/h) bulunmuştur. B08 panosunda yürütülen çalışmalardaki ortalama net kazı değeri ise 218.57 m^3/h olarak tespit edilmiştir.
- B08 panosundaki Bilgi İşlem Merkezi'nden alınan veriler ile hesaplanan spesifik enerji değerleri içinde en düşük olan 25 Temmuz 2006 yapılan ölçümde olurken (1.10 kWh/m^3) en yüksek olan 19 Temmuz 2006'da yapılan 1 ölçümde (1.34 kWh/m^3) olduğu görülmüştür. B08 panosunda yürütülen çalışmalardaki ortalama spesifik enerji değeri ise 1.26 kWh/m^3 olduğu görülmüştür.
- B08 panosundaki en düşük ilerleme hızı (m/dk) 19 Temmuz 2006'da yapılan ölçümde olurken (3.07 m/dk) en yüksek ilerleme hızı 20 Temmuz 2006 tarihinde yapılan ölçümde (3.90 m/dk) bulunmuştur. B08 panosunda yürütülen çalışmalardaki ortalama ilerleme hızı ise 3.47 m/dk olarak tespit edilmiştir
- B08 panosundaki yapılan ölçümler neticesinde ulaşılan en düşük tahkimat basıncı değeri (231.30 bar) 20 Temmuz 2006'da yapılan ölçümde belirlenirken en yüksek basınç değerinin ise 25 Temmuz 2006 tarihinde yapılan ölçümde

(342.23 bar) olduğu görülmüştür. B08 panosunda yürütülen çalışmalardaki ortalama tahkimat basıncı 298.53 bar olduğu belirlenmiştir.

- B08 panosunda yapılan ölçümler içerisinde 20 Temmuz 2006 tarihinde kazı arının kazılmadan önce 2.2 saat beklediği, 25 Temmuz 2006 tarihinde ise bu sürenin en fazla (3.8 saat) olduğu tespit edilmiştir.

2.2. Taban yollarında yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçlar

- Taban yollarında 4 farklı kazı arını üzerinde yürütülen sertlik deneyleri sonucunda; B810 taban yolundaki galeri arınındaki ortalama taban kömürünün Schmidt sertlik değeri 28.30, tavan kömürünün 27.65, arakesmenin 19.45 ve tavan taşının Schmidt sertlik değeri 21.7 olarak ölçülmüştür. C1310 taban yolunda ölçülen taban kömürünün Schmidt sertlik değeri 30.35, tavan kömürünün 29.90, arakesmenin 21.10, taban taşının 22.85 ve tavan taşının Schmidt sertlik değeri 22.35 olarak tespit edilmiştir. Yüzey sertliği değerlerinin belirlenebilmesi için toplam 483 adet Schmidt sertlik ölçümü yapılmıştır.
- B810 taban yolunda yürütülen çalışmalar sonucunda belirlenen ortalama tavan kömürünün nokta yükleme dayanımı değeri 0.52 MPa, taban kömürünün 0.74 MPa, arakesmenin 0.22 MPa olarak belirlenmiştir. C1310 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün nokta yükleme dayanımı 0.44 MPa, taban kömürünün 0.36 MPa, arakesmenin 0.67 ve taban taşının 3.34 MPa olarak tespit edilmiştir. Toplam 97 adet nokta yükleme dayanımı deneyi yapılmıştır.
- Doğal yoğunluk belirleme deneyleri toplam 82 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. B810 taban yolunda yürütülen çalışmalar sonucunda belirlenen tavan kömürünün doğal yoğunluk değeri 1.41 gr/cm^3, taban kömürünün 1.52 gr/cm^3 olarak tespit edilmiştir. C1310 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün doğal yoğunluk değeri 1.38 gr/cm^3, taban kömürünün 1.29 gr/cm^3, arakesmenin 1.92 gr/cm^3 ve taban taşının 2.16 gr/cm^3 olduğu belirlenmiştir.
- B810 taban yolunda yürütülen çalışmalar sonucunda belirlenen tavan kömürünün etkili gözeneklilik değeri %6.13, taban kömürünün %5.32, arakesmenin %12.14 olarak tespit edilmiştir. C1310 taban yolunda ölçülen tavan kömürünün etkili gözeneklilik değeri %7.12, taban kömürünün %7.17, arakesmenin %12.14 ve

taban taşının %1.64 olarak belirlenmiştir. Etkili gözeneklilik belirleme deneyleri toplam 82 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

- Mekanik özellikleri belirlenen B810 taban yolu arınında yürütülen performans ölçüm çalışmaları sonucunda en düşük akım tavan taşının traşlanması esnasında elde edilirken (25.10 amper) en yüksek akım arakesmenin kazısı sırasında (48.52 amper) elde edilmiştir.
- B810 taban yolundaki çalışmalarda ulaşılan en düşük net kazı hızı tavan taşının traşlanması sırasında olurken (20.00 m^3/h) en yüksek net kazı hızı ise arakesmenin kazısı sırasında (91.80 m^3/h) olduğu belirlenmiştir.
- B810 taban yolunda gerçekleştirilen çalışmalarda ulaşılan en düşük kazı hızı arakesme de (0.09 m/dk) belirlenmiş olup en yüksek ilerleme hızının ise tavan taşının traşlanması esnasında (0.67 m/dk) olduğu tespit edilmiştir.
- B810 taban yolundaki çalışmalar neticesinde ulaşılan spesifik enerji değerleri içerisinde en düşük olan tavan kömüründe (0.49 kWh/m^3), en yüksek spesifik enerji değerinin ise tavan taşının traşlanması esnasında (1.26 kWh/m^3) geçekleştiği tespit edilmiştir.
- C1310 taban yolunda yürütülen performans ölçüm çalışmaları sonucunda en düşük akım tavan taşının traşlanması esnasında elde edilirken (32.63 amper) en yüksek ortalama akım, taban taşının kazısı sırasında (54.14 amper) elde edilmiştir.
- C1310 taban yolundaki çalışmalarda ulaşılan en düşük net kazı hızı tavan taşının traşlanması sırasında olurken (6.21 m^3/h) en yüksek net kazı hızı ise tavan kömürünün kazısı sırasında (106.14 m^3/h) olduğu belirlenmiştir.
- C1310 bacasında gerçekleştirilen çalışmalarda ulaşılan en düşük ilerleme hızı taban kömüründe (0.07 m/dk) belirlenmiş olup en yüksek ilerleme hızı ise tavan taşının traşlanması esnasında (0.6 m/dk) olduğu tespit edilmiştir.
- C1310 taban yolundaki çalışmalar neticesinde ulaşılan spesifik enerji değerleri içerisinde en düşük olanı tavan kömürü için olurken (0.37 kWh/m^3), en yüksek spesifik enerji değerinin tavan taşının traşlanması esnasında (5.26 kWh/m^3) olduğu görülmüştür.

3. Matematiksel yaklaşım ile ilgili sonuçlar

- Yukarıda özetlenen mekanik deney sonuçları ile kazıcı makinaya ait performans ölçümleri dikkate alınarak hazırlanan veri tabanı yardımıyla yapılan grafiksel incelemeler ve değerlendirmeler sonucunda iki temel eşitlik geliştirilmiştir. Bunlardan birincisi spesifik enerji (kWh/m^3) diğeri ise net kazı hızı (m^3/h) eşitlikleridir.
- Kazı çalışmaları sırasında spesifik enerjiyi görgül bir yaklaşım yardımıyla hesaplamak için geliştirilen eşitlikte, spesifik enerjinin değişimine etkileri daha fazla olduğu belirlenen aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır.
  - i.) Nokta yükleme dayanımı deneyi ile bulunan kırılma yükü (kN)
  - ii.) Nokta yükleme dayanımı deneyi ile bulunan deformasyon miktarı (mm)
  - iii.) Kömürün birim hacimdeki süreksizlik sayısı ($\#/m^3$)
  - iv.) Schmidt sertlik değeri
  - v.) Doğal yoğunluk değeri (gr/cm^3)
- Bu parametreler kullanılarak uzun ayak arınında kullanılan tamburlu kesici-yükleyici makinanın eğim yukarıya ve eğim aşağıya doğru çalıştığı andaki durum için görgül spesifik enerji ($(SE_h)_{ey}$ ve $(SE_h)_{ea}$) eşitlikleri geliştirilmiştir.

$$(SE_h)_{ey} = 2.04 * \left[\frac{1}{3.6} \left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}} \right] * \left[N_{Lab} * \left(0.006 * t^2 - 0.075 * t + 0.803 \right) \right] \right]^{0.09} \left(\frac{kWh}{m^3} \right)$$

$$(SE_h)_{ea} = 1.92 * \left[\frac{1}{3.6} \left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}} \right] * \left[N_{Lab} * \left(0.046 * t^2 - 0.339 * t + 1.161 \right) \right] \right]^{0.07} \left(\frac{kWh}{m^3} \right)$$

Kollu galeri açma makinası ile kazı çalışmalarının yürütüldüğü taban yolu arını için geliştirilen eşitlik ise ayrıca aşağıda sunulmuştur.

$$(SE_h) = 0.82 * \left[\frac{1}{3.6} \left[\frac{P*U}{(1-V)^{25d}} \right] * N_a \right]^{0.06} \left(\frac{kWh}{m^3} \right)$$

- Uygulayıcı mühendis; makina seçiminde veya kullanılan makinanın performans analizinde en çok net kazı hızı (m^3/h) ve kazıcının ilerleme hızı (m/dk) görmek isteyecektir. Bunun ile ilgili önerilen eşitlikler aşağıda sunulmuştur.

Tamburlu kesici-yükleyiciler için;

$$NKH = \frac{G}{SE + 1} \quad (m^3/h)$$

$$İH = \frac{NKH}{[H * D * 60]} \quad (m/dk)$$

Kollu galeri açma makinası için;

$$NKH = \frac{G}{SE + 1} \ (m^3/h)$$

$$İH = \frac{NKH}{[S * 60]} \quad (m/dk)$$

10.2. Öneriler

1. Bu çalışma sadece Çayırhan kömür havzası için gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde mekanize kazının yapıldığı Soma ve Tunçbilek madenlerinde de bu çalışmaya benzer çalışmalar gerçekleştirilmelidir.
2. Bu çalışma sadece Eickhoff SL 300 tamburlu kesici yükleyici ve Dosco Mk2B kollu galeri açma makinaları için gerçekleştirilmiştir. Farklı tipteki tamburlu kesici-yükleyici ve kollu galeri açma makinalarında da bu tür çalışmalar gerçekleştirilmelidir.
3. Kömür damar eğiminin kazı makine performansı üzerindeki etkisinin araştırılması için, bu çalışma sistematiği farklı eğimdeki damarlarda da uygulanmalıdır.
4. Bu çalışmada galeri açma makinaları üzerindeki çalışmalar sınırlı kalmıştır. Bu konudaki performans ölçümlerinin artırılarak geniş bir veri tabanının hazırlanması yerinde olacaktır.

11. KAYNAKLAR

Acaroğlu, Ö. 2004. Bomlu kazı makinalarının stabilite analizi ve optimum seçimi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 211s.

Alvarez, J.T., Alvarez, M.M., Diez, R.R. 2003. Experimental results a low-power roadheader driving a gallery with different types of rock at the face. Tunneling and Underground Space Technology Vol.18, 395-404.

Altındağ, R., Güney, A. 1994. Dünya'da ve Türkiye'de uzun ayak kömür madenciliğinde mekanizasyonun rolü. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi. 15.Yıl sempozyumu, 391-397 .

Altındağ, R., Güney, A. 1996. Tamburlu kesicilerin çalışma koşullarına göre performanslarının incelenmesi. Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi. Cilt.9, Sayı.1, 53-64.

ASTM, 2005. Standard D 5873-05: Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method, Vol. 04.09, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.

Ayhan, M 1994. O.A.L. Müessesesindeki tamburlu kesicilerin kesme ve yükleme performanslarının incelenmesi. Hacettepe Üniversite, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Ayday, C., Goktan, R.M. 1992. Correlations between L and N-type Schmidt hammer rebound values obtained during field testing. Eurock '92. Thomas Telford, London, pp. 47– 50.

Aydın, Y., Fünfstück, J. 1988. Beypazarı projesi raporu. VI. Kömür kongresi, Mayıs, 53-71.

Balcı, C., Tunçdemir, H., Bilge, İ., Bilgin, N., Eskikaya, Ş. 1997. Jeolojik süreksizliklerin ve yanal basınçların keskilerin kesme performansı üzerindeki etkileri. Türkiye 15. Uluslar arası Madencilik Kongresi, 157-162.

Bilgin, N., Seyrek, T., Shahriar, K. 1988. İstanbul Eyüp tünelinde galeri açma makinası ile elde edilen sonuçlar ve bunların maden mühendisliği açısından önemi. Madencilik Dergisi, Cilt 27, Sayı 2, 9-15.

Bilgin, N. 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınevi, 139-140, İstanbul.

Bilgin, N., Seyrek, T., Erdinç, E., Shahriar, K. 1990a. Roadheaders glean valuable tips for ıstanbul metro. Tunnels And Tunneling, 22, 10, 29-32, October.

Bilgin, N., Seyrek, T., Erdinç, E. 1990b. Kuzey ve güney haliç projeleri örneği ve tünel açma makinalarının seçimi için bazı yeni kriterler. 2. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu.

Bilgin, N., Phillips, H.R., Yavuz, N. 1992. Kömür damarlarının kazılabilirlik yönünden sınıflandırılması ve ELİ Darkale ocağında sabanlı ayak uygulaması örneği. Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, ss. 31-51.

Bilgin, N. 1994. Yeraltı kazılarında mekanizasyon. I. Ulaşımda Yeraltı Kazıları Sempozyumu, İstanbul, 49-64.

Bilgin, N., Yazıcı, S., Eskikaya, S. 1996. A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages. Proc. Eurock 96, 715-720, Italy-Torino, Balkema.

Bilgin, N., Kuzu, C., Eskikaya, Ş., Özdemir, L. 1997. Cutting performance of jack hammers and roadheaders in ıstanbul metro drivages, World Tunnel Congress 97, Balkema, ISBN 90 5410 8681, 455-460

Bilgin, N., Balcı, C., Acaroglu, Ö., Tunçdemir, H., Eskikaya, Ş. 1999. The performance prediction of a TBM in Tuzla- dragos sewerage tunnel, World Tunnel Congress,Oslo.

Bilgin, N., Dincer, T., Copur, T. 2002. The performance prediction of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages. Tunneling Underground Space Technol, 17:237–247.

Bilgin, N., Dincer, T., Copur, H., Erdogan, M. 2004. Some geological and geotechnical factors affecting the performance of a roadheader in an inclined tunnel. Tunnelling and Underground Space Technology. (19), 629–636.

Bilgin, N., Feridunoğlu, C., Turnac, D. 2005. The performance of a full face tunnel boring machine (TBM) in Tarabya (Istanbul). Underground Space use: Analysis of the past and lessons for the future, Taylor & Francis Group, London.

Bilim, N. 2003. Yeraltı kazı makinaları üzerine kritik bir değerlendirme. Selçuk Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora semineri.

Bilim, N., Özkan, İ. 2007. Uzun ayak kömür kazı arınında Schmidt sertliği ve tavan basıncının zamana bağlı değişimi. I Maden Makineleri Sempozyumu, MMS2007, Kütahya, 10-12 Mayıs, 265-272.

Bölükbaşı, N., Çam, H. 1981. G.L.İ. Tunçbilek linyit madeninde kullanılan galeri açma makinası kazı performansı ile kayaç özelliklerinin karşılaştırılması. 7. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi s.101-111.

Bölükbaşı, N. 1986. Yeraltı kömür ve kayaç kazı mekanizasyonu. O.D.T.Ü Maden Mühendisliği Bölümü, Seminer, No:4, Ankara, 112s.

Breitrick, M. E. 1998. Using a Roadheader for Underground Gold Mining, Mining Engineering, 43-46, March.

Ceylanoğlu, A. 1991. Performance monitoring of electrical power shovels for diggability assessmnet in surface coal mines. Ph.D Thesis, Middle East Technical University, 228p.

Coal Magazine. 2005. World coal production. Coal Magazine issue:7, pp.7-10.

Çınar, M., Feridunoğlu, C. 1994. Tünel açma makineleri (TBM). I. Ulaşımda Yeraltı Kazıları Sempozyumu. İstanbul, 343-367.

Çopur, H. 1991. E.L.İ. Eynez bölgesi kayaçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin mekanize kazı bakımından incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 132s.

Çopur, H., Rostami, J., Özdemir, L., Bilgin, N. 1997. Studies on performance prediction of roadheaders based on field in mining and tunneling projects. Fourth International Symposium on Mine Mechanisation and Automation. Brisbane, Queensland., Australia, Editors: H Gürgenci and M. Hood Published in Cooperative Research Centre for Mining Technology and Equipment (CMTE), July 6-9, Vol 1, oo. A4-1~A4-7.

Çopur, H. 1999. Theoretical and experimental studies of rock cutting with drag bits towards the development of a performance prediction model for roadheaders. Ph.D. Thesis, Colorado School of Mines, 362 pp, USA-Colorado-Golden.

Deere, D.U., Miller, R.P. 1966. Engineering classifications and index properties of intact rock. Technical report no. AFWL-TR 65–116, University of Illinois, p. 300.

Deketh, H.J.R. 1995. Wear of rock cutting tools. Laboratory experiments on the abrasivity of rock. Balkema. Rotterdam, 143s.

DPT, 2006. Dokuzuncu kalkınma planı madencilik özel ihtisas komisyonu enerji hammaddeleri alt komisyonu linyit ve taşkömürü çalışma grubu raporları, 149s.

Ertinghausen, W. 1985. Wear processes in sawing hard Stone. Industrial Diamond Review. 5, 85, 254-258.

Eyüboğlu, A.S. 2000. Diskli kesici soketlerindeki aşınmaların Ankara andezitlerinde incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 132s.

Eyüboğlu, E.M. 2003. Kollu Tip Galeri açma makinelerinde kesici kafa tasarımı. Yerbilimleri Dergisi, cilt.16,sayı.2, 43-50.

Evans, I. 1962. A theory of the basic mechanics of coal ploughing. International Symposium on Mining Research, Pergamon Pres, pp. 761-798.

Evans, I. 1984. A theory of cutting force for point attack picks. International Journal of Mining Engineering, 2, 63-71.

Fowell, R.J., Mc Feat-Smith, I., 1976. Factors influencing the cutting performance of selective. Tunnelling 76. Symposium, London, March, Proceedings of the international symposium IMM., London: 301–309.

Fowel, R.J., Johson, T.S. 1982. Rock classification and assesment for rapid excavation, Proc. Strata Mechanics, University of New Castle Upon Tyne Elsevier Publication, pp. 241-244.

GBG. Structural Services. Material testing and structural investigations-Rebound Hammer Testing. Cambridge, UK.

Ghose, A.K. 1982. Mechanization of roadway drivage in coal mines-progress, needs and priorities, J. of Mines, Metals and Fules, pp. 615-168.

Gong, Q-M., Zhao, J., Jiao, Y-Y. 2005. Numerical modeling of the effects of joint orientation on rock fragmentation by TBM cutters. Tunnelling and Underground Space Technology. 20, 183–191.

Göktan, R.M., Ayday, C.A. 1993. Suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested method with particular reference to rock machineability. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.,30:321–322.

Göktan, R.M., Güneş, N. 2005. Acomparative study of Schmidt hammer testing procedures with reference to rock cutting machine performance prediction. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 42, 466–472.

Hanson, B.D., Roepke, W.W. 1988. Computer modelling of dust and forces for longwall mining system. Bureau of Mines, 1-24.

Hekimoğlu, O. Z. 1986. Galeri açma makinalarında kesici kafa geometrisinin makinanın performanslarına olan etkileri. Türkiye 5. Kömür Kongresi, Zonguldak, 111-141.

Hekimoğlu, O.Z., Fowell, R.J. 1988. Bomlu kazı makinalarının temel özellikleri ve seçimleri. 6. Kömür Kongresi, Zonguldak, 29-52.

Hekimoğlu, O.Z., Ayhan, M. 1994. OAL'deki tamburlu kesicilerin yükleme performanslarının incelenmesi. Madencilik Dergisi, Cilt: 33, 3-13.

Hekimoglu, O.Z., Ozdemir, L. 2004. Effect of angle of wrap on cutting performance of drum shearers and continuous miners. Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A) June Vol. 113.

Hindistan, M.A. 1997. Development of a computer based monitoring system and its usage for power shovel's monitoring. O.D.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora tezi. 139 sayfa.

Howarth, D.F., Adamson. W.R., Berndt. J.R. 1986. Correlation of model tunnel boring and drilling machine performances with rock properties. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.,23:171–175.

Howarth, D.F., Rowlands, J.C. 1987. Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol.20, 57-85.

Hucka, V. 1965. A rapid method for determining the strength of rocks in-situ. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 2:127–134.

Hurt, K.G. 1980. Roadheader cutting heads :a study of the layout of cutting tools and a rational procedure for design. MRDE Report No:90. England.

Hurt, K.G., Morris, C.J., Mac Andrew, K.M. 1982. The design and operation of boom tunneling machine cutting methods. 14th Canadian Rock Mech. Symp., CIM Special 30, 54-58.

ISRM, 1981. Rock characterization testing and monitoring ısrm suggested methods, suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, Part 3, pp. 101-103.

Jeremic, M.L. 1994. Rock mechanics in salt mining, Canada, 530p.

Katz, O., Reches, Z, Roegiers, J.C. 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci., 37:723–728.

Kazi, A., Al-Mansour, Z.R. 1980. Empirical relationship between Los Angeles Abrasion and Schmidt hammer strength tests with application to aggregates around Jeddah. Q. J. Eng. Geol. London; 13: 45–52.

Kidybinski, A. 1968. Rebound number and the quality of mine roof strata. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci., 5:283–292.

Kural, O. 1998. Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri. Editör: Orhan Kural, İstanbul. 785s.

Lundberg, B. 1974. Penetration of rock by conical indenters International Journal Rock Mechanics and Mining Science Geomechanical Abstract, Vol. 11, pp.209-214.

Matthews, J.A, Shakesby, R.A. 1984. The status of the Little Ice Age in southern Norway: relative-age dating of Neoglacial moraines with Schmidt hammer and lichenometry. Boreas, 13:333–346.

Matti, H. 1999. Sandvick rock excavation handbook for civil engineering, Editor: Matti Heiniö, 364s.

Mc Feat-Smith, I., Fowell, R.J. 1977. Rock property testing and cutting performance of tunnelling machines, Tunnels and Tunnelling, 29-32, March.

Mc Feat-Smith, I., Fowell, R.J. 1979. The selection and aplication of roadheaders for rock tunnelling, Proceeding of Rapid Excavation and Tunnelling Conference, 1, 261-269, USA.

Merchand, M.E. 1945. Basic mechanics of metal cutting process. J. App. Mech. Vol. 11, pp. A-168.

Morris, C.J. 1980. Fully mechanized longwall mining. Shandong Scientific and Technical Publishing Co, 172-235.

Neil, D.M., Rostami, J., Özdemir, L., Gertsch, R. 1994. Production estimation tecniques for underground mining using roadheaders. SME/AIME Annual Meeting, , Albuquerque, New Mexico.

Nishimatsu, N. 1972. The mechanics of rock cutting. International Journal Rock Mechanics and Mining Science, 9, 261-270.

Özçelik, Y., Eyüboğlu, A., Kulaksız, S., Engin, İ.C., Özgüven, A. 2000. Sert kayaçlarda diskli kesicilerle kesme işlemlerinde aşağı ve yukarı kesme yöntemlerinin çekilen akım üzerine etkilerinin incelenmesi. V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Isparta, 123–128.

Özdoğan, M. 2003. Elektrikli yerkazı makinalarında özgül enerji tüketimi ve kazı zorluğu sınıflaması. Madencilik, Cilt 42, sayı 2, 3-10.

Özkan, İ. 1995. Modified rock mass rating (M-RMR) system and rooof behavior model. Doktora Tezi., Fen Bilimleri Enstitüsü, O.D.T.U., Ankara.

Özkan, İ., Bilim, N. 2008. A new approach for applying the in-situ Schmidt hammer test on a coal face. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences (Baskıda).

Pakes., G. 1991. Selection of methods, World Tunnelling, 9 Nov., 399-403.

Peng, S.S., Chaing, H.S. 1984. Longwall Mining. Wiley Publication John Wiley and Sons, New York.

Poole, R.W, Farmer, I.W. 1980. Consistency and repeatability of Schmidt hammer rebound data during field testing. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.,7:167–71.

Potts, E.L.J., Shuttle worth, P. 1959. A study of ploughability of coal with special reference to the effects of blade shape, direction of planning to the cleat, planning speed and influence of water infusion. Trans. Inst. Min. Engrs., No: 117, pp. 519-553.

Ranman, K.E. 1985. A model describing rock cutting with conical picks. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol.18, pp.131-140.

Rostami, J., Ozdemir, L., Neil, D.M. 1994. Performance prediction: A key issue in mechanical hard rock mining. Mining Engineering, 1263-1267, November.

Rostami, J and Ozdemir, L., 1994. Roadheaders performance optimization for mining and civil construction, Proceedings of the 13th annual technical conference, Institute of Shaft Drilling Technology (ISDT), 18-21, Las Vegas, Nevada, April.

Roxborough, F.F., Rispin. 1973. A laboratory investigation into the application of picks for mechanized tunnel boring in the lower chalk. The Mining Engineer, October, pp. 1-13.

Saltoğlu, S. 1976. Madenlerde hazırlık ve kazı işleri, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, ss.349.

Sapigni, M., Berti, M., Bethaz, E., Busillo, A., Cardone, G. 2002. TBM performance estimation using rock mass classifications. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 39, 771–788.

Schneider, H. 1988. Criteria for selecting a boom type roadheader. Mining Magazine, 183-187.

Shahriar, K. 1988. Kayaçların kazılabilirlik ve jeoteknik özelliklerini kollu galeri açma makinalarının kazı hızları üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Doktora tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 141s.

Smith, I.M., Fowell, R.J. 1979 The selection and application of roadheaders for rock tunnelling. proceeding of rapid excavation tunnelling Conferance AIME, Atlanta USA, 261-277.

Soiltest Inc., 1976. Operating instructions-concrete test hammer. Evanston, IL.

Sumner, P., Nel, W. 2002. The effect of rock moisture on Schmidt hammer rebound: tests on rock samples from Marion Island and South Africa. Earth Surf Process Landforms, 27:1137–1142.

Tatar, Ç, 1992. “Maden Makinaları I”, Dokuz Eylül Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 227, İzmir, s. 278.

Tatar, Ç., Özfirat, M.K. 2003. Yeraltı maden makinaları ve mekanizasyonu. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi. İzmir, 276s.

Taylor, C.D., Thimons, E.D., Kovscek, P.D. 1989. Evaluation of water-jet-assisted cutting capability on longwall shearers. Bureau of mines, RI-9270, pp.1-14.

Tiryaki, B. 1994. Mekanik kazıcılarda kesici kafa dizaynının optimizasyonu. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 108s.

Tiryaki, B. 2000. Keski dizilim parametrelerinin tamburlu kesici-yükleyicilerin performansına etkilerinin incelenmesi. Yerbilimleri, No 22, 237-246.

Tiryaki, B., Dikmen, A.Ç., Kadıoğlu, Y.K., Özbilgin, D., Tiryaki, N., Bölükbaşı, N. 2003. Kayaç kesmede keski performansının tahmini için doku kaysayısı yaklaşımının kullanılabilirliği. Madencilik Dergisi, Cilt 42, Sayı 2, 27-43.

TS 6806. 1989. Galeri açma makinaları-sınıflandırma ve özellikler. Türk Standartları Enstitüsü. 4s.

Tunçdemir, H., Bilgin, N. 2002. Kollu galeri açma makinelerinin cevher kazısında kullanımının araştırılması. İ.T.Ü. Dergisi, Mühendislik. Cilt:1, Sayı:2, 14–26.

Turan, H.H. 2004a. Eickhoff SL 300 kesici-yükleyici bakımcı eğitimi notları. Park Teknik Çayırhan Linyit İşletmesi, 17s.

Turan, H.H. 2004b. Eickhoff SL 500 kesici-yükleyici operatör eğitimi notları. Park Teknik Çayırhan Linyit İşletmesi, 4s.

Turan, 2005. Çayırhan linyit işletmesinde işletilmekte olan A, B, C ve F sektörlerinde kullanılan tambur şekilleri gösteren notlar. Park Teknik Çayırhan Linyit İşletmesi, 4s.

USBR. 1998. Engineering geology field manual. Field index tests. Vol. 1,. pp. 111–112.

Ünal, E., Özkan, I., Cakmakcı, G., 2001. Modelling the behaviour of longwall coal mine gate roadways subjected to dynamic loading. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol:38, No:2, February 2001, pp.181-197.

Whittaker, B.N. 1974. An apraisal of strata control practice. The Mining Engineer, Vol. 166, pp. 9-24.

Yağmurlu, F., Helvacı, C., İnci, U. 1988. Beypazarı linyit yataklarının jeolojik konumu ve geometrik özellikleri. Türkiye 6. Kömür Kongresi, Zonguldak, 529–548.

Young, R.P., Fowell. R.J. 1978. Assesing rock discontinuities. Tunnels Tunnelling. June; 45–48.

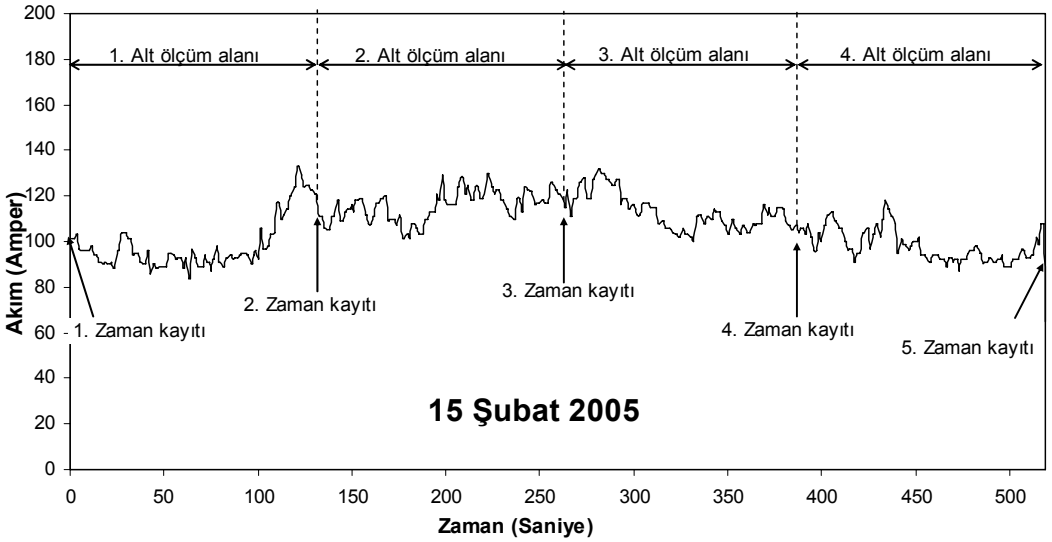
www.eickhoff-bochum.de, 2007

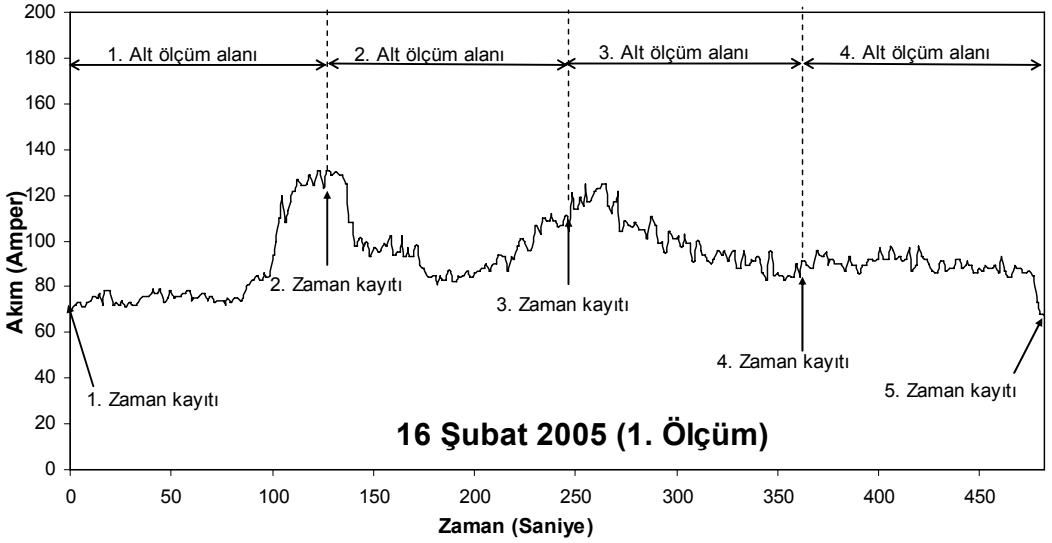
www.dosco.co.uk, 2007

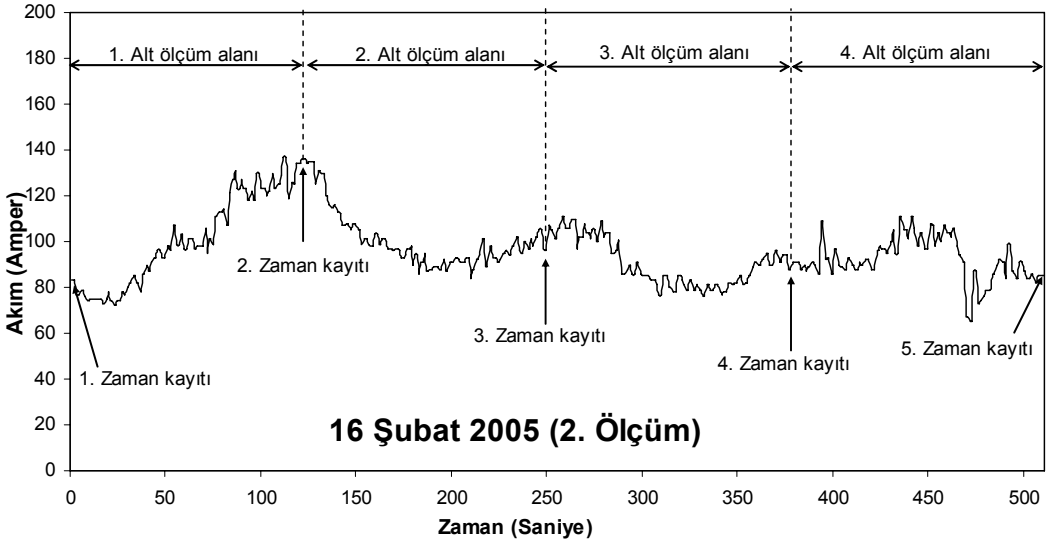
www.lovat.com, 2007

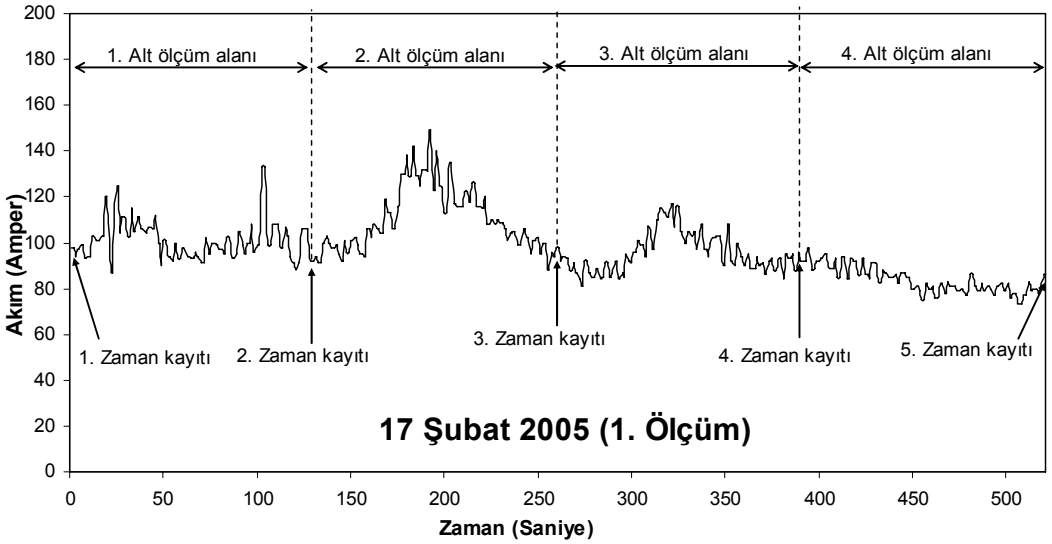
EK-I

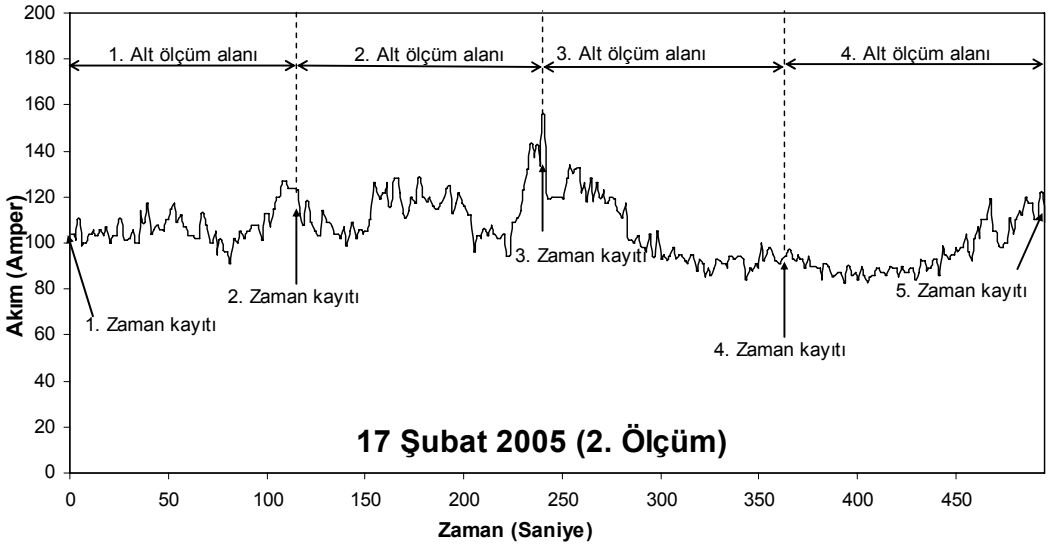
Ana ölçüm alanında gerçekleştirilen ölçüme ait tamburlu kesici-yükleyicinin çektiği akım değerleri

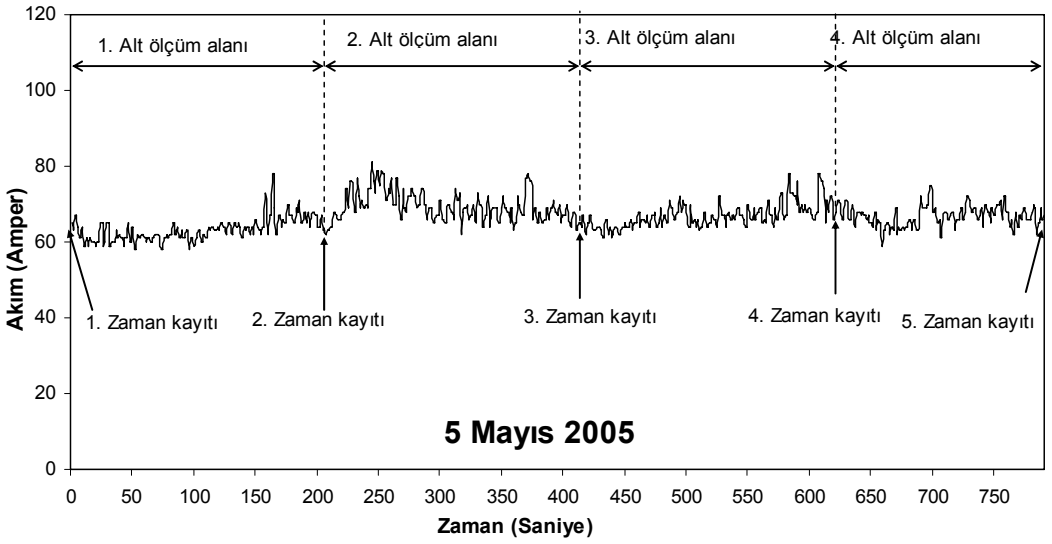

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
15 Şubat 2005
Zaman (Saniye)

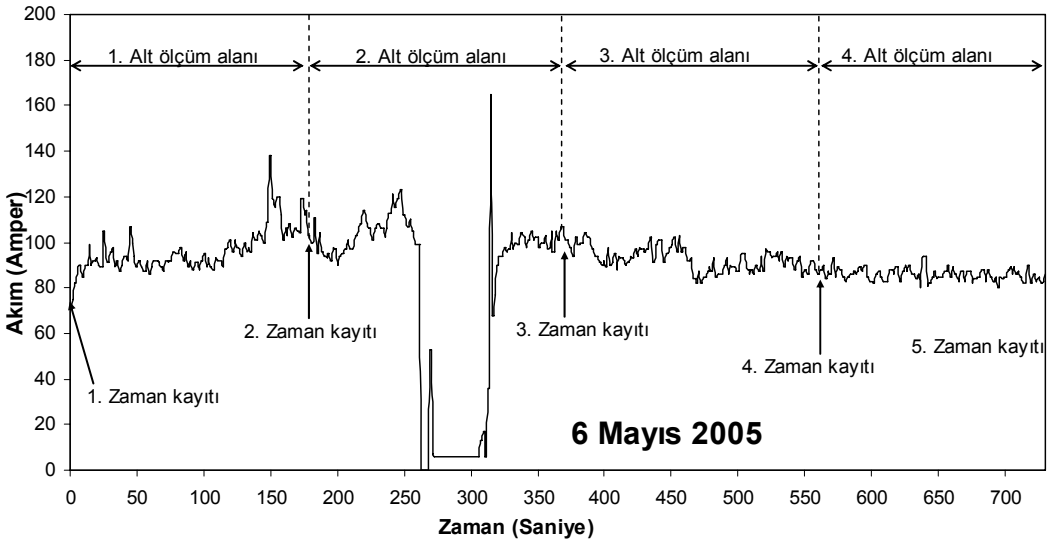

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
16 Şubat 2005 (1. Ölçüm)
Zaman (Saniye)

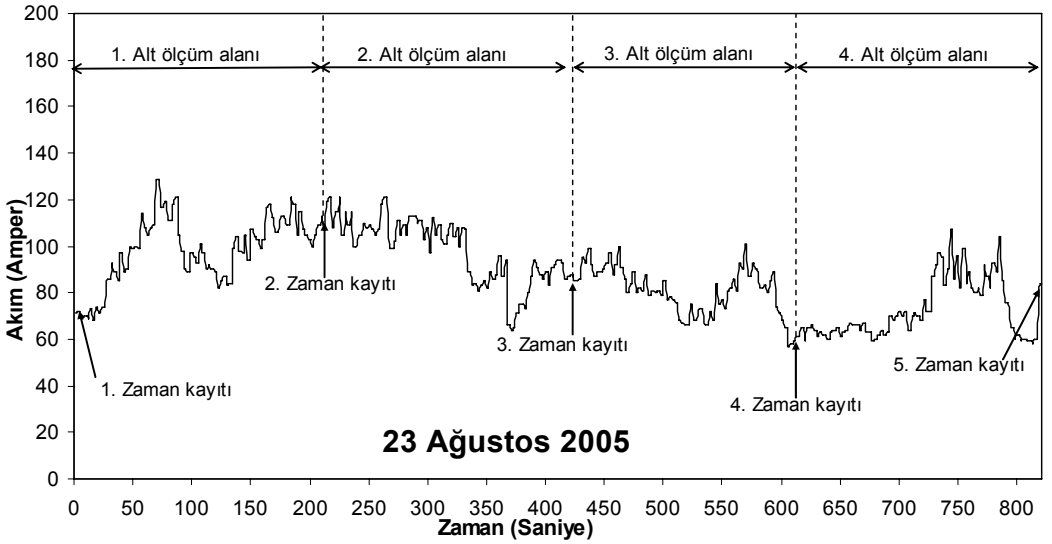

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
16 Şubat 2005 (2. Ölçüm)
Zaman (Saniye)

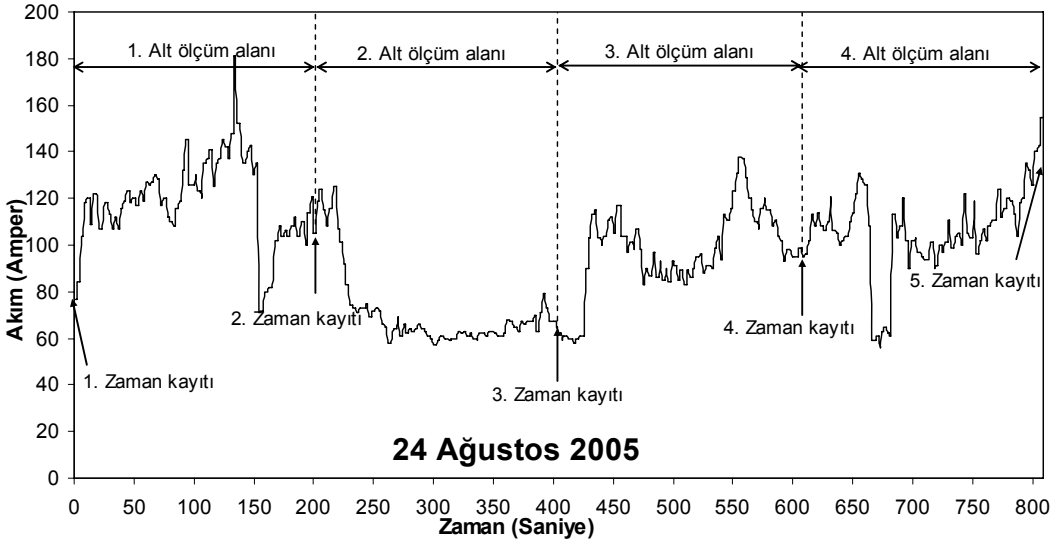

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
17 Şubat 2005 (1. Ölçüm)
Zaman (Saniye)

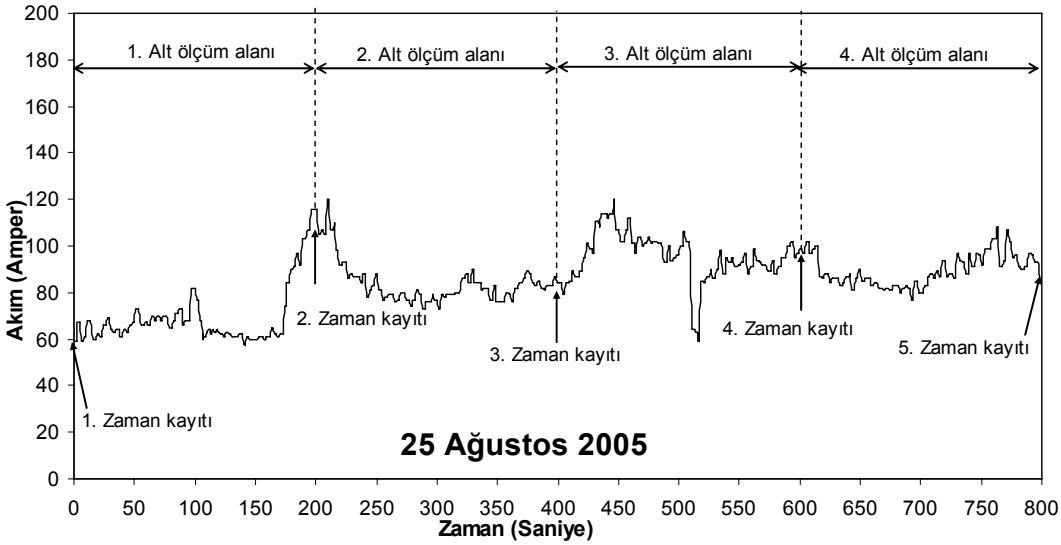

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
17 Şubat 2005 (2. Ölçüm)
Zaman (Saniye)

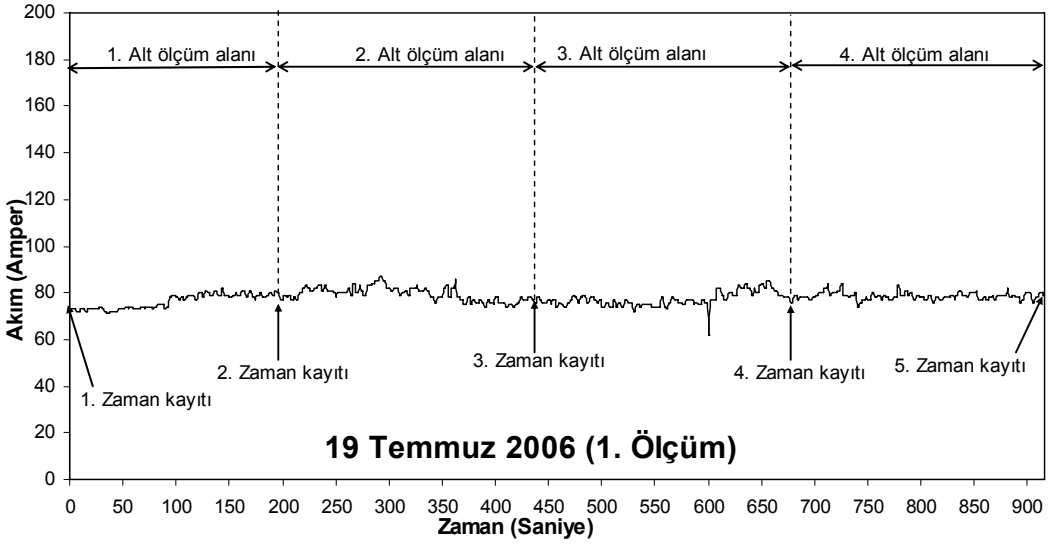

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
5 Mayıs 2005
Zaman (Saniye)

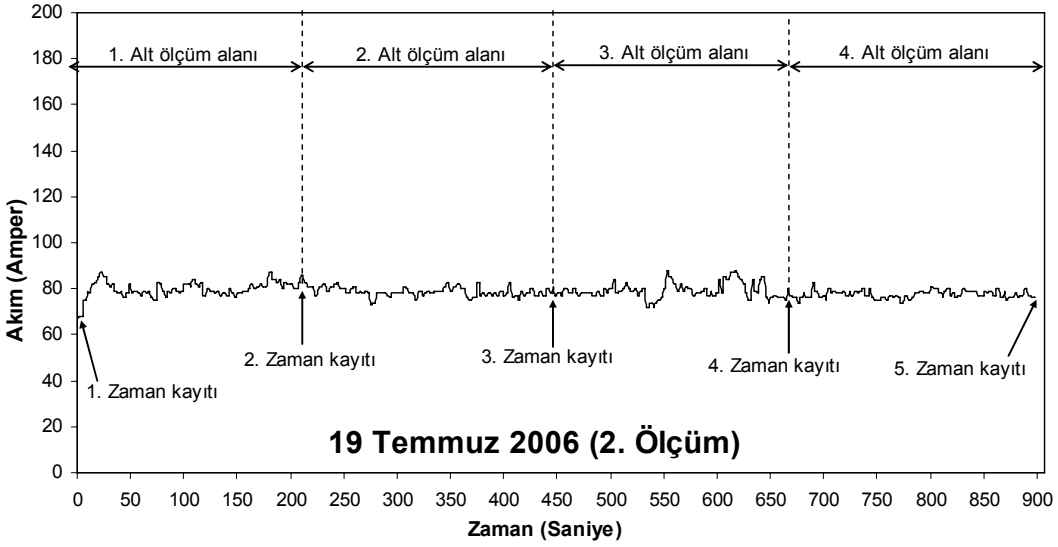

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
Zaman (Saniye)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
6 Mayıs 2005

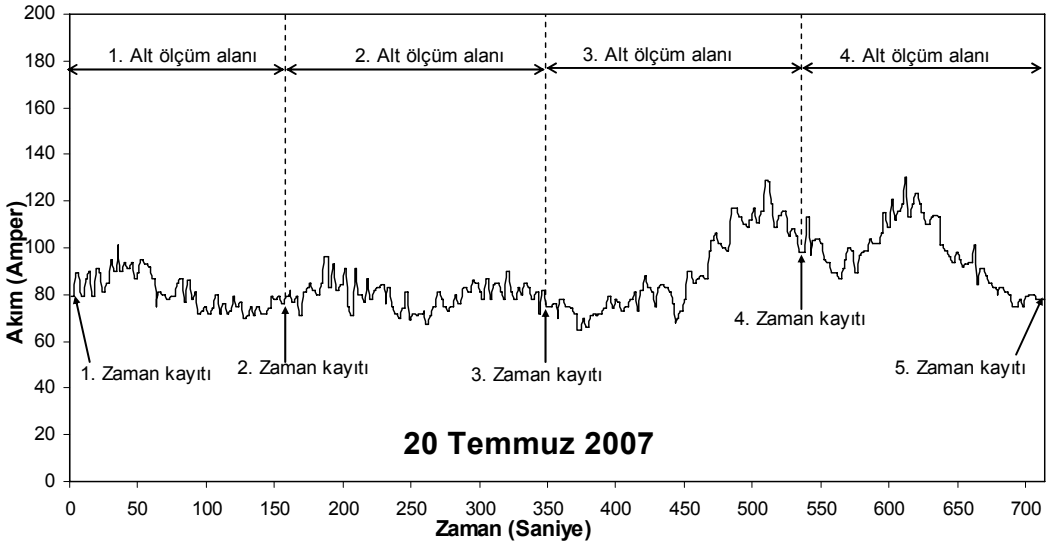

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
Zaman (Saniye)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
23 Ağustos 2005


1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
Zaman (Saniye)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
24 Ağustos 2005


1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
25 Ağustos 2005
Zaman (Saniye)

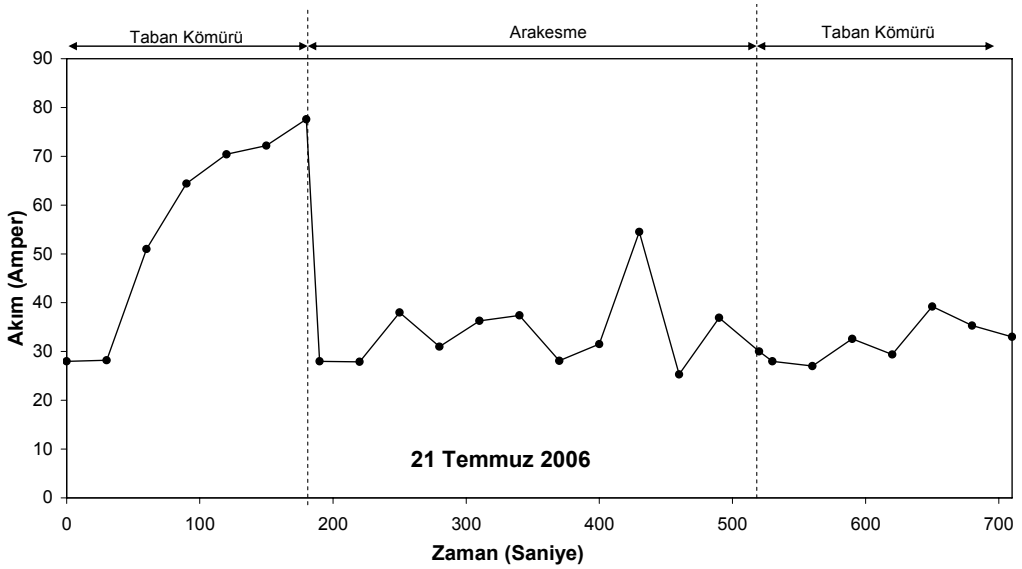

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
19 Temmuz 2006 (1. Ölçüm)
Zaman (Saniye)

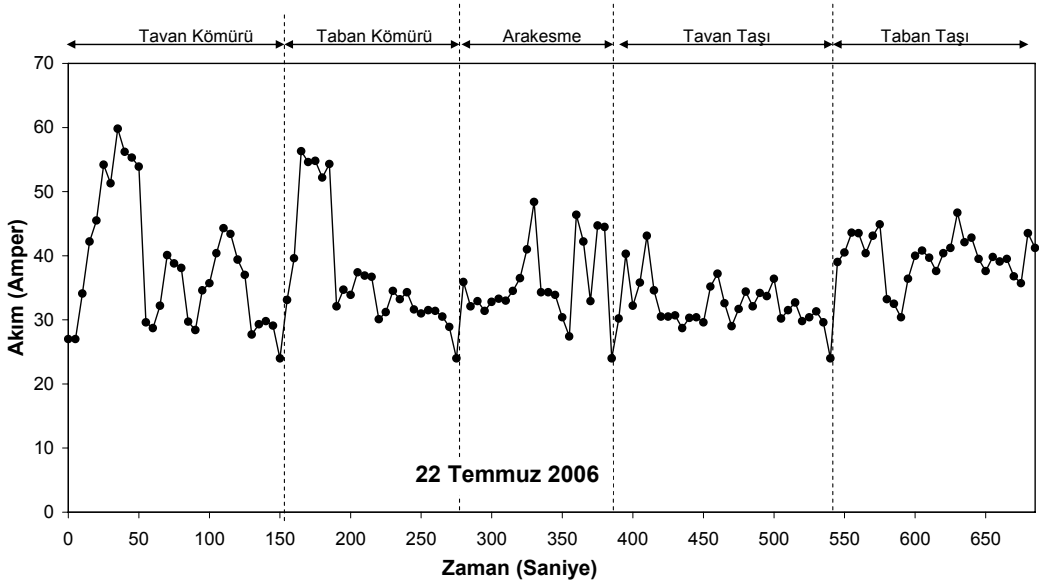

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
19 Temmuz 2006 (2. Ölçüm)
Zaman (Saniye)

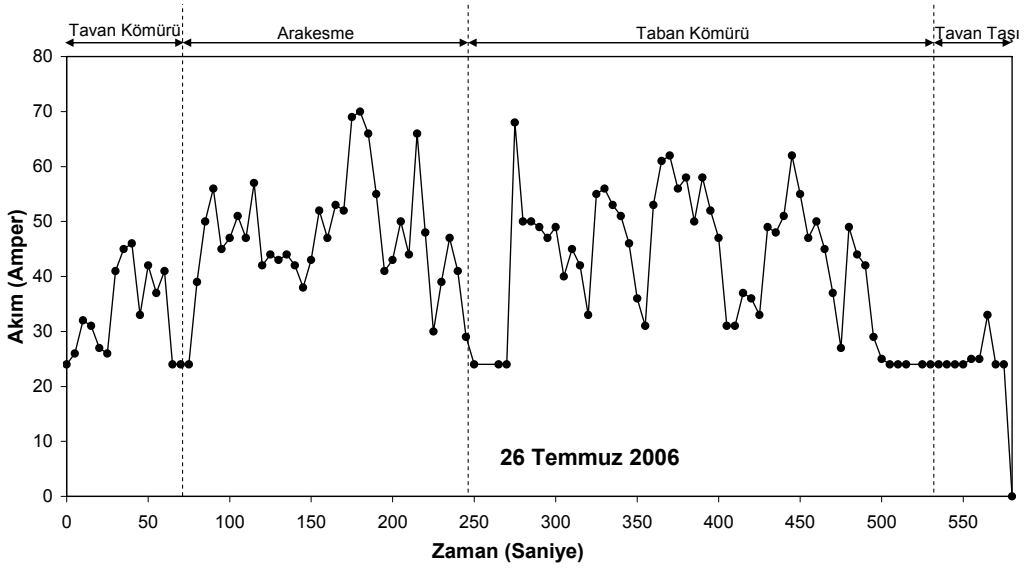

1. Alt ölçüm alanı
2. Alt ölçüm alanı
3. Alt ölçüm alanı
4. Alt ölçüm alanı
Akım (Amper)
1. Zaman kayıtı
2. Zaman kayıtı
3. Zaman kayıtı
4. Zaman kayıtı
5. Zaman kayıtı
20 Temmuz 2007
Zaman (Saniye)

EK-2

Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının galeri arını üzerinde kazı yaparken çektiği akım değerlerinin değişimi


Taban Kömürü
Arakesme
Taban Kömürü
Akım (Amper)
21 Temmuz 2006
Zaman (Saniye)


Tavan Kömürü
Taban Kömürü
Arakesme
Tavan Taşı
Taban Taşı
Akım (Amper)
22 Temmuz 2006
Zaman (Saniye)


Tavan Kömürü
Arakesme
Taban Kömürü
Tavan Taşı
Akım (Amper)
26 Temmuz 2006
Zaman (Saniye)