

**EICKHOFF SL 300'ÜN ÇAYIRHAN YERALTI KÖMÜR İŞLETMELERİ E VE
H SAHALARINDAKİ ÜRETİM PERFORMANSLARININ KÖMÜR VE
YANKAYACIN FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİ GÖZ ÖNÜNE
ALINARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevin VATANSEVER

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekrem ARITAN

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2019

Bu tez çalışması 17.FEN.BİL.57 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**EICKHOFF SL 300'ÜN ÇAYIRHAN YERALTI KÖMÜR
İŞLETMELERİ E VE H SAHALARINDAKİ ÜRETİM
PERFORMANSLARININ KÖMÜR VE YANKAYACIN FİZİKO-
MEKANİK ÖZELLİKLERİ GÖZ ÖNÜNE ALINARAK
İNCELENMESİ**

Sevin VATANSEVER

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekrem ARITAN

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Sevin VATANSEVER tarafından hazırlanan “Eickhoff SL 300’ün Çayırhan Yeraltı Kömür İşletmeleri E ve H Sahalarındaki Üretim Performanslarının Kömür ve Yankayacın Fiziko-Mekanik Özellikleri Göz Önüne Alınarak İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 02/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekrem ARITAN

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZŞEN
Konya Teknik Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bil. Fak.

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Erkan ÖZKAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekrem ARITAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02/05/2019


Sevin VATANSEVER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EICKHOFF SL 300'ÜN ÇAYIRHAN YERALTI KÖMÜR İŞLETMELERİ E VE H SAHALARINDAKİ ÜRETİM PERFORMANSLARININ KÖMÜR VE YANKAYACIN FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİ GÖZ ÖNÜNE ALINARAK İNCELENMESİ

Sevin VATANSEVER

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekrem ARITAN

Bir ülkenin gelişmişlik düzeyini en iyi gösteren parametreler kişi başına düşen enerji üretim ve tüketim miktarlarıdır. Gelişmekte olan ülkeler arasında sayılan Türkiye’de, enerji tüketim miktarları rakibi olan ülkelere göre düşük seviyelerde kalmaktadır. Ülkemizde enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu hidroelektrik, linyit kömürüne dayalı termik santraller ve doğalgaz ile sağlanırken, artan ihtiyaca rağmen enerjinin büyük çoğunluğu diğer ülkelerden temin edilmektedir. Bununla beraber büyük linyit rezervlerine sahip olan Türkiye, teknolojiadaki dışa bağımlılığı da bir hayli fazla olduğu için bu kaynaklarını verimli şekilde kullanamamıştır.

Hedefi geliştirmekte olan ülkeler statüsünden gelişmiş ülkeler statüsüne çıkmak olan Türkiye, bunu gerçekleştirebilmek için muhakkak kendi öz kaynaklarını en verimli şekilde kullanmasını öğrenmek zorundadır. Bu yüzden ülkemiz dünyada her sektörde olduğu gibi, yer altı kömür madenciliğinde de mekanizasyondaki gelişmelere kayıtsız kalmamalıdır. Günümüzde yer altı kömür madenciliğinde kazıcı makina kullanımı giderek artmaktadır. Mekanize kazı için ilk yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle ihtiyaca uygun bir kazıcının seçimi büyük önem arz etmektedir. Yanlış kazı makinası seçiminin düşük verimlilik ve büyük zaman kaybına neden olacağı unutulmamalıdır. Uygun kazı makinası seçilebilmesi ve seçildikten sonra kazı makinasının kullanımda değişen kazı şartlarına adapte edilebilmesi için, kazılan kömürün fiziko-mekanik

özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Çayırhan kömür havzasında kullanılan kesici-yükleyici makinaların performans analizleri için yapılan laboratuvar çalışmaları, istatistiki analizler ve matematiksel yaklaşımlar ele alınmıştır. Çayırhan kömür havzasında faaliyet gösteren E ve H sektörlerindeki sırasıyla E05 ve H03 kodlu üretim panoları bu çalışmanın araştırma sahaları olarak belirlenmiştir. E05 ve H03 üretim panolarında kazı çalışmalarının yürütüldüğü 220 m uzunluğundaki uzun ayak kazı arınının 44 m uzunluğundaki bölgesinden alınan numuneler ile deneysel ve istatistiksel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ile kömürün fiziko-mekanik özelliklerinin üretim performansı üzerindeki etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla E05 panosundan alınan numuneler ile 160 adet Schmidt sertlik verisi, 95 adet nokta yükleme (0^0) verisi, 118 adet nokta yükleme (90^0) verisi, 80 adet tane boyut analizi (d_{50}) verisi, 8 adet kalori (kcal/kg) verisi ve 8 adet yüzey alanı (m^2/kg) verisi elde edilmiştir. Bununla beraber E05 panosundan matematiksel hesaplamalar ile 8 adet net kazı hızı (NKH, m^3/h) verisi, 8 adet tambur gömülme miktarı (cm) verisi, 8 adet ayak eğimi (0) verisi, 8 adet pano eğimi (0) verisi, 8 adet makine yürüyüş hızı (m/h) verisi ve 8 adet öğütülebilirlik (%) verisi elde edilmiştir. Ayrıca H03 panosundan alınan numuneler ile 160 adet Schmidt sertlik verisi, 98 adet nokta yükleme (0^0) verisi, 111 adet nokta yükleme (90^0) verisi, 80 adet tane boyut analizi (d_{50}) verisi, 8 adet kalori (kcal/kg) verisi ve 8 adet yüzey alanı (m^2/kg) verisi elde edilmiştir. Bununla beraber H03 panosundan matematiksel hesaplamalar ile 8 adet net kazı hızı (NKH, m^3/h) verisi, 8 adet tambur gömülme miktarı (cm) verisi, 8 adet ayak eğimi (0) verisi, 8 adet pano eğimi (0) verisi, 8 adet makine yürüyüş hızı (m/h) verisi ve 8 adet öğütülebilirlik (%) verisi elde edilmiştir. Sonrasında ise elde edilen bu deneysel ve matematiksel veriler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar ile farklı kazı şartlarındaki değişen kazı performanslarına açıklama getirilmeye çalışılmıştır.

2019, xii + 88 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fiziko-mekanik özellik, Mekanize kazı, Kazılabilirlik, Net kazı hızı

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF PRODUCTION PERFORMANCE OF EICKHOFF SL 300 IN ÇAYIRHAN UNDERGROUND COAL WORKS E AND H FIELDS CONSIDERING PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF COAL AND SIDE ROCK

Sevin VATANSEVER

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Ali Ekrem ARITAN

The parameters that best show the development level of a country are the energy production and consumption amounts per capita. considered among developing countries in energy consumption in Turkey remains low compared to countries that are competitors. While the majority of energy demand in our country is provided by hydroelectric, lignite-based thermal power plants and natural gas, the majority of energy is supplied from other countries despite the increasing need. However, having the largest lignite reserves in Turkey, the foreign dependence on technology also could use these resources efficiently because it is a great deal more.

The developing countries whose goal is to go from the status of Turkey to the status of developed countries, it is certainly in order to achieve the most efficient way to learn to use their own resources. Therefore, our country should not be indifferent to developments in mechanization in underground coal mining as in every sector in the world. Nowadays, the use of digging machines is increasingly increasing in underground coal mining. Due to the high investment cost for the mechanized excavation, the selection of a suitable digger is very important. It should be noted that the choice of the wrong excavation machine will result in low efficiency and a great loss of time. The physico-mechanical properties of the excavated coal must be well known in order to be able to choose the suitable excavation machine and to adapt the excavating machine to the changing excavation conditions in use.

In this master's thesis, laboratory studies, statistical analyzes and mathematical approaches for performance analysis of cutter-loader machines used in Çayırhan coal basin were discussed. E05 and H03 production boards in E and H fields of Çayırhan coal basin were determined as research areas of this study. Experimental and statistical studies were carried out with the samples taken from the 44 m long area of the 220 m long long foot excavation bee, where the excavation works were carried out on the E05 and H03 production panels. With the data obtained, the effects of the physico-mechanical properties of coal on the production performance have been tried to be determined. For this purpose, 160 Schmidt hardness data, 95 dot loading (0^0) data, 118 dot loading (90^0) data, 80 particle size analysis (d_{50}) data, 8 calorie (kcal/kg) data and 8 surface area (m^2/kg) data were obtained. In addition, 8 net excavation speed (NKH, m^3/h) data, 8 drum burying quantity (cm) data, 8 foot slope (E05) data, 8 pcs slope (0) data, 8 machine walking speed (m/h) data and 8 grindability (%) data have been obtained. In addition, the samples taken from H03 board with 160 Schmidt hardness data, 98 point loading (0^0) data, 111 point loading (90^0) data, 80 particle size analysis (d_{50}) data, 8 calorie (kcal/kg) data and 8 surface area (m^2/kg) data were obtained. In addition, H03 board mathematical calculations with 8 net excavation speed (NKH, m^3/h) data, 8 drum burying quantity (cm) data, 8 foot slope (0) data, 8 pcs slope (0) data, 8 machine walking speed (m/h) data and 8 grindability (%) data have been obtained. Then, these experimental and mathematical data were compared with each other. With these comparisons, it has been tried to be brought into account the changing excavation performance in different excavation conditions.

2019, xii + 88 pages

Keywords: Physico-mechanical properties, Mechanized excavation, Excavability, Net excavation speed

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi, fikir ve tecrübelerinden faydalandığım, birlikte çalışmaktan gurur duyduğum, insani ve ahlaki değerlerini örnek aldığım değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekrem ARITAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında tecrübeleri, fikirleri ve analizleri ile ufkumu açan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi M. Fatih CAN'a teşekkür ederim.

Deney verilerini yorumlamam sırasında akademik tecrübelerini benimle paylaşarak alan dışı konularda bilgi sahibi olmamı sağlayan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Gültekin KAVUŞAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışması yapabilmem, numuneleri temin edebilmem ve gerekli verileri elde edebilmemde bana yardımlarını eksik etmeyen Park Termik Çayırhan Yeraltı İşletmeleri Müdürü Sayın Faik USTABAŞ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında işyerimden gerekli izinleri veren Park Termik İş Güvenliği Birimi Başmühendisi Sayın Mehmet ERBEK'e teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalışmamı, 17.FEN.BİL.57 numaralı proje ile maddi olarak destekleyen Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi'ne (BAPK) desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi her türlü desteğini esirgemeyen, sabırla yanımda olup beni çalışmam için motive eden, bugünlere gelmemde büyük emeği olan babam Yücel VATANSEVER'e, annem Şengül VATANSEVER'e ve kardeşim Metin Can VATANSEVER'e teşekkür ederim.

Sevin VATANSEVER

AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR.....	3
2.1 Çalışma Bölgesinin Konumu	3
2.1.1 Bölgesel Jeoloji	3
2.2 Madencilikte Kazı İşleri.....	6
2.2.1 Mekanize Kazı.....	7
2.2.2 Kayaçların Kazılabilirliği	9
2.2.3 Kömürlerin Kazılabilirliği	9
2.2.4 Mekanik Kazıda Kullanılan Kazıcı Makinalar	13
2.2.4.1 Tamburlu Kesici-Yükleyici Makinalar	14
2.3 Mekanik Kazıcılar İçin Performans Tahmini	15
2.3.1 Tamburlu Kesicilerin Kazı Performansını Etkileyen Faktörler.....	18
2.3.1.1 Kullanılan Kesici Uçlar.....	18
2.3.1.2 Kesici Uçların Dizilimi	19
2.3.1.3 Tambur Dönüş Hızı ve İlerleme Hızı.....	19
2.3.1.4 Kesim Derinliği.....	20
2.3.1.5 Tambur Çapı	20
2.3.1.6 Damar Sertliği.....	20
2.3.1.7 Su Basıncı	20
2.3.1.8 Kesim Sırasında Oluşan Titreşimler	21
2.3.1.9 Ayakta Arın Eğimlerinin Etkisi	21
2.3.2 Tamburlu Kesicilerin Yükleme Performansını Etkileyen Faktörler.....	22
2.3.3 Tamburlu Kesicilerin Çalışma Koşullarına Göre Performanslarının	

İncelenmesi	23
2.3.4 Keski Dizilim Parametresinin Tamburlu Kesici Performansına Etkisi	25
3. MATERYAL ve METOT	26
3.1 Materyal	26
3.2 Metot.....	29
3.2.1 Schmidt Sertliği	30
3.2.2 Nokta Yükleme Dayanımı	33
3.2.3 Tane Boyut Analizi.....	35
3.2.4 Kalori Tayini	37
3.2.5 Yüzey Alanı Ölçümü	38
3.2.6 Net Kazı Hızı	38
3.2.7 Tambur Gömülme Miktarı	40
3.2.8 Ayak Eğimi.....	41
3.2.9 Pano Eğimi	41
3.2.10 Makine Yürüyüş Hızı	42
3.2.11 Öğütülebilirliğin Kazı Performansına Etkisi	43
4. BULGULAR	44
4.1 Schmidt Sertliği	44
4.2 Nokta Yükleme Dayanımı Deneyi.....	45
4.3 Tane Boyut Analizi	48
4.4 Kalori Tayini.....	51
4.5 Yüzey Alanı Ölçümü	52
4.6 Net Kazı Hızı	54
4.7 Tambur Gömülme Miktarı.....	55
4.8 Ayak Eğimi	56
4.9 Pano Eğimi.....	58
4.10 Makine Yürüyüş Hızı.....	59
4.11 Öğütülebilirliğin Kazı Performansına Etkisi	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
5.1 Sonuçlar	65
5.2 Öneriler	73
6. KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	80
EKLER	81

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

dk	Dakika
°	Derece
dev	Devir
G	Güç
g	Gram
kg	Kilogram
kcal	Kilokalori
km	Kilometre
km ²	Kilometre kare
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
MPa	Megapascal
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
ml	Mikrolitre
µm	Mikrometre
mg	Miligram
mm	Milimetre
d ₅₀	Ortalama tane boyutu
R ²	Regresyon değeri
h	Saat
cm	Santimetre
cm ²	Santimetre kare
sinα	Sinüs alfa
%	Yüzde

Kısaltmalar

ABK	Ayak başı kotu
AKK	Ayak kuyruğu kotu
ASTM	American Society for Testing and Materials
A.Ş.	Anonim Şirketi
GD	Güney doğu
GOAİM	Günlük ortalama ayak ilerleme miktarı
GOKS	Günlük ortalama kesim sayısı
ISRM	International Society for Rock Mechanics
KB	Kuzey batı
KF	Kot farkı
NKH	Net kazı hızı
NYD	Nokta yükleme dayanımı
OAK	Ortalama ayak kotu
OAL	Orta Anadolu Linyitleri
OAİM	Ortalama ayakbaşı ilerleme miktarı
OAKM	Ortalama ayak kuyruğu ilerleme miktarı

Kısaltmalar (Devam)

OGTGM	Ortalama günlük tambur gömülme miktarı
Ort.	Ortalama
PAİ	Alt taban yolundaki ilk poligon noktası
PAİS	Alt taban yolundaki ilk poligon stampı
PAS	Alt taban yolundaki son poligon noktası
PASS	Alt taban yolundaki son poligon stampı
PÜİ	Üst taban yolundaki ilk poligon noktası
PÜİS	Üst taban yolundaki ilk poligon stampı
PÜS	Üst taban yolundaki son poligon noktası
PÜSS	Üst taban yolundaki son stamp noktası
SE	Spesifik enerji
Tep	Ton eşdeğer petrol
TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
UAU	Uzunayak uzunluğu
ÜYKM	Üretim yapılan kömür miktarı
vd.	Ve diğerleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Akım şeması.....	30
Şekil 4.1 E05 panosuna ait Schmidt sertliği-net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişki.	44
Şekil 4.2 H03 panosuna ait Schmidt sertliği-net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişki.....	45
Şekil 4.3 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-nokta yükleme (0^0) arasındaki ilişki. ..	46
Şekil 4.4 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-nokta yükleme (90^0) arasındaki ilişki. 47	
Şekil 4.5 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-nokta yükleme (0^0) arasındaki ilişki... 47	
Şekil 4.6 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-nokta yükleme (90^0) arasındaki ilişki. 48	
Şekil 4.7 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-tane boyutu (d_{50}) arasındaki ilişki.....	50
Şekil 4.8 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-tane boyutu (d_{50}) arasındaki ilişki.	50
Şekil 4.9 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-kalori tayini (kcal/kg) arasındaki ilişki.	51
Şekil 4.10 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-kalori tayini (kcal/kg) arasındaki ilişki.	52
Şekil 4.11 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-yüzey alanı (m^2/kg) arasındaki ilişki. 53	
Şekil 4.12 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-yüzey alanı (m^2/kg) arasındaki ilişki. 54	
Şekil 4.13 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-tambur gömülme miktarı (cm) arasındaki ilişki.	55
Şekil 4.14 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-tambur gömülme miktarı (cm) arasındaki ilişki.	56
Şekil 4.15 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-ayak eğimi (0^0) arasındaki ilişki.	57
Şekil 4.16 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-ayak eğimi (0^0) arasındaki ilişki.....	57
Şekil 4.17 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-pano eğimi (0^0) arasındaki ilişki.....	58
Şekil 4.18 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-pano eğimi (0^0) arasındaki ilişki.	59
Şekil 4.19 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-makine yürüyüş hızı (m/h) arasındaki ilişki.	60
Şekil 4.20 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-makine yürüyüş hızı (m/h) arasındaki ilişki.	61
Şekil 4.21 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-öğütülebilirliğin (%) kazı performansına etkisi arasındaki ilişki.	63
Şekil 4.22 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-öğütülebilirliğin (%) kazı performansına etkisi arasındaki ilişki.	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Kayaç kesilebilirliği ile ilgili sabit, değişken ve yarı değişken parametreler	8
Çizelge 2.2 Düşük ve yüksek su basınçlı çalışma durumlarındaki havadaki solunabilir toz	21
Çizelge 2.3 Eğim yukarı ve eğim aşağı ortalama makina ilerleme hızlarının karşılaştırılması.....	23
Çizelge 3.1 E05 ve H03 panoları hakkında genel bilgiler.....	27
Çizelge 3.2 ASTM (2005) ve ISRM (1981) standartlarının karşılaştırılması	31
Çizelge 3.3 Uygulanmakta olan Schmidt test metotlarından bazıları	31
Çizelge 4.1 E05 ve H03 panolarına ait ortalama Schmidt sertliği ölçüm sonuçları.....	44
Çizelge 4.2 E05 ve H03 panolarına ait 0° ve 90° açıyla uygulanan ortalama nokta yükleme dayanımı (Mpa) sonuçları.....	46
Çizelge 4.3 E05 panosuna ait tane boyut analizi (µm) sonuçları.....	49
Çizelge 4.4 H03 panosuna ait tane boyut analizi (µm) sonuçları.....	49
Çizelge 4.5 E05 ve H03 panolarına ait d ₅₀ tane boyut analizi (µm) sonuçları.....	49
Çizelge 4.6 E05 ve H03 panolarına ait kalori tayini (kcal/kg) sonuçları	51
Çizelge 4.7 E05 ve H03 panolarına ait yüzey alanı ölçüm (m ² /kg) sonuçları.....	53
Çizelge 4.8 E05 ve H03 panolarına ait net kazı hızı (NKH, m ³ /h) sonuçları.....	54
Çizelge 4.9 E05 ve H03 panolarına ait ortalama tambur gömülme miktarı (cm) sonuçları	55
Çizelge 4.10 E05 ve H03 panolarına ait ortalama ayak eğimi (°) sonuçları.....	56
Çizelge 4.11 E05 ve H03 panolarına ait ortalama pano eğimi (°) sonuçları	58
Çizelge 4.12 E05 ve H03 panolarına ait tamburlu kesici-yükleyici yürüyüş hızı (m/h) sonuçları.....	60
Çizelge 4.13 E05 panosuna ait öğütülebilirliğin (%) kazı performansına etkisi sonuçları	61
Çizelge 4.14 H03 panosuna ait öğütülebilirliğin (%) kazı performansına etkisi sonuçları	62
Çizelge 4.15 E05 ve H03 panolarına ait tüm karşılaştırma parametrelerine ait regresyon ilişkileri.....	64

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 2.1 Çayırhan bölgesinin haritası	3
Resim 2.2 Çayırhan havzasının stratigrafik kesiti.....	4
Resim 2.3 L Tipi kesici-yükleyici makinanın parçaları	15
Resim 2.4 L Tipi kesici-yükleyici makina ve bölümleri.....	15
Resim 2.5 Kömür damarında tamburların normal olarak çalışma konumları.....	24
Resim 2.6 Arakesmenin tabana yakın olması durumunda tamburların çalışma konumları	24
Resim 2.7 Arakesmenin tavana yakın olması durumunda tamburların çalışma konumları	25
Resim 3.1 Çayırhan havzasında faaliyet gösteren tam mekanize yeraltı maden ocağı..	26
Resim 3.2 Kömür kazı arınındaki ana ölçüm bölgesi.	28
Resim 3.3 Doğal nemlerini muhafaza etmeleri için esnek filme sarılan blok numuneler	29
Resim 3.4 Sertlik ölçümü deneylerinde kullanılan L tipi Schmidt çekici.....	32
Resim 3.5 Schmidt sertlik ölçüm deneylerinin yapılışından bir kesit.....	33
Resim 3.6 Nokta yükleme deneyleri için gereken numunelerin karot makinesiyle alınışı	34
Resim 3.7 Nokta yükleme deneyi için esnek film ile muhafaza edilen kömür numuneleri	34
Resim 3.8 Nokta yükleme dayanım ölçü aleti ile dayanım deneylerinin yapılışı.....	35
Resim 3.9 BT-9300Z lazer parçacık boyutu analiz cihazı	36
Resim 3.10 Halkalı değirmen.....	36
Resim 3.11 Farklı tane boyutunda numune elde etmede kullanılan elekler.	36
Resim 3.12 Hassas terazi.....	37
Resim 3.13 Tane boyut analizi yapılmaya hazır paketlenmiş kömür numuneleri	37
Resim 3.14 Kalorimetre cihazı.....	38

1. GİRİŞ

Bir ülkenin gelişmişlik seviyesi, o ülkenin ekonomik ve sosyal seviyesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu gelişmişliğin sağlanmasında rol oynayan en önemli faktörlerden biri de enerjidir. Dünyanın diğer gelişmekte olan ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de nüfus artışına, sanayileşmeye ve teknolojik gelişmelere paralel olarak enerjiye olan talep hızla artmaktadır.

Dünya Enerji Konseyi tarafından 80 civarında ülkede bulunduğu raporlanan dünya kömür rezervlerinin en büyük kısmı (250,9 milyar ton) ABD'de yer almaktadır. ABD'yi 160,4 milyar ton ile Rusya Federasyonu ve 144,8 milyar ton ile Avustralya izlemektedir. Diğer kömür zengini ülkeler arasında; Çin (138,8 milyar ton), Hindistan (97,7 milyar ton), Almanya (36,1 milyar ton), Ukrayna (34,4 milyar ton), Polonya (25,8 milyar ton), Kazakistan (25,6 milyar ton) ve Endonezya (22,6 milyar ton) bulunmaktadır. Dolayısıyla, dünya kömür rezervlerinin %90'ından fazlası bu dokuz ülkenin sınırları içerisinde yer almaktadır. Linyit rezervlerimiz ise dünya linyit rezervinin %6'sı büyüklüğündedir (ETKB 2019).

Gelişmekte olan ülkeler arasında bulunan Türkiye'de, enerjiye olan talebin ve enerjide dışa bağımlılığının bir hayli fazla olması, Türkiye'yi enerji ihtiyacında kendi iç kaynaklarına yönelmeye mecbur bırakmıştır. 2005 yılından itibaren enerji üretiminde yerli kaynaklara önem verilmesi ve dışa bağımlılığın azaltılması hedeflenerek yeni kömür sahalarının bulunması ve bilinen sahaların geliştirilmesi çalışmalarına hız verilmiştir. 2005 yılında 8,3 milyar ton olan linyit rezervlerimiz, 2018 yılına gelindiğinde 17,9 milyar tona ulaşarak 9 milyar tonun üzerinde rezerv artışı sağlanmıştır (ETKB 2019).

Kömür, dünya çapında kullanılan tüm enerjinin üçte birini sağlamakta ve elektrik üretiminin %38'ini oluşturmakta, bunun yanı sıra demir ve çelik gibi endüstrilerde de çok önemli bir rol oynamaktadır (IEA 2018).

Kömürün ülkemizdeki kullanımı ise 2017 yılı sonu itibariyle 145,3 milyon ton eşdeğer petrol (tep) ve toplam birincil enerji tüketiminde kömürün payı %27'dir. Ülkemizin 2018

yılı sonu itibariyle kömüre dayalı santral kurulu gücü 18 997 MW olup toplam kurulu gücün %21,5'ine karşılık gelmektedir. Yerli kömüre dayalı kurulu güç 10 203 MW (%11,5) ve ithal kömüre dayalı kurulu güç ise 8 794 MW (%10) şeklindedir (ETKB 2019).

Türkiye kendi öz kaynağı olan linyiti kullanırken, bundan en üst düzeyde fayda sağlayacak bilgi ve teknolojiyi kullanmalıdır. Bu amaç doğrultusunda OAL'de faaliyet gösteren Park Termik A.Ş., dünyada en verimli kömür üretim yöntemi olarak kabul edilen tam mekanize geri dönüşlü göçertmeli uzunayak yönetimi ile kömür üretimi yapmaktadır. Üretilen kömür ise yine Park Termik A.Ş. bünyesindeki termik santralde elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında tam mekanize kömür üretimini daha randımanlı hale getirebilmek amacıyla işletmeden alınan kömür numuneleri üzerinde bazı testler uygulanmıştır. Schmidt sertlik testi, nokta yükleme dayanımı, tane boyut analizi, kalori tayini, yüzey alanı ölçümü yapılan kömür numunelerinin tamburlu kesici-yükleyici makinenin çalışma performansına olan etkileri araştırılmıştır. Bununla beraber değiştirilebilir parametreler olan kesici-yükleyici makinenin çalışma esnasındaki ortalama tambur gömülme miktarı ile kazı makinesinin üretim esnasındaki ortalama yürüyüş hızları belirlenerek optimize edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca değiştirelemeyen parametrelerden olan üretim pano eğimleri ile uzunayak eğimleri hesaplanarak, anlık mevcut üretim şartları dahilinde değiştirilebilen parametreler optimize edilerek maksimum kazı verimi hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR

2.1 Çalışma Bölgesinin Konumu

Park Termik Kömür İşletmesi, Ankara İli Nallıhan İlçesine bağlı Nallıhan-Çayırhan yolu üzerinde bulunan Çayırhan mahallesindedir (Resim 2.1). Ankara'ya 122 km, Nallıhan'a 36 km ve Beypazarı'na 30 km uzaklıktadır. İşletmede yeraltından tam mekanize üretim yöntemi ile yılda ortalama 5,5-5,8 milyon ton tüvenan kömür üretimi yapılmaktadır (Varlıbaş 2014).



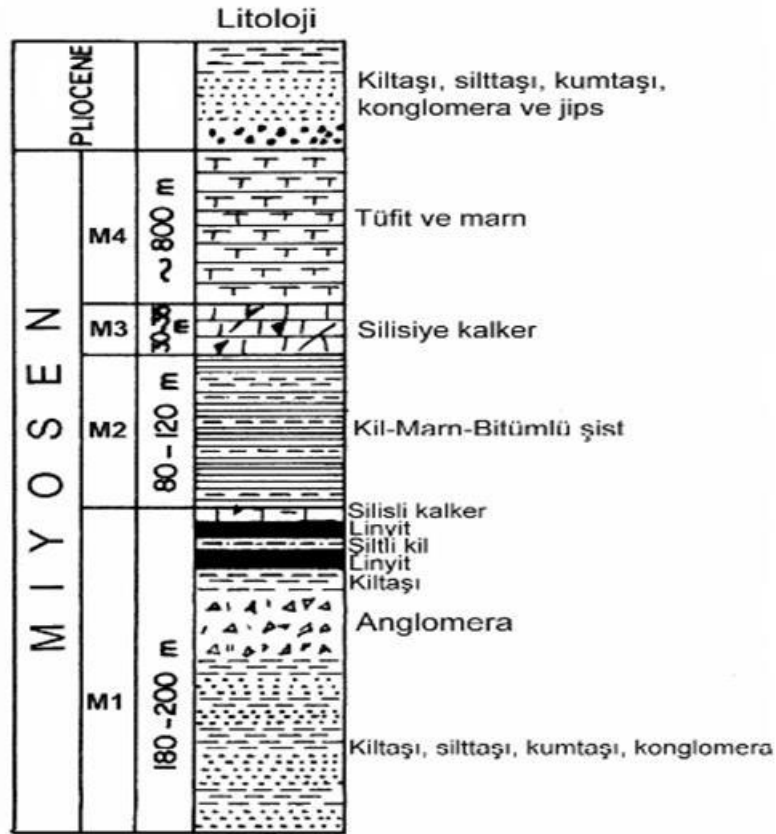
Resim 2.1 Çayırhan bölgesinin haritası (İnt. Kyn. 2).

2.1.1 Bölgesel Jeoloji

80 km² kömür havzası bulunan sahada, yapılan jeolojik etüt ve sondaj çalışmaları sonucu kömür rezervi 400 000 000 ton olarak saptanmıştır. Bölgedeki görünür rezerv ise 291 000 000 ton olarak belirlenmiştir. Kil içeren kayalarda oluşan jeolojik birimlerin, iki ayrı kömür damarının üzerindeki örtü tabakasının kalınlığı 150-200 metredir. Bu damarların ortalama kalınlıkları tavan damarı için 1,5 m ve taban damarı için ise 1,7 m'dir. Bu iki damarı birbirinden kalınlığı 0,7-1,5 m arasında değişen bir marn tabakası (ara kesme) ayırmaktadır. Çayırhan havzasında stratigrafik görünümü Resim 2.2'de görülmektedir (Varlıbaş 2014).

M1 Serisi: Kömür formasyonu, bu tabakada bulunmaktadır. Üst kısımlarda yer alan ve kalınlığı yaklaşık olarak 5-6 metre olan silis kalker tabakasından sonra, ara kesme ile birbirinden ayrılan iki adet kömür damarı bulunmaktadır.

M2 Serisi: Kil ve marnlardan oluşan tabakanın kalınlığı 8-120 m'dir. Alt ve üst seviyelerde yirmişer metre kalınlığında iki adet bitümlü şist tabakası yer almaktadır.



Resim 2.2 Çayırhan havzasının stratigrafik kesiti (Aydın ve Fünfstück 1988).

M3 Serisi: Silis kalkerlerinden oluşan en sert formasyon M3 serisidir. Kalınlığı 30-35 m arasında değişmektedir. Alt seviyelerde yer alan çok sayıdaki çatlakta su depolanmıştır.

M4 Serisi: Büyük bölümü bu formasyonla kaplı olan saha gri, yeşil, kırmızı ve bej renkli tüfitlerden meydana gelmektedir. İstifin kalınlığı yaklaşık olarak 80 m'dir.

Bölgedeki kömürün yaşı alt miosen olarak tespit edilmiştir. Havza tektonik yönden normal ve ters fayların etkisi altındadır (Yağmurlu vd. 1988).

Çayırhan havzasındaki faylar tamamıyla KB-GD kompresyonunun ürünleri olan bindirmeler ve bunlara bağlı olarak gelişen yırtılmalardır. Bindirme faylarının genel doğrultuları $K30^{\circ}D$ olup eğimleri dike yakın olarak gözlemlenir. Bölgedeki faylar gerek oluşum mekanizmaları ve gerekse doğrultuları açısından Davutoğlu fayı ve Kuzey fayı olmak üzere iki tanedir (Kavuşan 1993).

Kuzey fayı, Davutoğlu fayının kuzeyinde yer almakta olup ona paralel şekilde Çakılobası köyüne, buradan da kuzeydoğuya doğru uzanarak devam eder. Esas itibarıyla bindirme olan bu kırık hattı, kendi doğrultusu boyunca gelişen sentetik çökelmelere kombine bir şekilde uzanır. Bununla beraber bu kırık hattı sedimantasyon esnasında da kısmen aktif olup havzanın en önemli kırığı olan Davutoğlu fayının hareketi esnasında da bu özelliğini korumuştur. Bu nedenle de, adeta Davutoğlu fayının sentetik gravite atımlı çatlağı gibi bir rolü üstlenmiştir. Bu kırık hattı aynı zamanda Davutoğlu ve Karaköy-Sekli bindirmelerinin arasında yer almasından dolayı da, sentetik bir gravite fayı olarak aktivite göstermesi olağandır. Hırkaköy güneyinde, Sınırçam senklinalinin KD dalım bölgesinde bulunan marn-kalker tabakalarındaki kalınlıklar 5-10 cm arasında bir değişim gösterirken, bunun yanında volkanizma ile bünyelerine giren silisin konsantrasyonunun çok düşük olmasına karşılık, güneyde bulunan özdeş seviyelerdeki tabaka kalınlıkları daha fazla olup silisifikasyon daha yoğun olarak ortaya çıkar. Bu dönemde havzanın daha geniş olduğunun ve kompresyonun etkin olduğunun bilindiği göz önüne alındığında, bu fayın aktivitesini bindirme olarak kabullenmemiz gerekir (Kavuşan 1993).

Kömür oluşumunda bölgedeki tektonizma önemli rol üstlenmiş olup hem kömürleşme, hem de sonraki kıvrımlanmaları kontrol etmiştir. Gerek kömür damarları, gerekse diğer kayalar kompresif kuvvetlerin etkisiyle önce kıvrılmış, daha sonra da kırılarak birbiri üzerine bindirmiştir. Kuzey fayı ilk önce ters fay gibi hareket etmiş, daha sonra Davutoğlu fayının hızlı hareketi sonucunda normal bir fay olarak davranmıştır. Havzada kömür oluşumu tamamen bu iki fayın hareketine bağlı gelişmiştir (Kavuşan 1993).

Ters fay olan Davutoğlu fayının, batı kesiminde atımı 7-110 m arasında değişirken, Çayırhan'ın kuzeydoğusunda yaklaşık 80 m ve daha doğuda 150 m'ye ulaşır. Buradan

itibaren, K27°D doğrultulu olarak daha yaşlı birimlerde kırık şeklinde Zaviye köyüne kadar devam eder. Bu bindirme fayının eğimi 45°-60° olarak değişmektedir (Kavuşan 1993).

Vitrinit refleksiyon değerinin fayların bulunduğu alanlarda yükselmesi kompresif kuvvetleri doğuran enerjinin jeokimyasal kömürleşmeyi de hızlandırdığını açıkça göstermektedir. Vitrinit refleksiyon değerleri bilindiği gibi kömürlerin rankıyla doğrudan ilişkili olup, rankın yükselmesinde kömürün bulunduğu ortamın ısı, basınç ve zaman parametrelerine bağlı olarak ilksel organik hammaddenin organik kimyasal yapısındaki değişimlerin bir göstergesidir. Bununla beraber Davutoğlu fayının kompresyon enerjisinin serbestleşmesi sonucunda, özellikle üst damar horizonunun kömür damarlarının faylara yakın olduğu yerlerde göreceli olarak karbonca bir zenginleşmenin, yani kömür rank değerinde bir artışın olduğu görülmektedir (Kavuşan 1993).

2.2 Madencilikte Kazı İşleri

Madencilikteki kazı işlemlerinin amacı, maden yatağındaki değerli minerallerin bulunduğu yerden çıkarılmasının sağlanmasıdır. Madencilik birbirini takip eden veya birçok temel işin eş zamanlı olarak yürütüldüğü bir meslek dalıdır. Son yıllarda teknolojinin gelişmesine bağlı olarak, özellikle galeri açma ve kuyu açmada mekanizasyon uygulamasının arttığı görülmektedir. Fakat kazı işlerinde mekanizasyon yalnızca teknolojinin bugünkü imkanlarına bağlı olmayıp, aynı zamanda maden yatağının jeolojik yapısına da bağlıdır. Günümüzde kullanılan başlıca kazı yöntemleri aşağıda görüldüğü gibi sıralanmaktadır (Saltoğlu 1976, Bilim 2007).

- a) Mekanik kazı
- b) Delme-patlatma ile kazı
- c) Hidromekanik kazı
- d) Isıtma ile kazı
- e) Gazlaştırma yoluyla kazı
- f) Ergitme yoluyla kazı
- g) Suda eritme yoluyla kazı

Bu tez çalışmasında tam mekanize kömür üretimi yapan bir işletme incelendiği için diğer kazı yöntemlerine değinilmemiştir.

2.2.1 Mekanize Kazı

Madencilik sektörü gibi yüksek maliyetli yatırım gerektiren iş kollarında, en uygun verimlilik düzeyini yakalamak ve işletme maliyetlerini en aza indirmek için madenciliğin her aşamasında teknolojik gelişmelere paralel olarak, kazı işlerinin makina ile yapılması kaçınılmaz olmuştur. Dünyada enerji ihtiyacının artmasından dolayı, kazı teknolojisinin gelişimine olan talep de artmıştır. Delme-patlatma yöntemi ile yapılan kazı işlemlerine karşı birçok üstünlüğü olmasından dolayı artık mekanize kazı daha çok tercih edilir hale gelmiştir.

Mekanik kazı işlemiyle hedeflenen; en az enerji sarfıyatı ile en fazla miktardaki kayacı kesebilmektir. Bu amaç doğrultusunda karakteristik kayaç kırılma özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Özellikle de kayacın zayıflık düzlemleri üzerine yoğunlaşılmalıdır. Kayaç özelliklerini doğal arazi gerilmeleri, sıcaklık, akışkanlık, kayacı oluşturan tanelerin boyutları ile bu tanelerin birbirlerine olan kenetlenme dereceleri gibi birçok parametre etkilemektedir. Bunların arasında en önemli olanı doğal arazi gerilmesidir (Bilim 2007).

Günümüzde kullanılan kazı mekaniği prensiplerinin belirlenebilmesi amacıyla geçmişte bazı temel kurallar belirlenerek, kayaçların kazılabilirlik özellikleri üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Kömür ve yankayaçları öncelikle kazılabilirlik deneylerine tabi tutulmakta ve kazı makinalarının tarif edilen kayaç birimlerinde kullanılabilmeleri adına imalatçı firmalara gerekli ek tasarım bilgileri sağlanmakta, imalatçı firmalar da sektörde talep edilen ihtiyaçlar doğrultusunda mekanize kazı makinalarını tasarlamaktadırlar.

Özçelik ve arkadaşları (2000) kayacın kazıcı makina tarafından kesilebilirliğini etkileyen birçok parametre olduğunu belirtmektedirler. Bu parametreler genel olarak kesilecek malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri, kesim makinasının özellikleri ve kesme ortamındaki çalışma koşullarının özellikleri olarak üç başlık altında toplanabilir (Çizelge

2.1). Üç başlık altında toplanan bu parametreler kayacın kazıcı makina tarafından kazılma zorluğunu doğrudan etkilemektedirler.

Çizelge 2.1 Kayaç kesilebilirliği ile ilgili sabit, değişken ve yarı değişken parametreler (Özçelik vd. 2000, Bilim 2007).

Sabit Parametreler			Değişken ve/veya Yarı Değişken Parametreler
Kesilecek Özellikleri	Malzemenin Özellikleri	Mühendislik Özellikleri	Kesme Ekipmanının Özellikleri
- Fiziko-mekanik özellikler - Kimyasal özellikler - Mineralojik özellikler - Petrografik özellikler - Tane-yönlenmesi ve dolgu dolusuz - Süreksizlikler - Dokusal özellikler			- 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

Yanal basınçlar ve jeolojik süreksizlikler kayaç kesilebilirliği üzerinde etkisi olan parametrelerdendir. Balcı ve arkadaşları (1997) bu parametrelerin kazı makinalarının performanslarını nasıl etkilediğine dair laboratuvar ölçekli bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma neticesinde 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 tespit etmişlerdir. Bununla beraber kayaç içindeki süreksizlik sayısı arttıkça spesifik enerjinin düştüğünü belirlemişlerdir. Bu çalışmada galeri veya tünel açma makinalarının ilerleme hızlarına jeolojik süreksizliklerin nasıl etkilediği belirlenirken, yanal basınçların fazla olması durumunda kesici makinanın net ilerleme hızının azalacağı belirtilmiştir (Bilim 2007).

2.2.2 Kayaçların Kazılabilirliği

Kayaçların kesilebilirliği konusunda genellikle tek eksenli basınç ve çekme dayanımları dikkate alınmaktadır. Fakat sadece bu iki mekanik özellik her ne kadar tek başlarına kayacın kesilebilirliği konusunda bir fikir verebilmekte ise de yeterli değildir (Hekimoğlu ve Fowell 1988). Keskilerin aşınmasına sebep olan kayaç özellikleri; kayaçların basınç ve çekme dayanımları, bünyelerindeki sert minerallerin miktarı, tane boyutu ve tane şekilleri, dolgu malzemesi ve tanelerin birbirine kenetlenme dereceleri olmaktadır (Deketh 1995).

Tiryaki vd. (2003) doku katsayısı modelinin kayaç kesmede, keski performansının önceden belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Laboratuvarında ölçülen spesifik kesme enerjisi değerleri ile doku katsayısı ve paketlenme yoğunluğu değerleri ile arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Bu araştırmalar sonucunda kayaç delinebilirliğinin tahmininde, ilerleme hızının önceden belirlenmesi için Howarth ve Rowlands (1987) tarafından önerilen doku katsayısı yaklaşımının, kayaç kesmek için de uygulanabileceği sonucunu çıkarmışlardır (Bilim 2007).

2.2.3 Kömürlerin Kazılabilirliği

Kömürün kesilebilme özelliği petrografik özellikleri ile doğrudan doğruya ilişkilidir. Kömürü oluşturan organik yapılar maseral, inorganik yapılar ise mineral olarak isimlendirilmektedirler. 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 büyüklükte olanları litotip olarak tanımlanmaktadır. Bantların minimum kalınlığı 3-10 mm arasında değişmektedir. Bu bantların vitren, düren, füzen, klaren olmak üzere 4 çeşidi bulunmaktadır. Vitren ve füzen bantları genellikle homojen yapıda iken, klaren ve düren bantları ise farklı organik maddelerin karışımlarından meydana geldiği için heterojen bir yapıdadırlar. Bu bantlar içerisinde vitren ve klaren genelde parlak, düren ve füzen ise mat bir görünümde (Kural 1998).

Bilindiği gibi kömür tabakalaşma düzlemlerine paralel bantlı bir yapıya sahiptir. Bu bantlardan bazıları parlak bazıları ise mat görünüştedir. Bu farklılığın arkasındaki gerçek yapı araştırılınca parlak kısımların vitrit ve klarit, mat kısımların ise dürit ve füsit ismi verilen kömür maddelerinden oluştuğu anlaşılır. Bunların içinde vitrit, klarit ve füsit gevrek, dürit ise sert ve sıkı yapılıdır. Mekanik kazı bakımından en büyük zorluk, sert yapısından dolayı düritten gelir. Buna karşılık üst üste gelen sert kömür bantları arasında füsit gibi mekanik mukavemeti çok düşük maddelerden meydana gelen ince bir şerit bulunacak olursa, damarın bir bütün olarak kazısı çok kolaylaşır (Eskikaya 1971).

Kömür içeriğinde bulunan bu bantlar kömürün mekanik özelliğini etkilemektedir. Litotip bantları içerisinde en kolay kazılanı füzendir. Vitren füzene oranla iki kat, klaren üç kat, düren yedi kat fazla kazı enerjisi gerektirir. Kömür kazısı sırasında en fazla kömür tozu oluşmasına neden olan maseraller genellikle vitren ve füzendir (Bilgin vd. 1992).

Genellikle parlak kömürler kolay, mat görünümlü kömürler ise zor kazılmaktadır. Kömürün mukavemet değerleri çok fazla değişkenlik göstermesiyle beraber, basınca karşı $60-600 \text{ kg/cm}^2$, çekmeye karşı da $6-40 \text{ kg/cm}^2$ sınırları hemen hemen bütün kömürleri kapsayacak genişliktedir. Gerek basınç gerekse çekme mukavemetleri, tabakalaşma ve klivaj düzlemlerinin uygulanan kuvvete paralel veya dik oluşuna göre oldukça değişik değerler alırlar. İngiliz kömürleri üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda uçucu madde miktarına göre yapılmış olan sınıflandırmada, %10'dan az ve %30'dan fazla uçucu maddeli kömürlerin dayanımlarının yüksek, buna karşılık ortalama %10-30 uçucu maddeli kömürlerin ise dayanımlarının daha zayıf oldukları gözlenmiştir. Kazılabilirlik açısından çıkarılacak bir diğer sonuç da, tabakalaşma düzlemleri ile tatbik edilen kuvvet arasındaki yön durumunun ancak uçucu maddesi az veya çok olan kömürlerde önemli olacağı, uygulama bakımından %10-30 oranında uçucu maddeli kömürlerde böyle bir sorunla karşılaşılmayacağıdır (Eskikaya 1971, Bilim 2007).

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

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 belirlemek amacıyla yapılan bir takım laboratuvar çalışmaları 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 belirlemek için yapılan deneyler ise; Cerchar sertlik, Cerchar aşınma, hardgrove öğütülebilme, darbe dayanımı ve koni delici sertlik deneyleridir. Ayrıca arazideki kazı koşullarını tam olarak analiz edebilmek için, laboratuvar 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.

Klivaj yönü: Yapılan çalışmalarda elde edinilen bilgilere göre, kesme kuvvetinin klivaj yönüne bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. En fazla kesme kuvvetinin klivaj dik yönde keserken gerektiği, 0°-45° arasındaki damarlarda ise kuvvetin en az olacağı belirlenmiştir.

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.

Tavan basıncı: Tavan basıncı kömürün kazısı için bazen olumlu yönde bazen de olumsuz yönde etkili olmaktadır. Tavan basıncı, bazen kömürün kırılarak kazının kolay olmasını sağlarken bazen de kömürün daha sert olmasına sebep olarak kazıyı daha da zorlaştırmaktadır. Bu durumun sebebi, kömürün özelliği ile ilgili olup, kömürün kırıklı bir yapıya sahip olup olmamasıyla alakalıdır.

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.

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

Kesici uç cinsi: Kazılacak formasyona uygun uç seçimi büyük önem taşımaktadır. Formasyona uygun ucun seçilememesi halinde uçlar erken aşınacak yada kırılacak, dolayısıyla da kazı performansı bundan olumsuz etkilenecektir.

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

Eskikaya (1971) yaptığı çalışmada bir damarın mekanik olarak kazılabilmesi özelliğini bazı faktörlere bağlı olduğu ortaya koymuştur. Bu faktörleri 3 ana başlık altında toplamak gerekirse bunlar kömürün mekanik mukavemeti, klivaj sistemleri ve istihsal basıncıdır. Her üçünün de etkisini kapsayacak şekilde belirlenecek bir kazılabilirlik kavramını, deneysel veya matematik yollarla ifade edebilmek amacıyla çok sayıda çalışma yapılmışsa da, herkes tarafından kabul edilebilecek bir metod veya formül henüz bulunmuş değildir (Eskikaya 1971).

Kısaca özetlemek gerekirse:

- Uçucu madde miktarı %10 ila 30 arasında olan kömürlerin kazısı çok kolaydır. Bu sınırın dışına doğru çıkıldıkça kazıya karşı mukavemet, dolayısıyla kazı zorluğu da artar.
- Parlak kömürler kolay, mat kömürler ise zor kazılmaktadır.
- Kazı yönü bakımından en uygun olan durumu, ana klivaj sistemine göre 0 ile 45 derecelik açı yapacak şekilde olan uygulamalardır. Ayak istikametinin tespitinde bu durumun mutlaka dikkate alınması gerekir.

- İstihsal basıncının mekanik kazı üzerindeki etkisi hakkında ileriye değişik görüşler atılmaktadır. Genellikle bu etkinin yumuşak kömürlerde olumlu olduğu, sert kömürlerde ise aynı etkinin görülebilmesi için basınç değerinin çok yüksek olması gerektiği kabul edilmektedir. Diğer yandan Alman ve İngiliz araştırmacıları istihsal basıncının ancak sabanlı kazıda önemli olabileceğini savunurlarken, Japon araştırmacılar bunun tam aksi bir görüşle ortaya çıkmaktadırlar.
- Rambleli çalışma şeklinin mekanik kazı üzerindeki etkisi, göçertmeli sistemlere nazaran daha olumludur. Bunu, istihsal basıncının rambleli metodlarda arına daha yakın olması sebebine bağlamak mümkündür.
- Batırma gereci (Penetrometer) ile yapılan ölçmeler, bir nispet dahilinde istihsal basıncı ve klivaj durumlarını da yansıtmakta, dolayısıyla damarın kazıya karşı mukavemeti hakkında oldukça güvenilir bilgiler vermektedir.
- Schmidt çekici ile alınan neticeler, klivaj ve istihsal basıncı etkilerini yansıtmadığı için tek başlarına kazılabilirlik ölçüsü olamamaktadırlar. Ancak damar stampına alt mukavemet profillerinin teşkilinde yarar sağlamaktadır.
- Düşürme metodu çeşitli ülkelerde ayrı şekillerde kullanılmakta, alınan sonuçlarda yine farklı olarak değerlendirilmektedir. Polonya ve Japonya'daki uygulamalarda, damarların kazılabilirliği bu yöntem sayesinde sayısal olarak hesaplanmakta ve kazı makineleri gerek teknik gerekse ekonomik olarak uygulanabilme sınırları belirlenmektedir. Ancak bu bağıntı ve sınırların, bütün ülkeler tarafından geçerli olarak kabul edilmiş standartlar olmadığını da burada belirtmek gerekir (Eskikaya 1971).

2.2.4 Mekanik Kazıda Kullanılan Kazıcı Makinalar

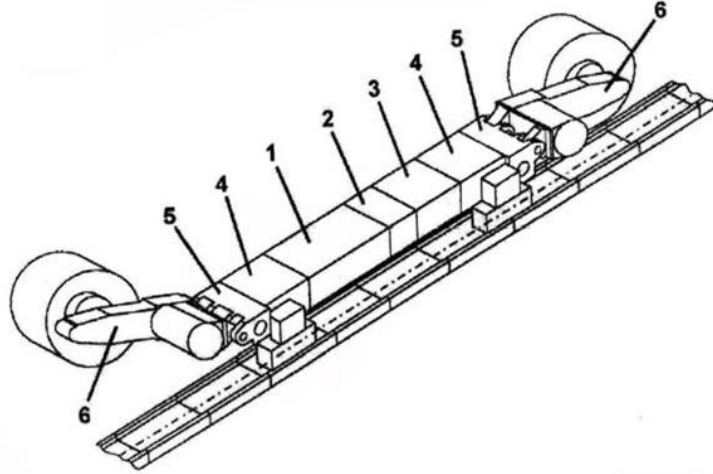
Mekanik kazıda kullanılan kazıcı makinaları genel olarak tam cephe kazı makinaları, kollu galeri açma makinaları ve tamburlu kesici-yükleyici makinalar olmak üzere 3 başlık altında toplamak mümkündür. Bu yüksek lisans tezinde tamburlu kesici-yükleyici makinalar ile yapılan kömür üretim performansları incelendiği için diğer iki mekanik kazıcı makinalara değinilmemiştir.

2.2.4.1 Tamburlu Kesici-Yükleyici Makinalar

Tamburlu kesici-yükleyici makinalar, üzerlerinde bulunan tamburlar ile kazı yapan ve kazılmış olan kömürü aynı tamburlar ile zincirli konveyöre yükleyen kazı makinalarıdır ve üzerlerinde bulunan tambur sayısına göre tek tamburlu yada çift tamburlu kesici-yükleyici makinalar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tek tamburlu makinalar ilk model olup genellikle kazı işleminin tek yönde yapıldığı ve damar kalınlığının sabit olduğu koşullarda kullanılmaktadır. Günümüzde genelde L tipi çift tamburlu ve çift yönlü kazı yapabilen tamburlu kesici-yükleyici makinalar kullanım tercihidir.

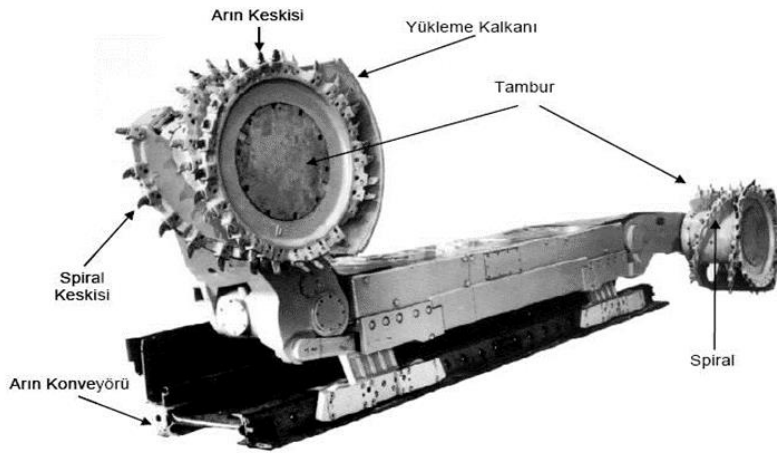
Damar kalınlığının tambur çapından fazla olduğu durumlarda, arındaki kömürün tamamen kazılabilmesi için, makinanın arın boyunca birkaç kez gidip gelmesi gerektiği durumlar tek tamburlu kesici-yükleyiciler için büyük bir sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle yüksek kazı kapasitesine ve yüksek ilerleme hızına ulaşmak güçleşmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için kesici-yükleyiciye birinci tamburdan bağımsız olarak çalışabilecek ikinci bir tambur eklemek düşüncesi ortaya çıkmıştır (Bilim 2007).

Çift tamburlu kesici-yükleyicilerin tek tamburlu kesici-yükleyicilere göre bir takım üstünlükleri vardır. Bunlardan en önemlisi makinanın arındaki malzemeyi arın yüksekliği ölçüsünde bir defada kesebilmesidir. Bu sebeple yüksek kazı verimi ve üretim hızı elde edilebilmektedir. Kazı hızının yüksek olmasından dolayı tavan koşulları bu durumdan olumlu etkilenmekte, tahkimata da daha az yük binmektedir. 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 açılabilir olmasıdır. Günümüzde artık çift tamburlu kesici-yükleyici makinalar tercih edilmektedir (Tatar ve Özfirat 2003). Resim 2.3'te makinanın ana parçaları, Resim 2.4'te ise tipik bir resmi görülmektedir.



Resim 2.3 L Tipi kesici-yükleyici makinanın parçaları (Turan 2004b).

*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).



Resim 2.4 L Tipi kesici-yükleyici makina ve bölümleri (Tiryaki 2000).

2.3 Mekanik Kazıcılar İçin Performans Tahmini

Kazı yapılacak sahaya ait formasyon ve makinaya ait bazı parametrelerin iyi bilinmesi, başarılı bir kazı performansı elde edebilmek için olmazsa olmazdır. Bunun için de öncelikle kazılacak formasyona uygun makina seçiminin yapılması gereklidir. Sonrasında ise seçilen bu makinadan istenilen verimin alınabilmesi için kazı çalışmasını etkileyen diğer makina ve işletmeyle ilgili parametrelerin dikkate alınıp performans değerlendirmelerinin yapılması söz konusudur. Kazı makinalarının performans tahmini ancak makina, kayaç ve işletme faktörlerinin bir bütün içinde değerlendirilmesiyle

mümkün olabilmektedir. Verimli bir mekanik kazı performansı elde edebilmek için kullanıcının bu konuyla ilgili yeterli bilgi, birikim ve tecrübeye sahip olması şarttır.

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 (Hekimoğlu ve Özdemir 2004).

Kazı makinalarının performansını etkileyen faktörler genel olarak üç başlık altında toplanabilir. Bunlar:

- Kaya malzemesi ve kütlesi ile ilgili faktörler,
- Makina ile ilgili faktörler,
- İşletme faktörleridir.

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

Yapılacak kazının ekonomikliğin belirlenmesinde ana faktörlerden biri formasyonu kazmak için kullanılacak mekanik kazıcının performans tahminidir. Kazı performansı tahmininde değişik yöntemler kullanılmaktadır. İyi sonuçlar elde edebilmek için bir kaç yöntem bir arada uygulanmalıdır. Bu yöntemler; tam boyutlu kesme deneyleri, küçük boyutlu kesme deneyleri (karot kesme), ampirik yaklaşımlar, yarı teorik yaklaşımlar ve arazide gerçek bir makina kullanımı olarak sınıflanabilir (Bilim 2007).

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.

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

Diğer bir performans tahmin yöntemi olan yarı teorik performans tahmin yöntemlerinde, bilgisayar ortamında tasarlanarak oluşturulmuş bir model kullanılır. Birçok makina üreticisi, araştırma enstitüsü ve danışman firmalar bu amaç için geliştirilen bilgisayar modelleri geliştirmişlerdir (Çopur 1999, Hurt *et al.* 1982, Rostami *et al.* 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 zahmetli bir yöntem olmakla birlikte, en doğru performans tahmini yapılabilen bir yöntemdir (Tunçdemir ve Bilgin 2002).

Kayaçın kesilebilirliğini tahmin etmek için kayaç 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 (McFeat-Smith and Fowell 1979, Bilim 2007).

- Makinanın kesme performansı
- Makinanın güç tüketimi
- Kaya kütle parametrelerinin yerinde incelenmesi (süreksizlik açıklıkları, Schmidt çekici değerleri)
- Laboratuvar kesme deneyleri için örneklerin hazırlanması
- Numunelerin fiziksel ve mineralojik deneylerinin yapılması

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. DC motorlarının bu özelliği sayesinde kazıcı makinanın kazıyı yapan kısmının çektiği akım ve voltaj değerleri izlenerek elektrikli makinaların kazı esnasında gösterdikleri performansın miktarı dolaylı olarak saptanabilmektedir (Özdoğan 2003). Elektrikli kazı makinalarının enerji tüketimini AC motorlarından

ölçülmesi pek önerilmemektedir (Hindistan 1997). Çünkü AC motorları kazı sırasında meydana gelen değişikliklere DC motorları kadar hassas değildir. Bu nedenle, Eickhoff SL 300 gibi AC ile çalışan tamburlu kesici-yükleyici kazı makinalarında kazı performans tahmini yaparken, spesifik enerji değerinden çok birim zamanda gerçekleştirilen net kazı hızına odaklanılması tavsiye edilmektedir (Bilim 2007).

2.3.1 Tamburlu Kesicilerin Kazı Performansını Etkileyen Faktörler

Tamburlu kesicilerin kazı performansını etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Bu etkenlere alt başlıklarda genel hatlarıyla değinilmiştir.

2.3.1.1 Kullanılan Kesici Uçlar

Tamburlu kesicilerin kazı verimine etki eden en önemli unsurlardan birisi kesici uç cinsidir. Kesici uçlar keskin olmalı, keskinliğini yitiren uçlar yenisiyle değiştirilmeli, kazı makinasına ve kazı verimine olumsuzluk teşkil etmemesi için aşınmış ve kırılmış olmamalıdır. Aşınmış ve kırılmış kesici uçlar tambura ve uç yuvasına zarar verebilir, kazı hızını azaltabilir, ortamdaki toz miktarını çoğaltabilir ve yüksek kesme kuvvetleri gerektirdiğinden kazıcı makinanın kazı performansının düşmesine neden olabilirler.

Yeraltı mekanize kömür üretimi yapılan ocaklarda grizu patlamasına neden olan kıvılcımların birçoğunun 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 bölgeye 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, Bilim 2007).

2.3.1.2 Kesici Uçların Dizilimi

Tamburlu kesici-yükleyicilerdeki kesici uçların dizilimlerindeki hatalar, kesici uçların fazla aşınmalarına, kesici uç yuvalarının zarar görmesine, kesme sırasında titreşimlerin fazla olmasına, kazı hızının düşmesine ve dolayısıyla düşük kazı verimine 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 artırılmalıdır (Bilim 2007).

2.3.1.3 Tambur Dönüş Hızı ve İlerleme Hızı

Kesici-yükleyicilerin tamburları genellikle 30-50 dev/dk dönüş hızlarında çalışmaktadırlar. Tambur dönüş hızı makinanın kesme ve yükleme verimini etkileyen başlıca parametrelerden biridir. Tambur dönüş hızının çok yüksek olması durumunda kömür tamburun arkasına doğru yönelecek ve dolayısıyla yükleme verimi düşük olacaktır. Bununla beraber tamburun dönüş hızındaki artış, çeşitli kazı hızlarına bağlı olarak, sarfedilen enerji miktarını da arttırmaktadır. 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 (Hekimoğlu ve Ayhan 1994).

En iyi yükleme, uygun dizayn edilmiş bir tamburda ilerleme hızının 6 m/dk'dan daha büyük, tambur dönüş hızının ise 40-60 dev/dk arasında artmasıyla elde edilmektedir (Peng and Chiang 1984).

2.3.1.4 Kesim Derinliği

Tamburlu kesici-yükleyicilerdeki kesici uçların kesim derinliği ile ortalama tambur dönme etkisi 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 parabolik olarak azalmaktadır (Altındağ ve Güney 1996). Bu nedenle, kesim derinliğini arttırarak kazı arınından daha büyük parça koparmak için tambur dönüş hızı azaltılmalıdır. Kesim derinliğinin çok fazla olması durumunda ise, kesici uçlarda aşınmalar olacak ve uç yuvalarında hasarlar meydana gelecek, spiral kanatlar kömür arınıyla daha fazla temas edecek, böylece aşınmalara ve makinada titreşim artışına neden olabilecektir. Bu nedenlerden dolayı, genelde kesim derinliği uç derinliğinin yaklaşık %70'i kadar seçilmektedir (Altındağ ve Güney 1996, Bilim 2007).

2.3.1.5 Tambur Çapı

Tambur çapı aynı zamanda kesme çapıdır. Tambur çapının küçük seçilmesiyle yükleme veriminde azalma meydana gelmektedir. Bu durum özellikle 1,1 m'den ince damarlarda daha belirgin olmaktadır. Bu nedenle, ince damarlarda yükleme veriminin arttırılması için kanat sayısının ve tambur dönüş hızının arttırılması önerilmektedir (Bölükbaşı 1986).

2.3.1.6 Damar Sertliği

Damar sertliği kazı verimini doğrudan etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Sabit tambur dönüş ve ilerleme hızlarında, kömürün sertliği arttıkça spesifik enerji değeri de artmaktadır. Benzer şekilde, belirli bir kömürde tambur dönüş hızı ile spesifik enerji arasında da doğru orantılı bir ilişki söz konusudur (Altındağ ve Güney 1996).

2.3.1.7 Su Basıncı

Tamburlu kesici-yükleyicilerde kazı esnasında oluşan tozların bastırılması ve kesici uçların soğutularak dayanım özelliklerini kaybetmelerinin önüne geçilmesi amacıyla su kullanılmaktadır. Bununla beraber yeraltı gibi kapalı mekanlarda solunabilir tozların

bastırılmasıyla, hem insan hem de makina sağlığı korunmuş olacaktır. Farklı su basınçlarında yapılan kazılarda, su basınçları arttıkça havada solunabilir toz oranında da %80'e varan bir azalma olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 Düşük ve yüksek su basınçlı çalışma durumlarındaki havadaki solunabilir toz oranları (Taylor *et al.* 1989, Bilim 2007).

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	24.2
1.3	1115	0

2.3.1.8 Kesim Sırasında Oluşan Titreşimler

Kesim sırasında oluşan titreşimler kazıcı makinalarının ömrünü azaltan önemli faktörlerden biridir. Titreşimlerin oluşmalarına etki eden faktörlerden bazıları tamburun kesilen malzeme içerisindeki gömülme derinliği, tamburun kesme şekilleri (yukarı kesme, aşağıya kesme, kapalı kesme) ve tambur tasarımı örnek gösterilebilir.

2.3.1.9 Ayakta Arın Eğimlerinin Etkisi

Kazı doğrultusu boyunca aşağı doğru 1/8 eğime kadar yükleme performansı olumsuz yönde etkilenmemektedir. Bu şartlarda tamburun geometrisi ve dönme hızı normal olarak seçilebilmektedir. 1/8 veya daha dik eğimlerde yükleme etkinliği açısından spiral sayısı ile spiral açısını artırmak ve buna bağlı olarak da tambur dönme hızını 40 dev/dk'nın üzerine çıkarılması olumlu olmaktadır. İlerleme doğrultusu boyunca yukarı doğru yaklaşık 1/8 ve daha fazla eğimli olan ayaklarda tambur geometrisi ve hızına ayrı bir önemin verilmesi gerekmektedir. Bu durumda verimli bir yükleme için, spiral açısının düşürülmesi ve tambur dönme hızının 30-40 dev/dk sınırları içinde tutulması gerekmektedir. Böylece kömürün konveyör ötesine atılması ve tamburun tepesinden kömür veya taş parçalarının fırlatılması önlenmiş olmaktadır (Hekimoğlu ve Ayhan 1994).

2.3.2 Tamburlu Kesicilerin Yükleme Performansını Etkileyen Faktörler

Tamburlu kesici-yükleyici makinalarda kullanılan tamburun yükleme performansına etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bu konuda hakkında İngiltere’de önemli bir araştırma yapılmıştır (Morris 1980). Tamburlu kesicilerin yükleme verimini etkileyen faktörler, makinaya bağlı ve çalışma ortamına bağlı olmak üzere iki başlık altında toplanabilir.

a) 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,

b) Çalışma ortamına bağlı faktörler 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 2.3’teki gibi vermişlerdir.

Çizelge 2.3 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	4 m/dk	0,7 m
Ayak başından kuyruğa kesim yaparken	2 m/dk	0,6 m

(Tiryaki 2000), Çayırhan linyit işletmesinde kullanılan tamburlu kesici-yükleyicilerdeki tamburlar üzerindeki keskinin dizilimi konusunda ciddi sorunlar olduğunu tespit etmiştir. Bu durum, kesici uç tüketimi fazlalığına, aşırı kesme titreşimlerine ve tamburların çalışma ömürlerinin azalmasına sebebiyet vermektedir. Bu sebeple Çayırhan’da kullanılmakta olan tamburlar üzerinde kullanılan orijinal keski dizilimi yerine yeni bir keski dizilimi geliştirilmiştir. Yeni keski dizilimine sahip tamburlar çalışmakta olan tamburlar ile kıyaslanmış, yeni keski diziliminin kullanımıyla makina kazı performansının arttığı belirlenmiştir.

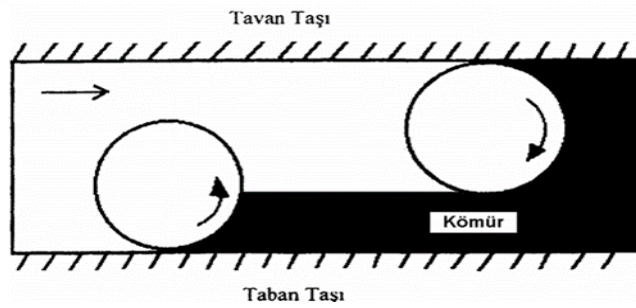
2.3.3 Tamburlu Kesicilerin Çalışma Koşullarına Göre Performanslarının İncelenmesi

Tamburlu kesici-yükleyicinin kazısı sırasında, tambur aracılığıyla kazı makinasına etki eden bileşke kuvvetleri ile tamburda meydana gelen güç aktarımı değişimleri, kesme titreşimlerine neden olmaktadır. Kesme titreşimlerinin tamburun tasarım özellikleri ile yakın bir ilişkisi vardır. Kazı şartlarına uygun olarak seçilen kesici uçlar, kesici uç yuvaları ve tambur çeşidiyle; tamburda meydana gelecek sarsıntıları en aza indireyecek ve böylece sarsıntı sonucu boşa harcanacak olan enerjinin de en alt düzeye inmesinin önü açılmış olacaktır. Böylece tamburda gerçekleştirilen en az enerji kaybı ile en fazla kazı verimi elde edilebilecektir (Tiryaki 2000).

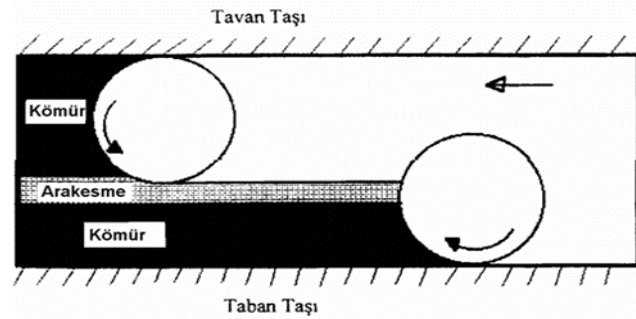
Çift tamburlu kesici-yükleyicilerle yapılan kazılarda tamburların konumları damar özelliklerine bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Arakesme olmayan bir kömür

damarında, damar kalınlığının %70'i ilerleme yönüne göre ön tambur ile kazılırken geriye kalan %30'luk kömür ise ilerleme yönüne göre arka tambur ile kazılmaktadır. Kuyruk tamburu ön tamburdan farklı olarak hem kesme işlemini yapmakta, hem de kazısı yapılan kömürlerin zincirli konveyöre yükleme görevini üstlenmektedir. Kazı işleminin büyük bir kısmı ön tambur tarafından yapıldığından, ön tamburda kuyruk tamburuna göre daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Tamburların dönüş yönleri birbirlerine göre ters yönde uyarlanmaktadır (Resim 2.5).

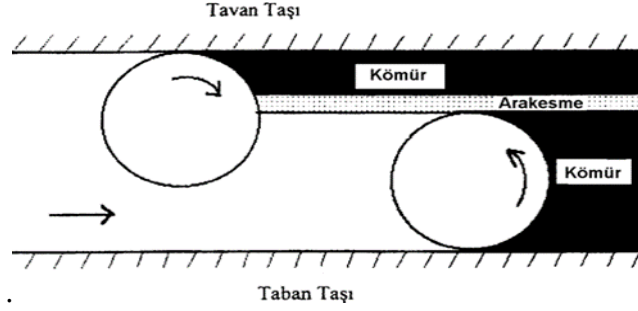
Damar içerisindeki arakesmenin tabana yakın olması durumunda, tamburların konumu Resim 2.6'daki gibi düzenlenmesi uygundur. Böylece, tambur üzerinde bulunan kesici uçlar arakesme ile daha az temas edeceğinden uçlardaki ve kanatlardaki aşınmalar en aza indirgenmiş olacaktır. Ayrıca makinada oluşacak titreşimlerin de önüne geçilmiş olacaktır. Damar içerisindeki arakesmenin tavana yakın olması durumunda ise tamburların dönüş yönü ve konumları yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı Resim 2.7'deki gibi düzenlenmektedir (Altındağ ve Güney 1996).



Resim 2.5 Kömür damarında tamburların normal olarak çalışma konumları (Peng and Chiang 1984).



Resim 2.6 Arakesmenin tabana yakın olması durumunda tamburların çalışma konumları (Hanson and Roepke 1988).



Resim 2.7 Arakesmenin tavana yakın olması durumunda tamburların çalışma konumları (Peng and Chiang 1984).

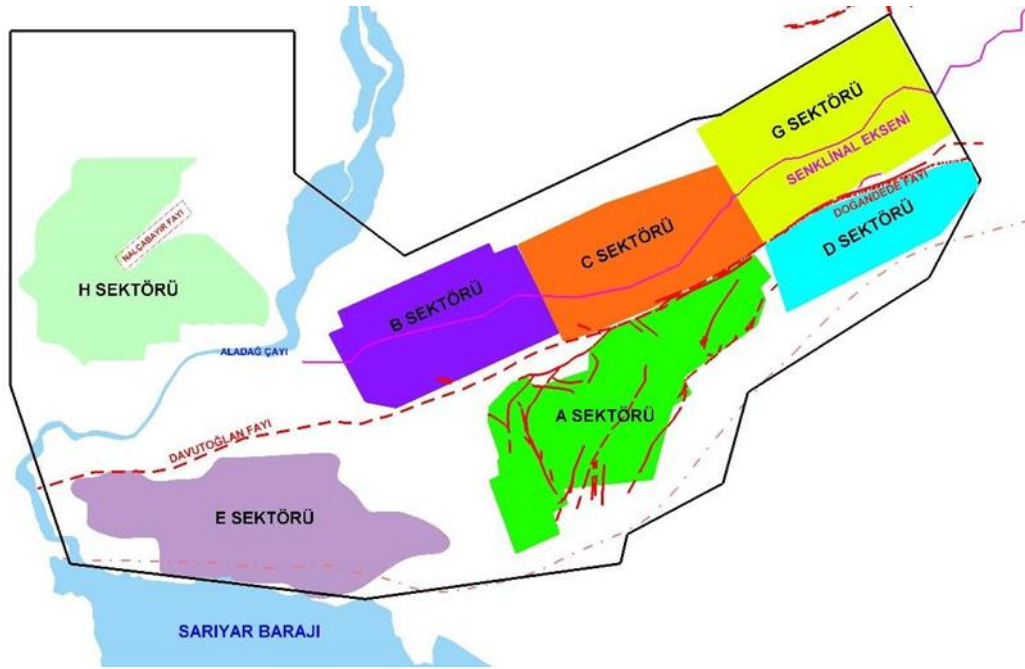
2.3.4 Keski Dizilim Parametresinin Tamburlu Kesici Performansına Etkisi

Tiryaki (2000) Çayırhan yeraltı kömür ocağında kullanılan tamburlarda keski diziliminin makina kazı performansı üzerindeki etkisini araştıran çalışmalar yapmıştır. Bu amaç doğrultusunda mevcut kullanılan keski dizilimi yerine yeni bir keski dizilimi düzenlemesi geliştirmiştir. Bu yeni geliştirilen keski dizilimi de eskiden kullanılan keski dizilimi ile karşılaştırılmış ve makina kazı performansının artacağı tespit edilmiştir. Böylece keski dizilim parametresinin uygulamada çok önemli bir yer tuttuğu sonucuna varmıştır. Araştırmalar sonucunda, yeni tamburların kullanımıyla tamburlu kesici-yükleyicinin aynı miktarda kömürü kesmesi için gereken güç miktarının yaklaşık olarak %25 oranında azaldığı, spesifik enerji değerinde de yaklaşık olarak %35 oranında bir azalma olduğu tespit edilmiştir (Tiryaki 2000).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyal

Çalışma sahası olarak Çayırhan havzasında faaliyet gösteren tam mekanize yeraltı maden ocağı (Resim 3.1) seçilmiştir. Geri dönüşlü uzunayak işletme yöntemi uygulanan işletmede, çalışmaların uzunayak arınından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilmesi planlanmıştır.



Resim 3.1 Çayırhan havzasında faaliyet gösteren tam mekanize yeraltı maden ocağı (Aloğlu 2016).

Çalışmada aynı marka ve model tamburlu kesici-yükleci kullanılmıştır. Aynı ruhsat sahası içerisinde farklı formasyonlara sahip E05 ve H03 panolarında çalışma yapılmıştır.

Çayırhan yeraltı kömür işletmesinde, bu yüksek lisans tez çalışmasının yapılmaya başlandığı yıllarda (2015-2016) E, H, G ve D sahalarında üretim faaliyetleri yapılmaktadır. Bunlardan G ve D sahalarında yüksek ayak, E ve H sahalarında alçak ayak üretimi yapılmaktadır. G ve D sahalarının birbirine çok yakın olması, formasyonlarının çok benzer olması, yüksek ayak oldukları için tavan kontrolünün zor olması yüzünden

arından numune alımının güçlüğü ve söz konusu her iki sahanın işletmeden alınan bilgiler doğrultusunda üretim faaliyetlerinin pek uzun ömürlü olmayışı, bu sahalarda çalışma yapılmaması kararının alınmasına neden olmuştur. Bununla beraber alçak ayak üretimi yapılan E ve H sahalarında, formasyonların farklı olması, arından numune alımının kolaylığı, söz konusu her iki sahanında yakın tarihte faaliyete geçmiş olup uzunca bir süre üretim faaliyeti göstereceği göz önüne alınması E ve H sahalarını bu yüksek lisans tezinin çalışma sahaları olarak belirlenmesinde yeterli olmuştur.

E sahasında 05 tavan ayak ve H sahasında 03 tavan ayak çalışma panoları olarak belirlenmiştir. Bu panoların seçilme sebebi her ikisinin de aynı anda üretim faaliyeti göstermeleri ve alınan numunelerin deformasyona uğramadan gerekli fiziksel ve mekanik deneylerin yapılmasının sağlanabilmesidir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında E sahasındaki çalışma panosu E05 koduyla, H sahasındaki çalışma panosu ise H03 koduyla isimlendirilmiştir.

İşletmedeki kontrol merkezinden alınan bilgiler doğrultusunda Çizelge 3.1 oluşturulmuş ve sunulmuştur.

Çizelge 3.1 E05 ve H03 panoları hakkında genel bilgiler.

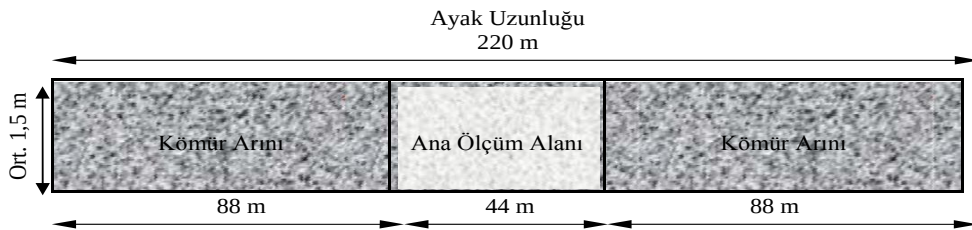
Pano Kodu	Pano Uzunluğu (m)	Ayak Uzunluğu (m)	Ayak Eğimi (°)	Pano Eğimi (Kot farkı, m)	Ayakiçi Tahkimat Sayısı (adet)
E05	583	220	-9-0	-1 m ile 10 m	140
H03	1048	220	9-0	17 m ile 24 m	140

Tamburlu kesici-yükleyicinin 220 m uzunluğundaki uzun ayak arınındaki bir kesimi, ayak başındaki hazırlık hariç yaklaşık 60-90 dakikada tamamlanabilmektedir. Bu kesim süresinin farklı olmasının sebebi; kazı arınındaki kömürün fiziksel ve mekanik özellikleri, ayak eğimi, ayakbaşı ile kuyruk arasındaki kot farkı, kesilen kömürün kalınlığı, kesici-yükleyicinin yükleme performansı, kesici-yükleyicinin kesim yönü, aşırı yüklendiği zaman devreye giren ayakiçi zincirli konveyör sinyalizasyon sistemi ve kesim esnasında kesici-yükleyicinin tamburlarının gömülme derinliği gibi faktörlerdir.

Vardiya sistemi ile çalışan işletmede, bir vardiyada normal şartlar altında 3 yada 4 kesim

yapılmaktadır. Ancak üretim miktarı ile ilgili özel durumlarda 5 kesimin yapılabilir. Arında gerçekleştirilen her kesim ile tambur gömülme derinliğine bağlı olarak 50-80 cm arın ilerlemesi sağlanmaktadır.

Tüm pano uzun ayak arınında gerçekleştirilmesi planlanan bu tezdeki çalışmaların yukarıda anlatılan yoğun çalışma arasında yapılmasının oldukça zor olduğu kişisel tecrübeler ile belirlenmiştir. Bu yüzden deneylerin çalışma bölgesi yerine, blok numune alınarak laboratuvar ortamında yapılmasına karar verilmiştir. Böylece kömür arınından alınacak blok numuneler üzerinde analiz edilmesi planlanan ayak uzunluğunun öncelikle ayak içerisinde çalışan tamburlu kesici-yükleyici makinanın boyundan fazla olması gerektiği kabul edilmiştir. Çünkü tamburlu kesicinin kesme esnasındaki akım, güç, kesme hızı değerlerini doğru bir şekilde analiz edebilmek için kendi uzunluğundan daha büyük bir yeri kazması esnasındaki verilerin değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Bu amaç doğrultusunda, kişisel tecrübeler ışığında bu ana ölçüm uzunluğunun uzunluğunun tamburlu kesici-yükleyici makina uzunluğunun 4 katına denk miktar olan 44 m olmasına karar verilmiştir. Bu 44 m'lik ana ölçüm alanı hem ayakbaşı hem de kuyruk bölgesine 88 m uzaklıkta, tam olarak uzunayağın ortası seçilmiş olup, bu sayede numune alınacak ve üzerinde çalışılacak bölgenin hem ayakbaşı hem de kuyruk istihsal basınçlarından eşit olarak etkilenmesi ve daha doğru deney sonuçlarına ulaşılabilmesi hedeflenmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen uzunayağın orta kısmı Resim 3.2'de gösterilmiştir.



Resim 3.2 Kömür kazı arınındaki ana ölçüm bölgesi.

Ayak arını üzerinde oluşan tavan basıncı zamanla artmakta olduğu ve sonuçta yaklaşık 20x20x20 cm kalınlığında düşey kavlakların oluştuğu belirlenmiştir.

Uzunayak arınından daha büyük ve daha düzgün blok temin edebilmek için, tamburlu kesici-yükleyici makinanın bir tamburu tabandan 1-2 yürüyen tahkimat boyu kadar kesim

yaptırıldıktan sonra makina tam ters yönde hareket ettirilmiştir. Bu sayede alt kısmı boşalan arın kömürleri yer çekimi ve tavan basıncının da etkisiyle kendiliğinden düşerek, boyları yaklaşık olarak 35x35x35 cm ebatlarında kömür bloğu numuneleri elde edilmiştir. Bu işlem hem E05 panosunda hem de H03 panosunda ortalama olarak ellişer metre aralıklarla tekrar edilmiştir.

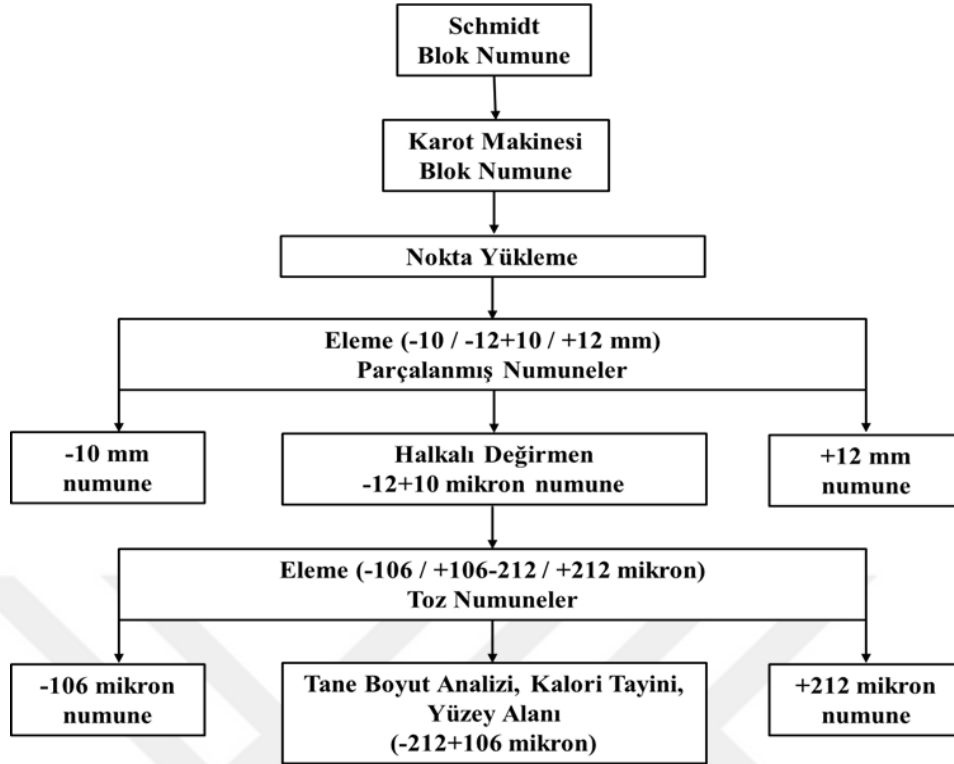
Bu çalışmada daha önce bahsedildiği üzere her iki sahada da aynı marka ve model tamburlu kesici-yükleyici olarak Eickhoff SL 300 kullanılmıştır. Eickhoff SL 300 iki adet 300 kW gücünde kesici motora, iki adet 35 kW yürüyüş motoruna, toplam 30 ton ağırlığa ve en fazla 15,4 m/dk yürüyüş hızına sahiptir. Bununla beraber 0-9,7 m/dk ilerleme hızına kadar en fazla 392 kN çekme kuvvetine sahipken, 15,4 m/dk ilerleme hızında en az çekim kuvveti olan 245 kN ile çalışmaktadır.

3.2 Metot

Çalışma alanı olarak seçilen E05 ve H03 panolarında önceden belirlenmiş bölgelerden alınan blok kömür numuneleri, nemlerini kaybederek deforme olmamaları için esnek filmlerle paketlenmişlerdir (Resim 3.3). Paketlenen kömür numuneleri üzerinde sırasıyla yapılan fiziko-mekanik deney sistematığının akım şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.3 Doğal nemlerini muhafaza etmeleri için esnek filme sarılan blok numuneler.



Şekil 3.1 Akım şeması.

Yukarıda akım şeması gösterilen deneysel faaliyetler aşağıda detaylı şekilde açıklanmaya çalışılmıştır.

3.2.1 Schmidt Sertliği

İşletmenin üretim miktarını çok fazla etkilememek için kömür arını üzerinde yapılması planlanan Schmidt sertliği deneylerinin üretim arınından alınan blok numuneler üzerinde gerçekleştirilmesi planlanmıştır.

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 3.2’de en çok kullanılan bu iki standardın karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 3.2 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, arazide	Karot, blok, 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 kütlelerinde çatlak ve süreksizlikler olmamalı	Kaya maddesinin aşağıya doğru kalınlığı 6 cm olmalı, kaya kütlelerinde çatlak ve süreksizlikler olmamalı
Uygulama aralığı	Öneri yok	$\sigma_c=1-100$ MPa Çok zayıf ve çok sert kayalar hariç
Test sayısı	Numune üzerindeki farklı noktalardan 20 ölçüm	Numune üzerindeki farklı noktalardan 10 ölçüm
Hesaplama	Numune üzerinde alınan 20 okumanın içerisindeki en yüksek 10 okumanın ortalaması	10 okumanın ortalama değerinden 7 birim sapan değerleri çıkarılır ve kalanların ortalaması alınır
Sertlik değerinin düzeltilmesi	Düzeltilme faktörü ile	Düzeltilme faktörü ile

Schmidt çekici testi ile ilgili yayınlanmış olan çalışmaların çoğu bozulmamış kayalardan küçük numuneler hazırlanmasına odaklanmıştır. Schmidt çekicinin kayaç yüzeylerinde uygulanması için en uygun test sayısının bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple silindir ve blok kaya numuneleri için, en uygun test sayısı araştırmacılar tarafından belirlenebilmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Uygulanmakta olan Schmidt test metodlarından bazıları (Bilim 2007).

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 değerlerin ortalaması alınır.
Deere D.U ve Miller R.P (1966)	NX boyutundaki bir karot üzerinde her seferinde 45° çevirerek üç ölçüm alınır. Hatalı okumalar çıkarıldıktan sonra 24 değerlerin ortalaması alınır.
Soiltest (1976)	Farklı noktalardan 15 ölçüm alınır ve bu değerler içerisindeki en büyük 10 değerlerin ortalaması alınır. Ortalama değerden maksimum sapma 2,5'ten az olmalıdır.
Fowell R.J. ve McFeat Smith I (1976)	Tek bir noktada alınan 10 ölçüm içerisindeki en son alınan 5 değerlerin ortalaması alınır.
Fowell R.J. ve McFeat Smith I (1976)	Kaya kütlesi yüzeyi ızgaralara bölünür, her bir ızgaradan bir ölçüm alınarak, yapılan ölçümlerin ortalaması alınır.

Çizelge 3.3 (Devam) Uygulanmakta olan Schmidt test metotlarından bazıları (Bilim 2007).

Yazar	Test Yöntemi
ISRM (1981)	Farklı noktalardan toplam 20 adet ölçüm alınır ve bu değerler içerisindeki en büyük 10 değerlerin 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 içerisinde en büyük ölçüm değeri seçilir. Bu ölçüm sistematığı farklı üç noktada tekrar edilir ve elde edilen en büyük üç değerlerin 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.
Göktan 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 değerlerin 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 değerlerin 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.

Bu çalışmada, kullanımının daha pratik olması (Çizelge 3.2) ve örnek kümesinin daha fazla tutulmasıyla daha sağlıklı sonuçlar vermesi (Çizelge 3.3) nedeniyle Schmidt sertliği deneylerinin L tipi Schmidt çekici ve ISRM (1981) standardı esas alınarak yapılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla işletmedeki E05 ve H03 panolarından alınan kömür numuneleri üzerinde gerçekleştirilen Schmidt sertliği deneylerinde, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarındaki L tipi Schmidt çekici (Resim 3.4) kullanılmıştır.



Resim 3.4 Sertlik ölçümü deneylerinde kullanılan L tipi Schmidt çekici.

ISRM (1981) standardı esas alınarak yapılan Schmidt sertlik değeri ölçümlerinde, bu standart gereği her numuneden en az yirmişer tane ölçüm alınmış (Resim 3.5) ve bu ölçümlerden en düşük değere sahip 10 tane değer hesaba katılmamıştır. Geriye kalan 10 ölçümün ortalaması alınarak her numune için Schmidt sertlik değeri belirlenmiştir.



Resim 3.5 Schmidt sertlik ölçüm deneylerinin yapılışından bir kesit.

3.2.2 Nokta Yükleme Dayanımı

E05 ve H03 panolarında çalışma bölgesi olarak belirlenen yerlerden alınan blok numuneler üzerinde nokta yükleme dayanımı deneyleri (NYD) gerçekleştirilmiştir. Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilen nokta yükleme dayanımı deneylerinde ISRM (1985) standardı esas alınmıştır. Bu standartın öngördüğü şekliyle dayanım deneyleri yapılabilmesi için blok numuneler, yine aynı laboratuvarlarda uygun ebatlarda boyutlandırılmak için bazı numune hazırlama işlemlerine tabi tutulmuştur.

Kömür arınlarından elde edilen blok numunelerin belirlenen deney sistematiğine uygun olarak boyutlandırılması için karot alma makinesi (Resim 3.6) kullanılmıştır. Alınan bu karot numunelerinin hepsi düzenli boyutlarda olmasalar bile, yine de ISRM (1985)'nin kabul ettiği sınıflamaya uymaktadırlar.



Resim 3.6 Nokta yükleme deneyleri için gereken numunelerin karot makinesiyle alınışı.

Karot alma makinesi ile elde edilen numuneler deneylerin yapılacağı zamana kadar nemlerini kaybederek deforme olmamaları ve bu sayede daha sağlıklı deney sonuçlarına ulaşılabilmesi açısından esnek filmlerle paketlenmiştir (Resim 3.7).



Resim 3.7 Nokta yükleme deneyi için esnek film ile muhafaza edilen kömür numuneleri.

Kömürler bilindiği üzere sedimanter kökenli kayalardır ve bu nedenle tabakalı bir yapıya sahiptirler. Bu yüzden Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarındaki nokta yükleme dayanımı ölçü aleti ile deney yapılan kömür numuneleri, bahsedilen tabaka düzlemine dik (90^0) ve tabaka düzlemine paralel (0^0) olmak üzere 2 farklı açıdan incelenmişlerdir (Resim 3.8).



Resim 3.8 Nokta yükleme dayanım ölçü aleti ile dayanım deneylerinin yapılışı.

Silindirik kömür numuneleri üzerinde farklı 2 açıda nokta yükleme dayanımı deneyi yapılarak, kömürlerin farklı açılarda kazılabilirlik ve kırılma toklukları hakkında fikir sahibi olunmaya çalışılmıştır.

3.2.3 Tane Boyut Analizi

Çalışmada, üretimi yapılan kömürlerin tane boyut analizlerinin yapılmasına karar verilmiştir. Tane boyut analizi deneylerinin Afyon Kocatepe Üniversitesi bünyesinde yer alan Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM) yapılmasına karar verilmiştir. TUAM'da tane boyutu analizi için BT-9300Z lazer parçacık boyutu analiz cihazı (Resim 3.9) kullanılmıştır. Bu cihaz, $-1250+0,1$ μm arası tane boyut aralığında bilgisayar kontrollü çalışabilen partikül boyutu analizörüdür. Bu sebeple gerçekleştirilecek nokta yükleme dayanımı deneyleri için $-212+106$ μm aralığında hazırlanacak olan kömür numunelerinin yeterli olacağına karar verilmiştir.



Resim 3.9 BT-9300Z lazer parçacık boyutu analiz cihazı.

Nokta yükleme dayanımı deneylerinde kullanıldıktan sonra arta kalan parçalanmış kömür numuneleri, tane boyut analizi yapılabilmesi için öğütülmeleri gerekmektedir. Öğütme işlemi için Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan halkalı değirmen (Resim 3.10) kullanılmıştır.



Resim 3.10 Halkalı değirmen.

Kömür numuneleri, halkalı değirmenin besleme tane boyutu olan $-12+10$ mm boyut aralığında malzeme elde edilebilmesi amacıyla eleme işlemine (Resim 3.11) tabi tutulmuştur.



Resim 3.11 Farklı tane boyutunda numune elde etmede kullanılan elekler.

Eleme işleminden sonra halkalı değirmene beslenen kömür numunelerinin her biri 1 dk boyunca öğütülmüşlerdir. Öğütülen bu numuneler sırasıyla 212 μm ve 106 μm açıklıklara sahip elekler ile elenerek 212 μm üstü, 212 μm ile 106 μm arası ve 106 μm altı olmak üzere 3 farklı fraksiyon aralığında numune elde edilmiştir.

Eleme ile 3 farklı fraksiyona ayrılan bu numuneler hassas terazi (Resim 3.12) ile tartımları alınarak TUAM'a gönderilmek üzere naylonlarla paketlenmişlerdir (Resim 3.13).



Resim 3.12 Hassas terazi.



Resim 3.13 Tane boyut analizi yapılmaya hazır paketlenmiş kömür numuneleri.

3.2.4 Kalori Tayini

Kömürlerin kalori tayinleri Afyon Kocatepe Üniversitesi bünyesindeki Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM) yapılmıştır.

Kalori tayini için, daha önce tane boyut analizi için halkalı değirmende öğütülerek hazırlanmış olan -212+106 μm boyut aralığındaki kömür numuneleri kullanılmıştır.

Kömür numunelerinin kalori tayinleri için TUAM’da bulunan IKA WERKE marka kalorimetre cihazı (Resim 3.14) kullanılmıştır. Bu kalorimetre cihazı, katı (kömür) ve sıvı (fuel-oil) yakıtların alt ısı değer ve üst ısı değer olarak kilo-kalori/kg (kcal/kg) cinsinden kalori değerini vermektedir. Cihaz bombalı yakma prensibine göre çalışmaktadır.



Resim 3.14 Kalorimetre cihazı.

3.2.5 Yüzey Alanı Ölçümü

Yüzey alanı ölçümleri Afyon Kocatepe Üniversitesi bünyesindeki Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde (TUAM) yapılmıştır.

Yüzey alanı ölçümleri için, daha önce tane boyut analizi için halkalı değirmende öğütülerek hazırlanmış olan $-212+106 \mu\text{m}$ boyut aralığındaki kömür numuneleri kullanılmıştır. Kömür numunelerinin yüzey alanı ölçümleri TUAM’da bulunan BT-9300Z marka cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz deney sonuçlarını m^2/kg cinsinden vermektedir.

3.2.6 Net Kazı Hızı

Bir kazı makinasının performansı incelenirken dikkate alınan en önemli parametrelerden biri de net kazı hızı (NKH)’dır. Bu nedenle işletmede kayıt altına alınan verilerle net kazı hızının (NKH, m^3/h) belirlenmesine karar verilmiştir. NKH, herhangi bir kazı makinasının birim çalışma zamanında (h) kazılan malzemenin hacimsel miktarı (m^3)’dır (Eşitlik 3.1).

$$NKH = \frac{\text{Kazılan Malzemenin Hacmi (m}^3\text{)}}{\text{Kazı Süresi (h)}} \quad (3.1)$$

Kazılan kömürün hacminin hesaplanabilmesi için işletmede gerçekleştirilen topoğraf ölçüm verilerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle E05 ve H03 panolarında belli aralıklar ile alınan numunelere karşılık gelen poligon noktaları belirlenmiştir. Bununla beraber yine işletmede gerçekleştirilen topoğraf ölçümlerinden E05 ve H03 panolarının alt taban ve üst taban yollarına ait kömür stampları tespit edilmiştir. Alt taban yolundaki numune alınan iki bölge arasındaki mesafe (m), bu bölgenin başlangıç ve bitiş noktalarındaki stampların ortalamasıyla (m) ve uzunayak uzunluğu (m) ile çarpılmıştır. Daha sonra üst taban yolundaki numune alınan iki bölge arasındaki mesafe (m), bu bölgenin başlangıç ve bitiş noktalarındaki stampların ortalamasıyla (m) ve uzunayak uzunluğu (m) ile çarpılmış ve elde edilen bu iki değer toplanarak üretimi yapılan kömür hacimsel (m³) olarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3.2).

$$\text{ÜYKM} = \left(\frac{P_{AIS} + P_{ASS}}{2} * (P_{Ai} - P_{AS}) * \text{UAU} \right) + \left(\frac{P_{ÜIS} + P_{ÜSS}}{2} * (P_{Üi} - P_{ÜS}) * \text{UAU} \right) \quad (3.2)$$

Burada;

ÜYKM: Üretim yapılan kömür miktarı (m³)

P_{AIS} : Alt taban yolundaki ilk stamp (m)

P_{ASS} : Alt taban yolundaki son stamp (m)

P_{Ai} : Alt taban yolundaki ilk poligon noktası (m)

P_{AS} : Alt taban yolundaki son poligon noktası (m)

$P_{ÜIS}$: Üst taban yolundaki ilk stamp (m)

$P_{ÜSS}$: Üst taban yolundaki son stamp (m)

$P_{Üi}$: Üst taban yolundaki ilk poligon noktası (m)

$P_{ÜS}$: Üst taban yolundaki son poligon noktası (m)

UAU: Uzun ayak uzunluğu (m)

İşletmedeki kontrol merkezinde her vardiya için ayrı ayrı çalışma süreleri ile bakım ve arıza gibi nedenlerle çalışılmayan süreler kayıt altına alınmaktadır. E05 ve H03 panolarından alınan her iki numune arasındaki tarihler belirlenmiş ve bu tarihler arasında

Çalışılan net süreler tespit edilmiştir. Kontrol merkezinin dakika (dk) cinsinden kayıt altına aldığı bu süreler saat (h) cinsine çevrilmiştir. Saat (h) olarak hesaplanan bu süreler de Eşitlik 3.1’de görüldüğü gibi yerine yazılarak net kazı hızı (NKH, m³/h) hesaplanmıştır.

3.2.7 Tambur Gmlme Miktarı

İşletmedeki kontrol merkezinden alınan günlük faaliyet raporları ile günlük ayak başı ve ayak kuyruğu ilerleme miktarları tespit edilerek günlük ortalama ayak ilerlemesi hesaplanmıştır (Eşitlik 3.3). Daha sonra faaliyet raporlarından ayakta gerçekleştirilen günlük kesilen yürüyen tahkimat sayıları tespit edilmiş ve kesim sayısı ayaktaki toplam yürüyen tahkimat sayısına bölünerek günlük ortalama kesim sayısı hesaplanmıştır (Eşitlik 3.4). Sonrasında ise ortalama ayak ilerleme miktarı, ortalama ayak kesim sayısına bölünerek kesim başına ortalama günlük tambur gmlme miktarı hesaplanmıştır (Eşitlik 3.5).

$$GOAİM = \frac{\text{Ayakbaşı İlerleme Miktarı (m)} + \text{Ayak Kuyruğu İlerleme Miktarı(m)}}{2} \quad (3.3)$$

$$GOKS = \frac{\text{Günlük Kesilen Yürüyen Tahkimat Sayısı}}{\text{Günlük Kesim Sayısı}} \quad (3.4)$$

$$OGTGM = \frac{GOAİM}{OAKM} \quad (3.5)$$

Burada;

GOAİM: Günlük ortalama ayak ilerleme miktarı (m)

GOKS: Günlük ortalama kesim sayısı

OGTGM: Ortalama günlük tambur gmlme miktarı (cm)

OAİM: Ortalama ayakbaşı ilerleme miktarı (m)

OAKM: Ortalama kuyruk ilerleme miktarı (m)

3.2.8 Ayak Eğimi

Mekanize uzunayak yöntemi ile kömür üretimi yapılan ocaklarda ayakbaşı ve ayak kuyruğu arasındaki kot farkının üretim hızına olan etkisi literatürde araştırma konusu olmuştur. Ayak eğiminin hesaplanabilmesi için E05 ve H03 panolarına ait alt taban ve üst taban yollarında kömür numunelerinin alındığı metreler ait poligon noktalarındaki kot farkları tespit edilmiştir (Eşitlik 3.6). Tespit edilen bu kot farkından doğan açısal değer uzunayak uzunluğu da hesaba katılarak $\sin\alpha$ olarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3.7). Aynı işlem bir sonraki numunenin alındığı ayak ilerleme metresindeki verilerle de yapılmıştır. Daha sonrasında ise $\sin\alpha$ cinsinden hesaplanan her iki noktadaki değerlerin ortalaması alınarak ortalama ayak eğimi hesaplanmıştır (Eşitlik 3.8).

$$KF(m) = \text{Ayak Kuyruğu Kotu} - \text{Ayak Başı Kotu} \quad (3.6)$$

$$\sin \alpha = \frac{KF}{UAU} \quad (3.7)$$

$$\text{Ort. Ayak Eğim Açısı} = \frac{\sin\alpha_{\text{ilk}} - \sin\alpha_{\text{son}}}{2} \quad (3.8)$$

Burada;

KF: Kot farkı (m)

UAU: Uzun ayak uzunluğu (m)

$\sin\alpha$: Ayak eğiminin açısal değeri (0)

3.2.9 Pano Eğimi

E05 panosunda başaşağı ve H03 panosunda ise başyukarı üretim yapılması sebebiyle, üretim performansı açısından optimum pano eğiminin tespit edilmiştir. Bu tespitin yapılabilmesi için topoğraf biriminden çalışma sahalarına ait alt taban ve üst taban yollarında numune alınan metreler denk gelen poligon noktaları belirlenmiştir. Poligon noktalarına ait ayakbaşı ve ayak kuyruğu kotlarının ortalaması alınarak ortalama ayak kotu hesaplanmıştır (Eşitlik 9 ve Eşitlik 10). Bu hesaplamalar her bir numunenin alındığı metrelerde ayrı ayrı uygulanmıştır. Ortalama ayak kotu tespit edildikten sonra numune

alınan bölgeler arası mesafeye bağlı olarak trigonometrik işlemler kullanılarak pano eğimi hesaplanmıştır (Eşitlik 3.11).

$$OAK_{ilk} = \frac{AKK + ABK}{2} \quad (3.9)$$

$$OAK_{son} = \frac{AKK + ABK}{2} \quad (3.10)$$

$$\sin a = \frac{OAK_{ilk} - OAK_{son}}{Numune\ Metresi_{ilk} - Numune\ Metresi_{son}} \quad (3.11)$$

Burada;

OAK: Ortalama ayak kotu (m)

AKK: Ayak kuyruğu kotu (m)

ABK: Ayak başı kotu (m)

sin α : Pano eğim açısı (0)

3.2.10 Makine Yürüyüş Hızı

Tamburlu kesici-yükleyici makinenin yürüyüş hızının üretim performansına etkileri araştırılmıştır. Bunun için işletmedeki kontrol merkezinden alınan günlük raporlarda belirtilen net çalışma süresi ve kesilen şilt sayısı verileri kullanılmıştır. Günlük kesilen şilt sayısı, 1 adet şiltin genişliği olan 1,5 ile çarpılarak tamburlu kesici yükleyici makinenin günlük katettiği mesafe metre (m) cinsinden hesaplanmıştır (Eşitlik 3.12). Bununla beraber kontrol merkezinde dakika (dk) olarak kayıt altına alınan günlük net çalışma süresi 60'a bölünerek saat (h) birimine çevrilmiştir (Eşitlik 3.13). Sonrasında ise arından alınan her numune tarihleri arasındaki tamburlu kesici-yükleyici makinenin katettiği toplam mesafe (m), bu süre zarfında geçen toplam net çalışma süresine (dk) bölünerek ortalama makine yürüyüş hızı (m/h) hesaplanmıştır (Eşitlik 3.14).

$$\text{Günlük kesilen şilt sayısı} \times 1,5 = \text{Günlük makine hareket mesafesi (m)} \quad (3.12)$$

$$\text{Günlük net çalışma süresi} \frac{dk}{60} = \text{Günlük net çalışma süresi (h)} \quad (3.13)$$

$$\text{Makine ortalama yürüyüş hızı } \left(\frac{\text{m}}{\text{h}} \right) = \frac{\text{Günlük makine hareket mesafesi (m)}}{\text{Günlük net çalışma süresi (h)}} \quad (3.14)$$

3.2.11 Öğütülebilirliğin Kazı Performansına Etkisi

Öğütülebilirlik ile kazı performansı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Fakat bu tezde literatürde daha önce yapılan çalışmalara farklı bir alternatif getirilerek, daha pratik bir yöntem bulunmaya çalışılmıştır. Bu amaçla daha önce akım şeması Resim 3.4'te verilen halkalı değirmenden çıkan malzemeler elek analiziyle -106 µm, -212+106 µm arası ve +212 µm tane boyutlarında 3 farklı fraksiyon elde edilmiştir. Her numune için elde edilen +212 µm boyutunda elek üstü malzeme miktarının (g), toplam besleme malzeme miktarı (g) oranının %'si hesaplanmıştır (Eşitlik 3.15). Daha sonra elde edilen veriler ile net kazı hızları karşılaştırılarak üretim performansı tahmininde yeni yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır.

$$\frac{\text{+212 mikron boyutundaki malzeme miktarı (g)}}{\text{Halkalı değirmene beslenen toplam malzeme miktarı (g)}} * 100 = \text{+212 µm malzeme (\%)} \quad (3.15)$$

4. BULGULAR

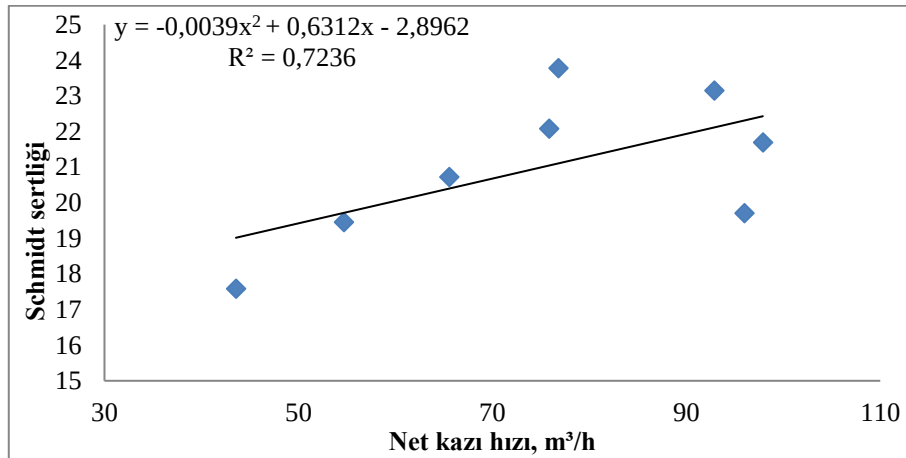
4.1 Schmidt Sertliği

ISRM (1981) standardı esas alınarak L tipi Schmidt çekici ile yapılan Schmidt sertlik değeri ölçümlerinde, bu standart gereği her numuneden en az yirmişer tane ölçüm alınmış ve bu ölçümlerden en düşük değere sahip 10 tane değer hesaba katılmamıştır. Geriye kalan 10 ölçümün ortalaması alınarak her numune için Schmidt sertlik değeri belirlenmiştir. Belirlenen bu ölçümlerden E05 ve H03 panolarına ait olanlar Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 E05 ve H03 panolarına ait ortalama Schmidt sertliği ölçüm sonuçları.

E05	Schmidt	H03	Schmidt
Numuneleri	Sertlik Değerleri	Numuneleri	Sertlik Değerleri
1	19,4	1	36,9
2	17,5	2	23,5
3	20,7	3	23,6
4	23,7	4	16,7
5	22,1	5	28,2
6	21,7	6	31,5
7	19,7	7	32,3
8	23,1	8	26,3

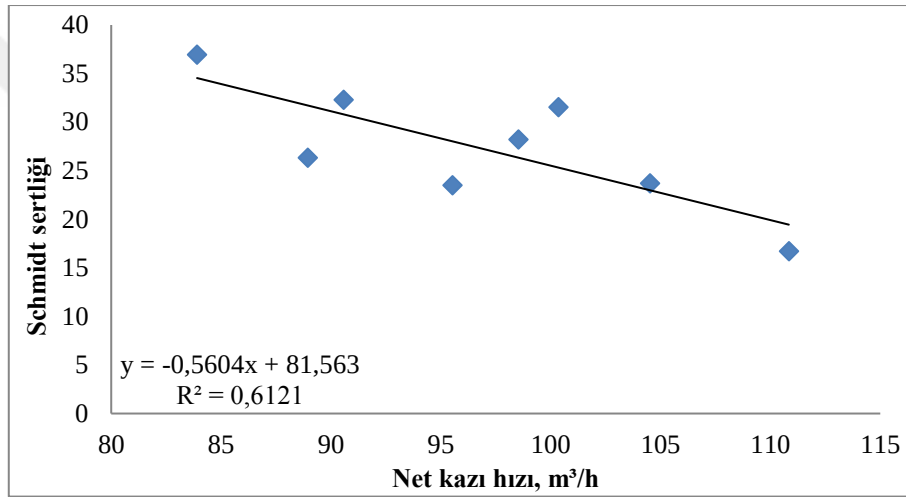
E05 panosuna ait Schmidt sertliği sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki Şekil 4.1’de sunulmuştur.



Şekil 4.1 E05 panosuna ait Schmidt sertliği-net kazı hızı (m³/h) arasındaki ilişki.

E05 panosundan alınan numuneler ile toplam 160 adet Schmidt sertlik ölçümü yapılmış olup, yapılan en büyük ölçüm 33, yapılan en küçük ölçüm ise 5 olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre Schmidt sertliği ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, Schmidt sertliği değerleri 17,5-23,7 aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen Schmidt sertliği değerlerinin standart sapması ise $\pm 2,069$ olarak bulunmuştur.

H03 panosuna ait Schmidt sertliği sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.2 H03 panosuna ait Schmidt sertliği-net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişki.

H03 panosundan alınan numuneler ile toplam 160 adet Schmidt sertlik ölçümü yapılmış olup, yapılan en büyük ölçüm 43, yapılan en küçük ölçüm ise 5 olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre Schmidt sertliği ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, Schmidt sertliği değerleri 16,7-36,9 aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen Schmidt sertliği değerlerinin standart sapması ise $\pm 6,291$ olarak bulunmuştur.

4.2 Nokta Yükleme Dayanımı Deneyi

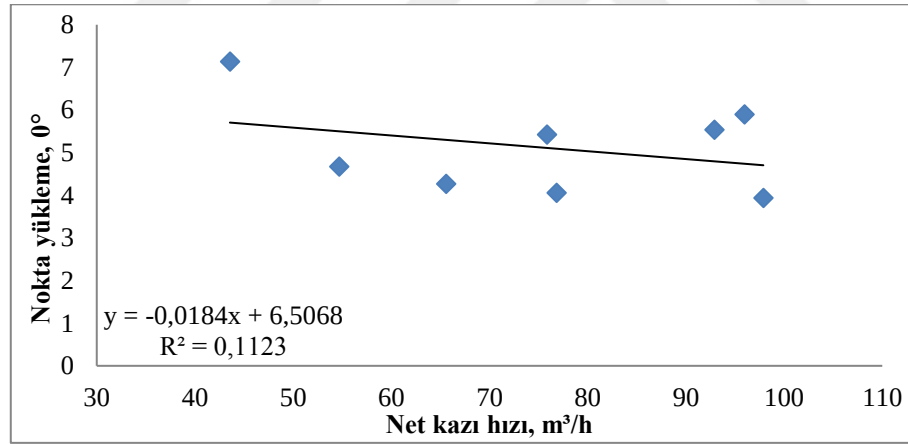
ISRM (1985) standartına göre nokta yükleme dayanımı ölçümleri alınan numunelerin, yine aynı standartın belirttiği üzere en büyük iki ölçüm verisi ile en küçük iki ölçüm verisi

hesaplamaya katılmadan geriye kalan verilerin ortalaması alınmıştır. Ortalaması alınan bu ölçüm verilerinden E05 ve H03 panolarına ait veriler Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 E05 ve H03 panolarına ait 0° ve 90° açıyla uygulanan ortalama nokta yükleme dayanımı (Mpa) sonuçları.

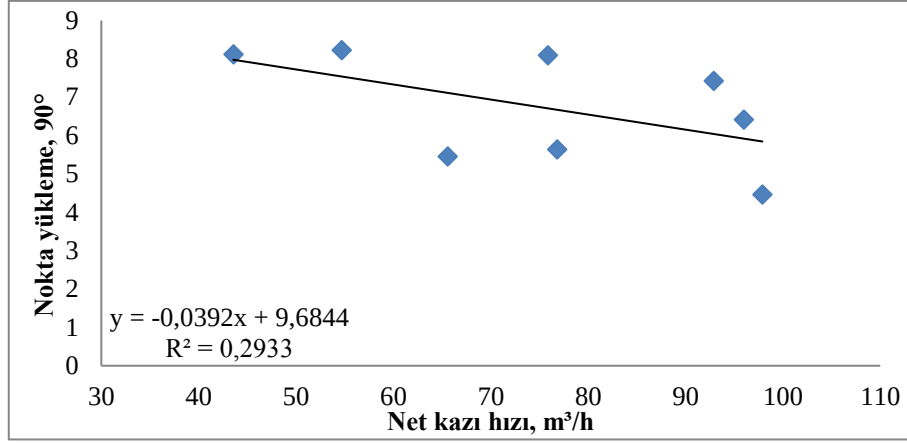
E05 Numuneleri	0°	90°	H03 Numuneleri	0°	90°
1	4,67	8,22	1	4,00	9,16
2	7,13	8,11	2	3,07	5,23
3	4,27	5,45	3	3,96	9,20
4	4,05	5,63	4	3,40	4,66
5	5,42	8,09	5	7,41	10,17
6	3,94	4,46	6	7,92	9,02
7	5,90	6,41	7	6,00	10,28
8	5,53	7,42	8	5,88	8,12

E05 panosuna ait nokta yükleme sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişkiler Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te sunulmuştur.



Şekil 4.3 E05 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-nokta yükleme (0°) arasındaki ilişki.

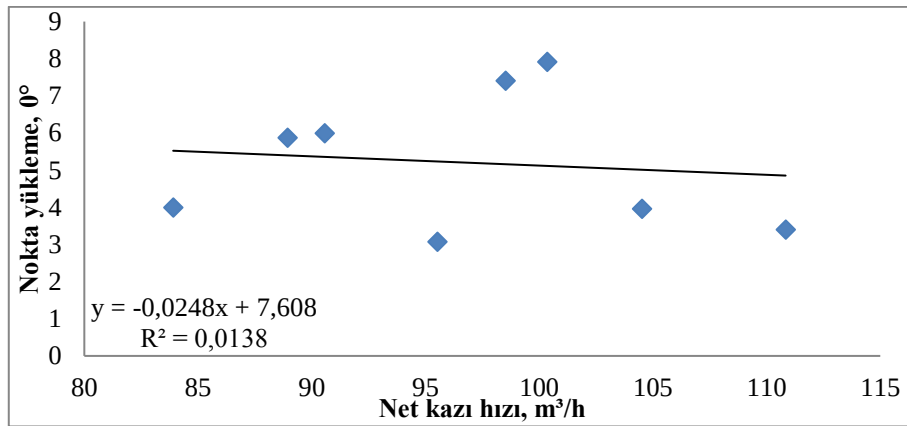
E05 panosundan alınan numuneler ile toplam 95 adet nokta yükleme (0°) ölçümü yapılmış olup, yapılan en büyük ölçüm 9,7 (Mpa), yapılan en küçük ölçüm ise 1,9 (Mpa) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre nokta yükleme dayanımı (0°) ile net kazı hızı (m³/h) arasındaki ilişkinin, nokta yükleme dayanımı (0°) değerleri 3,94-7,13 (Mpa) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen nokta yükleme dayanımı (0°) değerlerinin standart sapması ise $\pm 1,093$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.4 E05 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-nokta yükleme (90°) arasındaki ilişki.

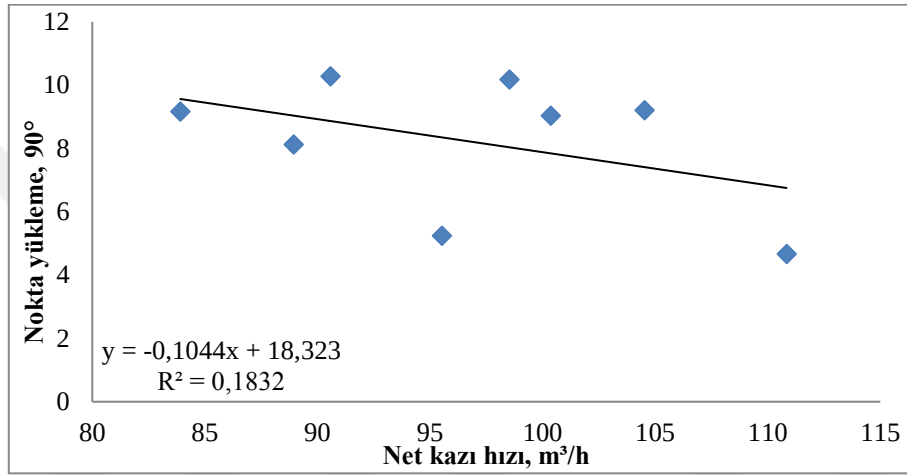
E05 panosundan alınan numuneler ile toplam 118 adet nokta yükleme (90°) ölçümü yapılmış olup, yapılan en büyük ölçüm 12,3 (Mpa), yapılan en küçük ölçüm ise 2,5 (Mpa) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre nokta yükleme dayanımı (90°) ile net kazı hızı (m³/h) arasındaki ilişkinin, nokta yükleme dayanımı (90°) değerleri 4,46-8,22 (Mpa) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen nokta yükleme dayanımı (90°) değerlerinin standart sapması ise $\pm 1,857$ olarak bulunmuştur.

H03 panosuna ait nokta yükleme sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişkiler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da sunulmuştur.



Şekil 4.5 H03 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-nokta yükleme (0°) arasındaki ilişki.

H03 panosundan alınan numuneler ile toplam 98 adet nokta yükleme (0^0) ölçümü yapılmış olup, yapılan en büyük ölçüm 9,6 (Mpa), yapılan en küçük ölçüm ise 1,5 (Mpa) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre nokta yükleme dayanımı (0^0) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, nokta yükleme dayanımı (0^0) değerleri 3,07-7,92 (Mpa) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen nokta yükleme dayanımı (0^0) değerlerinin standart sapması ise $\pm 1,441$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-nokta yükleme (90^0) arasındaki ilişki.

H03 panosundan alınan numuneler ile toplam 111 adet nokta yükleme (90^0) ölçümü yapılmış olup, yapılan en büyük ölçüm 15,6 (Mpa), yapılan en küçük ölçüm ise 3,2 (Mpa) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre nokta yükleme dayanımı (90^0) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, nokta yükleme dayanımı (90^0) değerleri 4,66-10,28 (Mpa) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen nokta yükleme dayanımı (90^0) değerlerinin standart sapması ise $\pm 2,143$ olarak bulunmuştur.

4.3 Tane Boyut Analizi

d_{03} , d_{06} , d_{16} , d_{10} , d_{25} , d_{50} , d_{75} , d_{84} , d_{90} ve d_{97} tane boyutlarında elde edilen sonuçlardan E05 panosuna ait olanlar Çizelge 4.3'te, H03 panosuna ait olanlar ise Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3 E05 panosuna ait tane boyut analizi (μm) sonuçları.

Numune	d ₀₃	d ₀₆	d ₁₀	d ₁₆	d ₂₅	d ₅₀	d ₇₅	d ₈₄	d ₉₀	d ₉₇
1	3,042	4,372	6,616	11,02	20,54	79,21	137,6	164,5	189,4	240,5
2	3,11	4,381	6,389	10,22	18,36	63,99	121,3	148	171,9	219,1
3	3,366	5,187	8,653	17,33	38,76	99,34	147,8	170,1	189,5	225,6
4	4,33	8,7	19,14	47,32	78,15	125,8	176,5	202,6	228,3	288,8
5	3,563	6,088	11,17	22,19	44,44	95,18	145,8	170,8	193,1	238,7
6	3,826	6,614	12,72	27,74	53,96	102,3	150,9	174,4	195,5	239,5
7	3,088	4,287	6,091	9,309	15,75	54,96	120,6	147,9	171,4	218
8	4,384	8,594	18,11	41,08	72,49	121,8	174,7	202,9	232,8	312,9

Çizelge 4.4 H03 panosuna ait tane boyut analizi (μm) sonuçları.

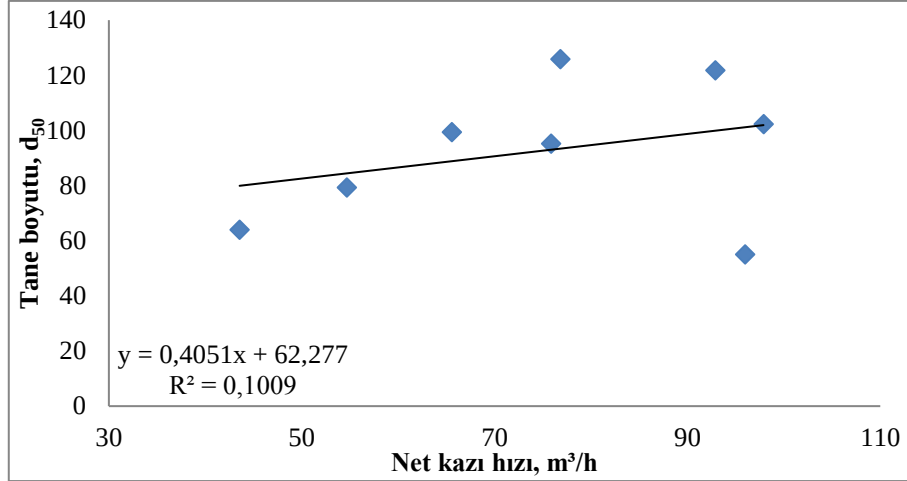
Numune	d ₀₃	d ₀₆	d ₁₀	d ₁₆	d ₂₅	d ₅₀	d ₇₅	d ₈₄	d ₉₀	d ₉₇
1	3,545	5,36	8,244	14,27	27,97	91,12	139,8	162,7	184,1	227,4
2	3,769	6,459	11,74	24,13	52,77	103,1	149,2	172,3	193,6	238
3	5,831	13,93	34,67	60,95	83,46	128,6	180,2	208,4	236,3	316
4	5,63	15,28	43,86	70,78	91,85	132,4	179,7	207	235,4	313,5
5	3,648	5,779	9,534	17,86	34,23	85,33	141,5	168,9	193,3	241,8
6	4,24	9,405	22,57	47,42	71,43	118	172,9	203,1	235,7	322,7
7	3,631	6,023	10,92	24,63	56,65	109,9	165,5	196,8	229,7	351,5
8	4,106	6,493	10,24	17,54	33,22	90,5	150	182,2	217,2	332,1

Literatürde kullanımı en yaygın olarak tercih edilen d₅₀ ortalama tane boyutu olması nedeniyle bu yüksek lisans tez çalışmasında d₅₀ ortalama tane boyutu esas alınmıştır. d₅₀'ye ait tane boyut analizi sonuçlarından E05 ve H03 panolarına ait olanlar Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.5 E05 ve H03 panolarına ait d₅₀ tane boyut analizi (μm) sonuçları.

E05 Numuneleri	Tane boyutu (d ₅₀)	H03 Numuneleri	Tane boyutu (d ₅₀)
1	79,21	1	91,12
2	63,99	2	103,1
3	99,34	3	128,6
4	125,8	4	132,4
5	95,18	5	85,33
6	102,3	6	118
7	54,96	7	109,9
8	121,8	8	90,5

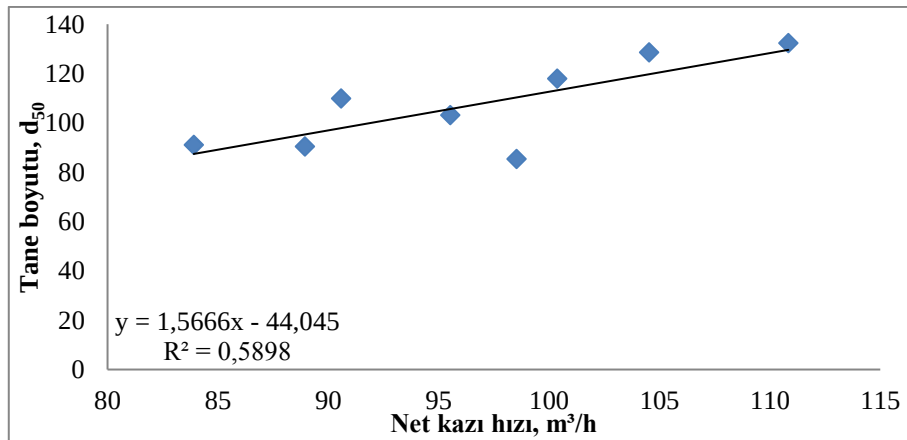
E05 panosuna ait tane boyutu (d₅₀) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki Şekil 4.7'de sunulmuştur.



Şekil 4.7 E05 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-tane boyutu (d₅₀) arasındaki ilişki.

E05 panosundan alınan numuneler ile toplam 80 adet tane boyut analiz ölçümü yapılmış olup, bunlardan en yaygın olarak kullanılan d₅₀ ile ilgili yapılan en büyük ölçüm 125,8 µm, yapılan en küçük ölçüm ise 54,96 µm olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre tane boyutu (d₅₀) ile net kazı hızı (m³/h) arasındaki ilişkinin, tane boyutu (d₅₀) 54,96-125,8 (µm) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen tane boyutu (d₅₀) değerlerinin standart sapması ise ±25,397 olarak bulunmuştur.

H03 panosuna ait tane boyutu (d₅₀) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki Şekil 4.8’de sunulmuştur.



Şekil 4.8 H03 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-tane boyutu (d₅₀) arasındaki ilişki.

H03 panosundan alınan numuneler ile toplam 80 adet tane boyut analiz ölçümü yapılmış olup, bunlardan en yaygın olarak kullanılan d_{50} ile ilgili yapılan en büyük ölçüm 132,4 μm , yapılan en küçük ölçüm ise 85,33 μm olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre tane boyutu (d_{50}) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, tane boyutu (d_{50}) 85,33-132,4 (μm) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen tane boyutu (d_{50}) değerlerinin standart sapması ise $\pm 17,925$ olarak bulunmuştur.

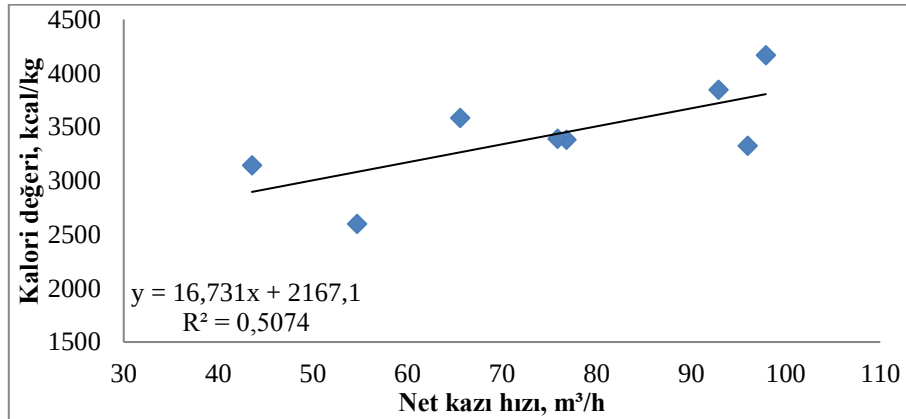
4.4 Kalori Tayini

Çalışmada tespit edilen kalori tayini sonuçlarından E05 ve H03 panolarına ait olanlar Çizelge 4.6’da sunulmuştur.

Çizelge 4.6 E05 ve H03 panolarına ait kalori tayini (kcal/kg) sonuçları.

E05 Numuneleri	Kalori Değerleri (kcal/kg)	H03 Numuneleri	Kalori Değerleri (kcal/kg)
1	2337	1	2603
2	2828	2	2219
3	3225	3	3356
4	3042	4	3367
5	3050	5	3455
6	3751	6	3507
7	2991	7	2987
8	3460	8	2799

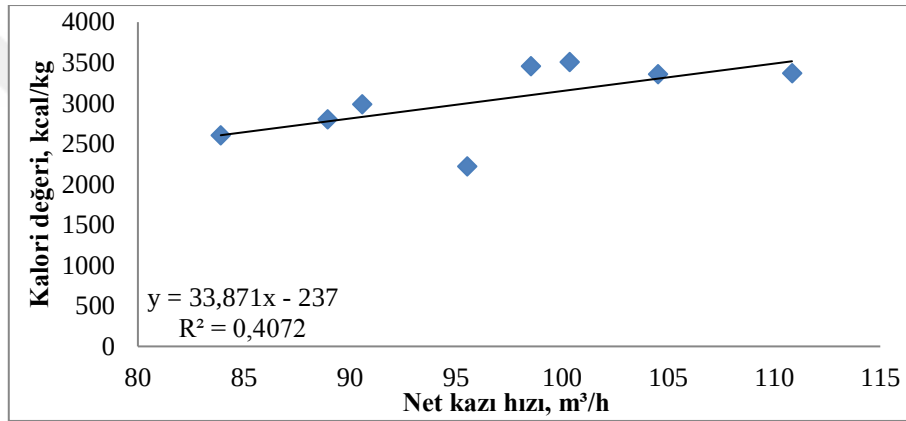
E05 panosuna ait kalori tayini (kcal/kg) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki Şekil 4.9’da sunulmuştur.



Şekil 4.9 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-kalori tayini (kcal/kg) arasındaki ilişki.

E05 panosundan alınan numuneler ile toplam 8 adet kalori tayini ölçümü yapılmış olup, yapılan en büyük ölçüm 3751 (kcal/kg), yapılan en küçük ölçüm ise 2337 (kcal/kg) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre kalori tayini (kcal/kg) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, kalori tayini (kcal/kg) 2337-3751 (kcal/kg) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen kalori (kcal/kg) değerlerinin standart sapması ise $\pm 421,094$ olarak bulunmuştur.

H03 panosuna ait kalori tayini (kcal/kg) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki Şekil 4.10'da sunulmuştur.



Şekil 4.10 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-kalori tayini (kcal/kg) arasındaki ilişki.

H03 panosundan alınan numuneler ile toplam 8 adet kalori tayini ölçümü yapılmış olup, yapılan en büyük ölçüm 3507 (kcal/kg), yapılan en küçük ölçüm ise 2219 (kcal/kg) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre kalori tayini (kcal/kg) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, kalori tayini (kcal/kg) 2219-3507 (kcal/kg) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen kalori (kcal/kg) değerlerinin standart sapması ise $\pm 466,431$ olarak bulunmuştur.

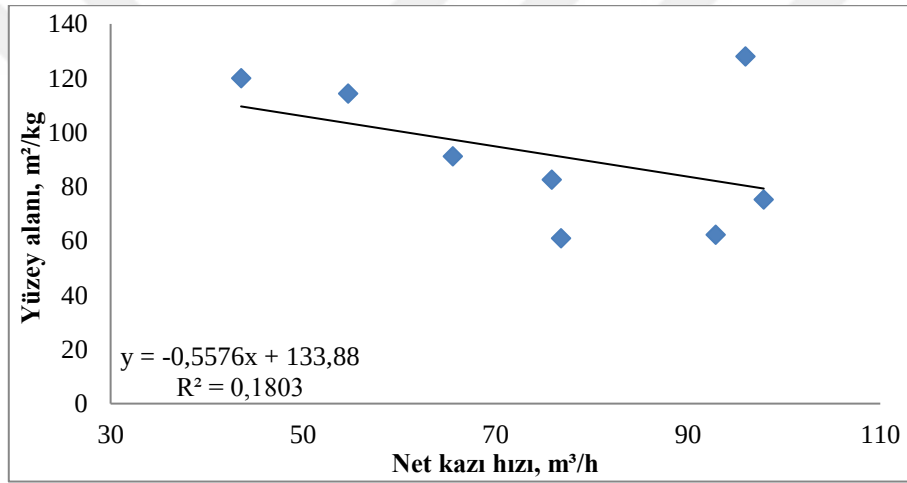
4.5 Yüzey Alanı Ölçümü

Bu tez çalışmasında yüzey alanı ölçüm deneylerinde elde edilen sonuçlardan E05 ve H03 panolarına ait olanlar Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.7 E05 ve H03 panolarına ait yüzey alanı ölçüm (m^2/kg) sonuçları.

E05 Numuneleri	Yüzey Alanı (m^2/kg)	H03 Numuneleri	Yüzey Alanı (m^2/kg)
1	114,3	1	95,53
2	120	2	77,63
3	91,14	3	49,23
4	61,02	4	47,98
5	82,61	5	88,53
6	75,3	6	71,36
7	128	7	78,41
8	62,25	8	82,95

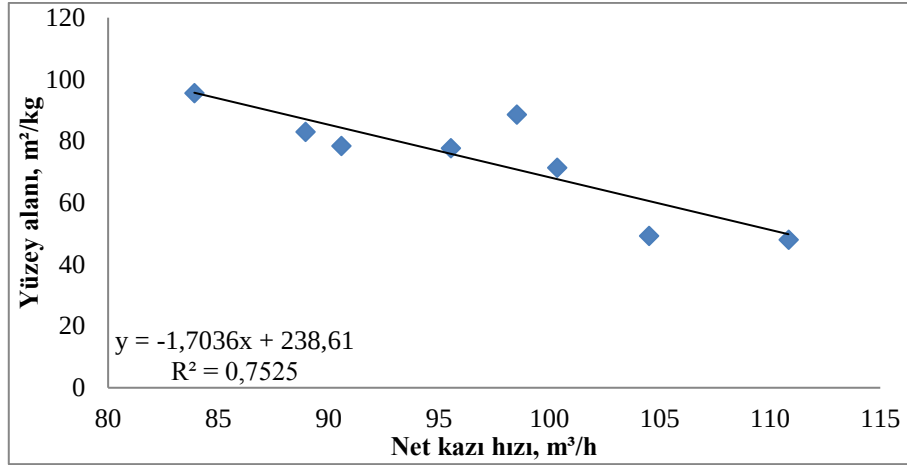
E05 panosuna ait yüzey alanı (m^2/kg) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki Şekil 4.11’de sunulmuştur.



Şekil 4.11 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-yüzey alanı (m^2/kg) arasındaki ilişki.

E05 panosundan alınan numuneler ile toplam 8 adet yüzey alanı (m^2/kg) ölçümü yapılmış olup, yapılan en büyük ölçüm 128 (m^2/kg), yapılan en küçük ölçüm ise 61,02 (m^2/kg) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre yüzey alanı (m^2/kg) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, yüzey alanı (m^2/kg) 61,02-128 (m^2/kg) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen yüzey alanı (m^2/kg) değerlerinin standart sapması ise $\pm 26,157$ olarak bulunmuştur.

H03 panosuna ait yüzey alanı (m^2/kg) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki Şekil 4.12’de sunulmuştur.



Şekil 4.12 H03 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-yüzey alanı (m²/kg) arasındaki ilişki.

H03 panosundan alınan numuneler ile toplam 8 adet yüzey alanı (m²/kg) ölçümü yapılmış olup, yapılan en büyük ölçüm 95,53 (m²/kg), yapılan en küçük ölçüm ise 47,98 (m²/kg) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre yüzey alanı (m²/kg) ile net kazı hızı (m³/h) arasındaki ilişkinin, yüzey alanı (m²/kg) 47,98-95,53 (m²/kg) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen yüzey alanı (m²/kg) değerlerinin standart sapması ise $\pm 17,258$ olarak bulunmuştur.

4.6 Net Kazı Hızı

Bu tez çalışmasında net kazı hızına (NKH, m³/h) ait bulgulardan E05 ve H03 panolarına ait olanlar Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Çizelge 4.8 E05 ve H03 panolarına ait net kazı hızı (NKH, m³/h) sonuçları.

E05 Numuneleri	Net Kazı Hızı (m³/h)	H03 Numuneleri	Net Kazı Hızı (m³/h)
1	54,68444	1	83,90737
2	43,55773	2	95,52709
3	65,56644	3	104,5233
4	76,82216	4	110,8377
5	75,86215	5	98,52857
6	97,8897	6	100,3582
7	95,97813	7	90,57487
8	92,89921	8	88,93902

Elde edilen bulgulara göre E05 panosuna ait net kazı hızı (NKH, m³/h) değerlerinin standart sapması $\pm 19,919$, H03 panosuna ait net kazı hızı (NKH, m³/h) değerlerinin standart sapması ise $\pm 8,787$ olarak bulunmuştur.

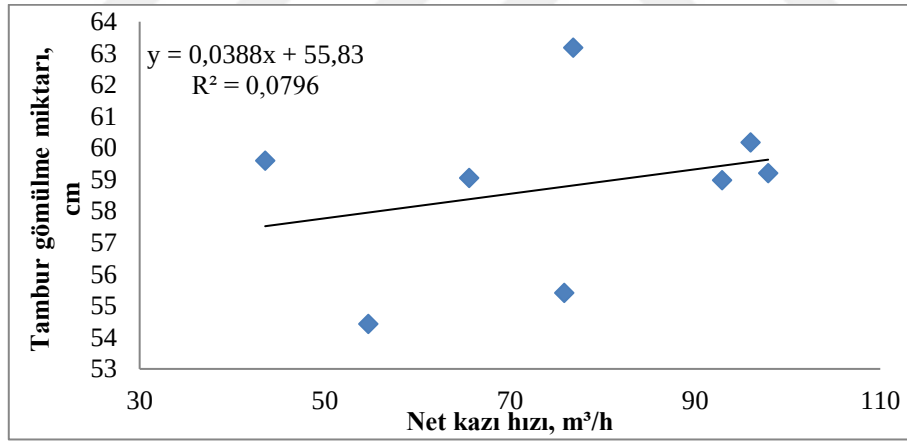
4.7 Tambur Gömölme Miktarı

Bu tez çalışmasında kesici-yüleyici makina tamburunun ortalama gömölme miktarına (cm) ait bulgulardan E05 ve H03 panolarına ait olanlar Çizelge 4.9’da sunulmuştur.

Çizelge 4.9 E05 ve H03 panolarına ait ortalama tambur gömölme miktarı (cm) sonuçları.

E05 Numuneleri	Ort. Tambur Gömölme Miktarı (cm)	H03 Numuneleri	Ort. Tambur Gömölme Miktarı (cm)
1	54,43277	1	59,83541
2	59,60295	2	61,33799
3	59,05609	3	61,59681
4	63,1841	4	64,89321
5	55,41046	5	59,59757
6	59,208	6	64,12053
7	60,18001	7	62,62731
8	58,98237	8	60,65709

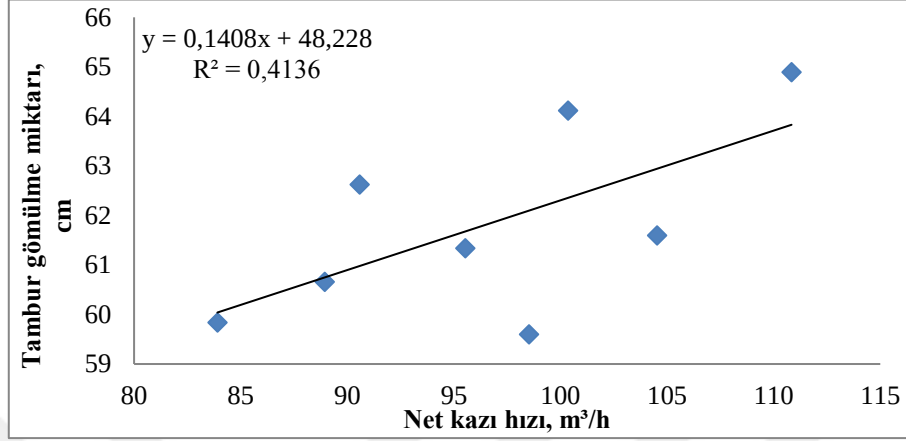
E05 panosuna ait tambur gömölme miktarı (cm) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki Şekil 4.13’te sunulmuştur.



Şekil 4.13 E05 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-tambur gömölme miktarı (cm) arasındaki ilişki.

E05 panosunda numune alınan bölgelerdeki veriler ile toplam 8 adet tambur gömölme miktarı (cm) değeri hesaplanmış olup, yapılan hesaplamalardan en büyüğü 63,18 (cm), yapılan hesaplamalardan en küçüğü ise 54,43 (cm) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre tambur gömölme miktarı (cm) ile net kazı hızı (m³/h) arasındaki ilişkinin, tambur gömölme miktarı (cm) 54,43-63,18 (cm) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen tambur gömölme miktarı (cm) değerlerinin standart sapması ise $\pm 2,740$ olarak bulunmuştur.

H03 panosuna ait tambur gömülme miktarı (cm) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki Şekil 4.14'te sunulmuştur.



Şekil 4.14 H03 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-tambur gömülme miktarı (cm) arasındaki ilişki.

H03 panosunda numune alınan bölgelerdeki veriler ile toplam 8 adet tambur gömülme miktarı (cm) değeri hesaplanmış olup, yapılan hesaplamalardan en büyüğü 64,89 (cm), yapılan hesaplamalardan en küçüğü ise 59,59 (cm) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre tambur gömülme miktarı (cm) ile net kazı hızı (m³/h) arasındaki ilişkinin, tambur gömülme miktarı (cm) 59,59-64,89 (cm) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen tambur gömülme miktarı (cm) değerlerinin standart sapması ise $\pm 1,923$ olarak bulunmuştur.

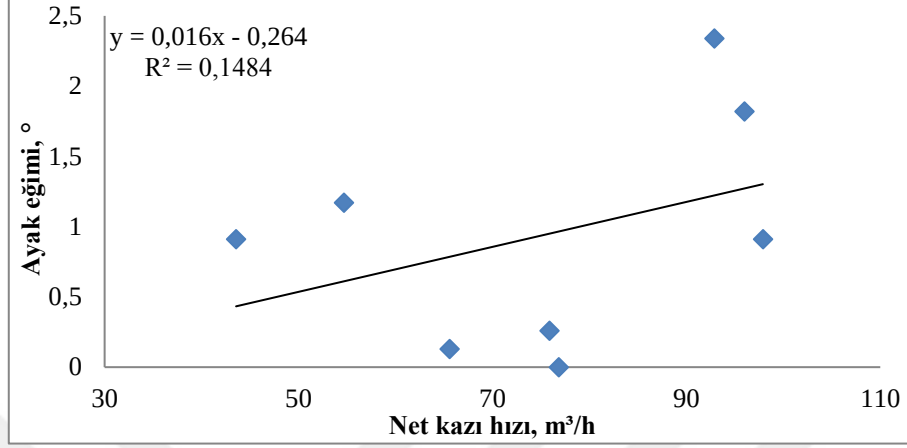
4.8 Ayak Eğimi

Bu tez çalışmasında ortalama ayak eğimine (°) ait bulgulardan E05 ve H03 panolarına ait olanlar Çizelge 4.10'da sunulmuştur.

Çizelge 4.10 E05 ve H03 panolarına ait ortalama ayak eğimi (°) sonuçları.

E05 Numuneleri	Ort. Ayak Eğimi (°)	H03 Numuneleri	Ort. Ayak Eğimi (°)
1	1,17	1	5,6
2	0,91	2	5,6
3	0,13	3	5,87
4	0	4	6
5	0,26	5	5,47
6	0,91	6	4,82
7	1,82	7	4,56
8	2,34	8	4,17

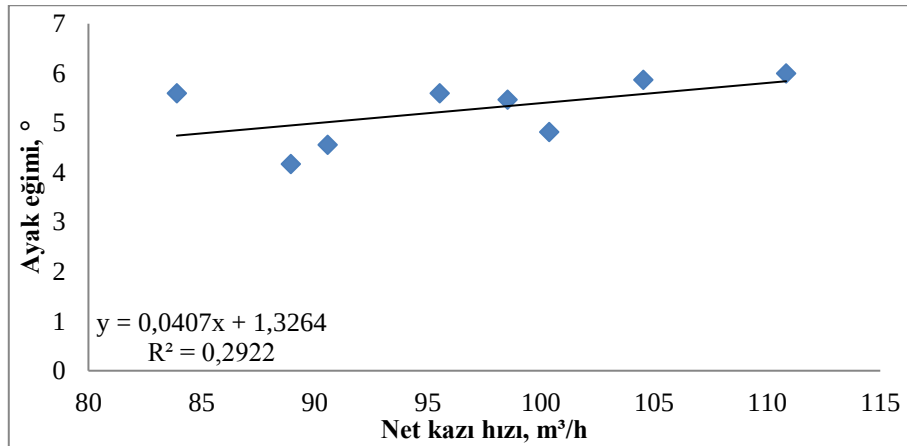
E05 panosuna ait ayak eğimi ($^{\circ}$) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki Şekil 4.15'te sunulmuştur.



Şekil 4.15 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-ayak eğimi ($^{\circ}$) arasındaki ilişki.

E05 panosunda numune alınan bölgelerdeki veriler ile toplam 8 adet ayak eğimi ($^{\circ}$) değeri hesaplanmış olup, yapılan hesaplamalardan en büyüğü $2,34 (^{\circ})$, yapılan hesaplamalardan en küçüğü ise $0 (^{\circ})$ olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre ayak eğimi ($^{\circ}$) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, ayak eğimi ($^{\circ}$) $0-2,34 (^{\circ})$ aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen ayak eğimi ($^{\circ}$) değerlerinin standart sapması ise $\pm 0,827$ olarak bulunmuştur.

H03 panosuna ait ayak eğimi ($^{\circ}$) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki Şekil 4.16'da sunulmuştur.



Şekil 4.16 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-ayak eğimi ($^{\circ}$) arasındaki ilişki.

H03 panosunda numune alınan bölgelerdeki veriler ile toplam 8 adet ayak eğimi ($^{\circ}$) değeri hesaplanmış olup, yapılan hesaplamalardan en büyüğü 6 ($^{\circ}$), yapılan hesaplamalardan en küçüğü ise 4,17 ($^{\circ}$) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre ayak eğimi ($^{\circ}$) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, ayak eğimi ($^{\circ}$) 4,17-6 ($^{\circ}$) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen ayak eğimi ($^{\circ}$) değerlerinin standart sapması ise $\pm 0,661$ olarak bulunmuştur.

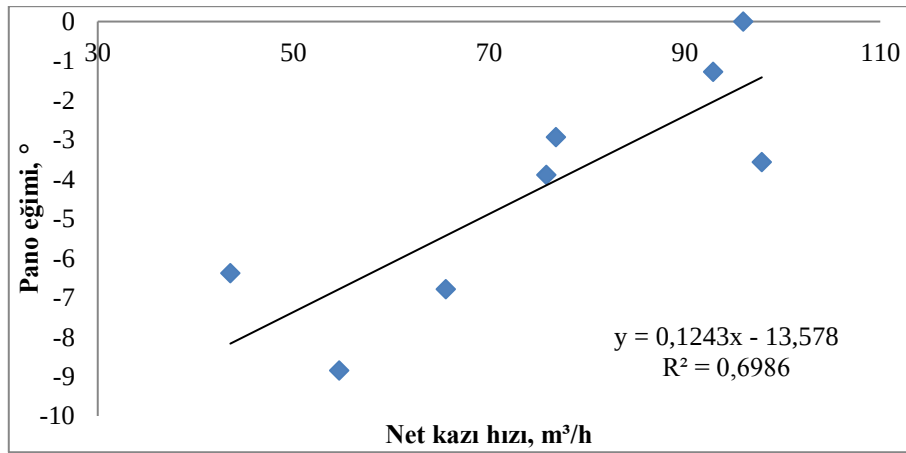
4.9 Pano Eğimi

Bu tez çalışmasında ortalama pano eğimine ($^{\circ}$) ait bulgulardan E05 ve H03 panolarına ait olanlar Çizelge 4.11’de sunulmuştur.

Çizelge 4.11 E05 ve H03 panolarına ait ortalama pano eğimi ($^{\circ}$) sonuçları.

E05 Numuneleri	Pano Eğimi ($^{\circ}$)	H03 Numuneleri	Pano Eğimi ($^{\circ}$)
1	-8,8498	1	0,4658
2	-6,3793	2	0,687
3	-6,786	3	0,67
4	-2,9288	4	3,207
5	-3,8874	5	4,5624
6	-3,561	6	4,3636
7	0	7	7,2312
8	-1,2733	8	7,9835

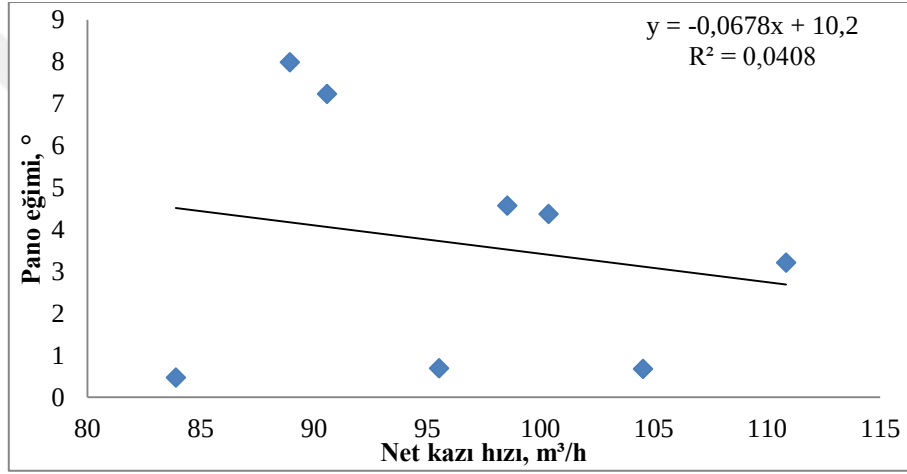
E05 panosuna ait pano eğimi ($^{\circ}$) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki Şekil 4.17’de sunulmuştur.



Şekil 4.17 E05 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-pano eğimi ($^{\circ}$) arasındaki ilişki.

E05 panosunda numune alınan bölgelerdeki veriler ile toplam 8 adet pano eğimi ($^{\circ}$) değeri hesaplanmış olup, yapılan hesaplamalardan en büyüğü 0° , yapılan hesaplamalardan en küçüğü ise $-8,84^{\circ}$ olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre pano eğimi ($^{\circ}$) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, pano eğimi ($^{\circ}$) $-8,84-0^{\circ}$ aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen pano eğimi ($^{\circ}$) değerlerinin standart sapması ise $\pm 2,961$ olarak bulunmuştur.

H03 panosuna ait pano eğimi ($^{\circ}$) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki Şekil 4.18’de sunulmuştur.



Şekil 4.18 H03 panosuna ait net kazı hızı (m^3/h)-pano eğimi ($^{\circ}$) arasındaki ilişki.

H03 panosunda numune alınan bölgelerdeki veriler ile toplam 8 adet pano eğimi ($^{\circ}$) değeri hesaplanmış olup, yapılan hesaplamalardan en büyüğü $7,98^{\circ}$, yapılan hesaplamalardan en küçüğü ise $0,46^{\circ}$ olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre pano eğimi ($^{\circ}$) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, pano eğimi ($^{\circ}$) $0,46-7,98^{\circ}$ aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen pano eğimi ($^{\circ}$) değerlerinin standart sapması ise $\pm 2,950$ olarak bulunmuştur.

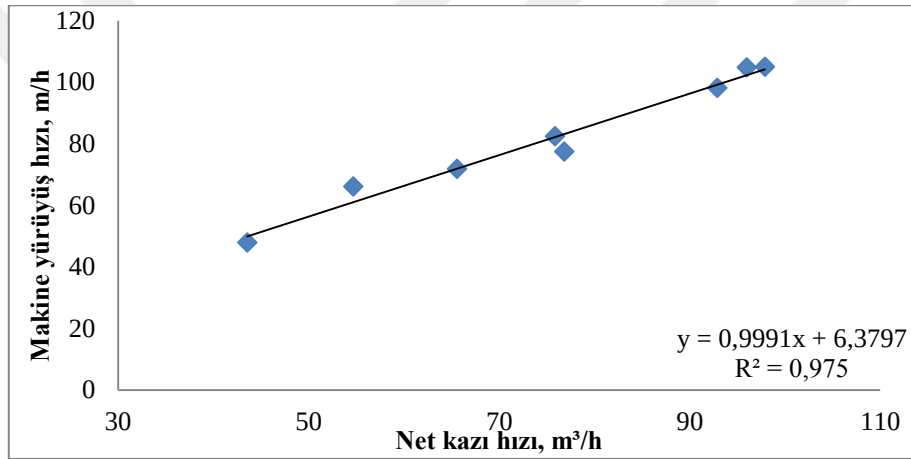
4.10 Makine Yürüyüş Hızı

Bu tez çalışmasında tamburlu kesici yükleyici makine yürüyüş hızlarına (m/h) ait bulgulardan E05 ve H03 panolarına ait olanlar Çizelge 4.12’de sunulmuştur.

Çizelge 4.12 E05 ve H03 panolarına ait tamburlu kesici-yükleyici yürüyüş hızı (m/h) sonuçları.

E05 Numuneleri	Makine Yürüyüş Hızı (m/h)	H03 Numuneleri	Makine Yürüyüş Hızı (m/h)
1	66,14419	1	97,1085
2	47,92866	2	112,1243
3	71,86033	3	112,3533
4	77,40306	4	114,0041
5	82,48689	5	110,044
6	104,9533	6	109,312
7	104,7708	7	106,42
8	98,18993	8	110,7539

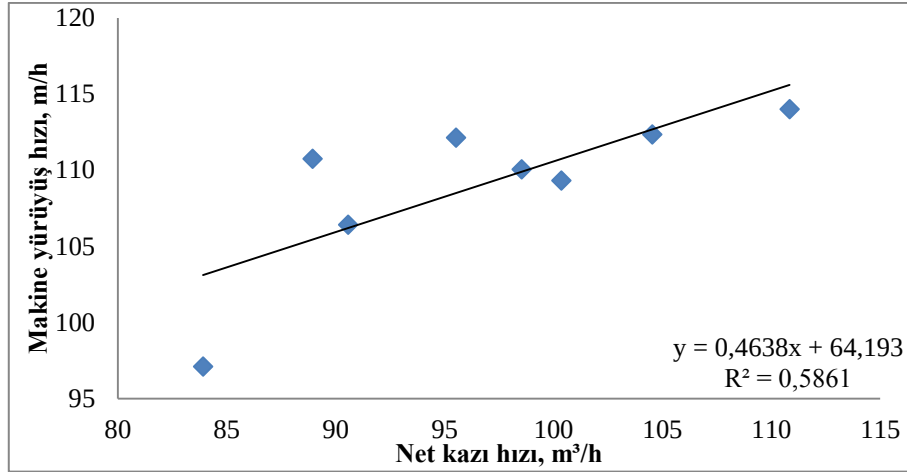
E05 panosuna ait makine yürüyüş hızı (m/h) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki Şekil 4.19’da sunulmuştur.



Şekil 4.19 E05 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-makine yürüyüş hızı (m/h) arasındaki ilişki.

E05 panosunda numune alınan bölgelerdeki veriler ile toplam 8 adet makine yürüyüş hızı (m/h) değeri hesaplanmış olup, yapılan hesaplamalardan en büyüğü 104,95 (m/h), yapılan hesaplamalardan en küçüğü ise 47,92 (m/h) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre makine yürüyüş hızı (m/h) ile net kazı hızı (m³/h) arasındaki ilişkinin, makine yürüyüş hızı (m/h) 47,92-104,95 (m/h) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen makine yürüyüş hızı (m/h) değerlerinin standart sapması ise $\pm 20,153$ olarak bulunmuştur.

H03 panosuna ait makine yürüyüş hızı (m/h) sonuçları ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki Şekil 4.20’de sunulmuştur.



Şekil 4.20 H03 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-makine yürüyüş hızı (m/h) arasındaki ilişki.

H03 panosunda numune alınan bölgelerdeki veriler ile toplam 8 adet makine yürüyüş hızı (m/h) değeri hesaplanmış olup, yapılan hesaplamalardan en büyüğü 114 (m/h), yapılan hesaplamalardan en küçüğü ise 97,1 (m/h) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre makine yürüyüş hızı (m/h) ile net kazı hızı (m³/h) arasındaki ilişkinin, makine yürüyüş hızı (m/h) 97,1-114 (m/h) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen makine yürüyüş hızı (m/h) değerlerinin standart sapması ise $\pm 5,323$ olarak bulunmuştur.

4.11 Öğütülebilirliğin Kazı Performansına Etkisi

Bu tez çalışmasında öğütülebilirliğin kazı performansına etkisine ait bulgulardan E05 panosuna ait olanlar Çizelge 4.13'te sunulmuştur.

Çizelge 4.13 E05 panosuna ait öğütülebilirliğin (%) kazı performansına etkisi sonuçları.

E05 Numuneleri	<106 μm malzeme (g)	<106 μm malzeme (%)	106-212 μm malzeme (g)	106-212 μm malzeme (%)	>212 μm malzeme (g)	>212 μm malzeme (%)	Toplam Beslenen Malzeme Miktarı (g)
1	91	27,65957	64	19,45289	174	52,88754	329
2	69	20,84592	69	20,84592	193	58,30816	331
3	87	26,76923	59	18,15385	179	55,07692	325

Çizelge 4.13 (Devam) E05 panosuna ait öğütülebilirliğin (%) kazı performansına etkisi sonuçları.

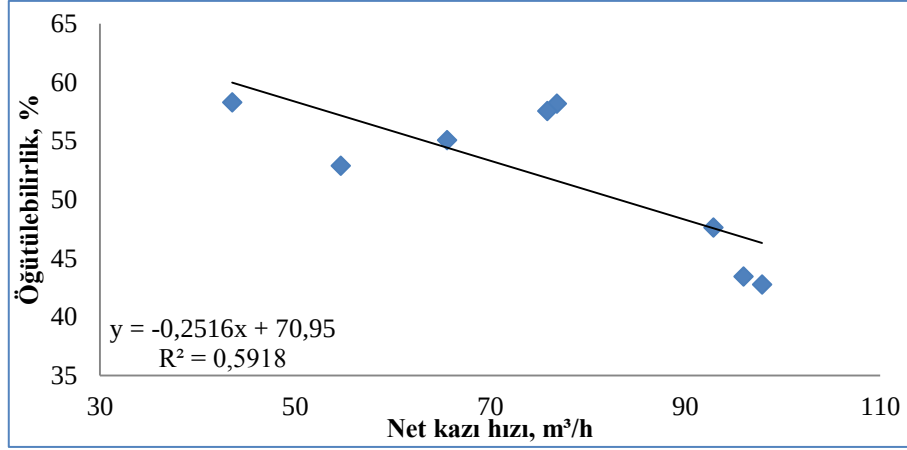
E05 Numuneleri	<106 μm malzeme (g)	<106 μm malzeme (%)	106-212 μm malzeme (g)	106-212 μm malzeme (%)	>212 μm malzeme (g)	>212 μm malzeme (%)	Toplam Beslenen Malzeme Miktarı (g)
4	67	22,40803	58	19,39799	174	58,19398	299
5	79	24,84277	56	17,61006	183	57,54717	318
6	86	31,15942	72	26,08696	118	42,75362	276
7	93	32,06897	71	24,48276	126	43,44828	290
8	87	31,86813	56	20,51282	130	47,61905	273

Bu tez çalışmasında öğütülebilirliğin kazı performansına etkisine ait bulgulardan H03 panosuna ait olanlar Çizelge 4.14'te sunulmuştur.

Çizelge 4.14 H03 panosuna ait öğütülebilirliğin (%) kazı performansına etkisi sonuçları.

H03 Numuneleri	<106 μm malzeme (g)	<106 μm malzeme (%)	106-212 μm malzeme (g)	106-212 μm malzeme (%)	>212 μm malzeme (g)	>212 μm malzeme (%)	Toplam Beslenen Malzeme Miktarı (g)
1	113	30,87432	66	18,03279	187	51,0929	366
2	92	25,77031	57	15,96639	208	58,26331	357
3	89	27,55418	77	23,83901	157	48,60681	323
4	126	35,39326	71	19,94382	159	44,66292	356
5	101	27,97784	65	18,00554	195	54,01662	361
6	96	28,57143	78	23,21429	162	48,21429	336
7	78	24,5283	57	17,92453	183	57,54717	318
8	83	24,70238	60	17,85714	193	57,44048	336

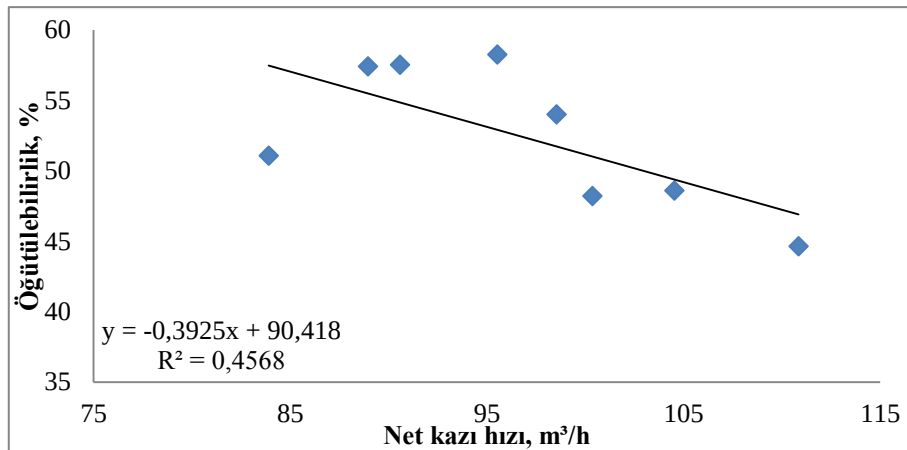
E05 panosuna ait öğütülebilirliğin kazı performansına etkisi ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki Şekil 4.21'de sunulmuştur.



Şekil 4.21 E05 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-öğütülebilirliğin (%) kazı performansına etkisi arasındaki ilişki.

E05 panosundan alınan numuneler ile toplam 8 adet öğütülebilirlik (%) ölçümü yapılmış olup, en büyük ölçüm 58,30 (%), yapılan en küçük ölçüm ise 42,75 (%) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre öğütülebilirlik (%) ile net kazı hızı (m³/h) arasındaki ilişkinin, öğütülebilirlik (%) 42,75-58,3 (%) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. E05 panosunda elde edilen öğütülebilirlik (%) değerlerinin standart sapması ise $\pm 6,513$ olarak bulunmuştur.

H03 panosuna ait öğütülebilirliğin kazı performansına etkisi ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki Şekil 4.22’de sunulmuştur.



Şekil 4.22 H03 panosuna ait net kazı hızı (m³/h)-öğütülebilirliğin (%) kazı performansına etkisi arasındaki ilişki.

H03 panosundan alınan numuneler ile toplam 8 adet öğütülebilirlik (%) ölçümü yapılmış olup, en büyük ölçüm 58,26 (%), yapılan en küçük ölçüm ise 44,66 (%) olarak bulunmuştur. Her bir numune için elde edilen bulgulara göre öğütülebilirlik (%) ile net kazı hızı (m^3/h) arasındaki ilişkinin, öğütülebilirlik (%) 44,66-58,26 (%) aralığında iken anlamlı olduğu tespit edilmiştir. H03 panosunda elde edilen öğütülebilirlik (%) değerlerinin standart sapması ise $\pm 5,103$ olarak bulunmuştur.

Bu tez çalışmasında deney ve veri analizleri sonucunda elde edilen tüm bulgulara ait regresyon değerleri Çizelge 4.15'te sunulmuştur.

Çizelge 4.15 E05 ve H03 panolarına ait tüm karşılaştırma parametrelerine ait regresyon ilişkileri.

	E05	H03
	Net Kazı Hızı (m^3/h)	Net Kazı Hızı (m^3/h)
Schmidt Değeri	0,7236	0,6121
Nokta Yükleme Dayanımı ($0^\circ/90^\circ$)	0,1123/0,2933	0,0138/0,1832
Tane Boyutu (d_{50})	0,1009	0,5898
Kalori Değeri (kcal/kg)	0,5074	0,4072
Yüzey Alanı (m^2/kg)	0,1803	0,7525
Tambur Gömülme Miktarı (cm)	0,0796	0,4136
Ayak Eğimi ($^\circ$)	0,1484	0,2922
Pano Eğimi ($^\circ$)	0,6986	0,0408
Makine Yürüyüş Hızı (m/h)	0,975	0,5861
Öğütülebilirlik (%)	0,5918	0,4568

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Park Termik A.Ş. Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesi E05 ve H03 panolarındaki Eickhoff SL 300 marka tamburlu kesici-yükleyicilerin kazı performansları, kömürün fiziko-mekanik özellikleri dikkate alınarak incelenmiş olup aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan E05 panosuna ait en yüksek ilişkili parametreler net kazı hızı (NKH, m³/h) ile tamburlu kesici yükleyici makine yürüyüş hızı (m/h) olup, $R^2=0,975$ ve $y=0,9991x+6,3797$ sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen sonuçlardan E05 panosuna ait en düşük ilişkili parametreler net kazı hızı (NKH, m³/h) ile kesici-yükleyici makine tamburu gömülme miktarı (cm) olup, $R^2=0,0796$ ve $y=0,0388x+55,83$ sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen sonuçlardan H03 panosuna ait en yüksek ilişkili parametreler net kazı hızı (NKH, m³/h) ile yüzey alanı ölçümü (m²/kg) olup, $R^2=0,7525$ ve $y=-1,7036x+238,61$ sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen sonuçlardan H03 panosuna ait en düşük ilişkili parametreler net kazı hızı (NKH, m³/h) ile nokta yükleme dayanımı (σ) olup, $R^2=0,0138$ ve $y=-0,0248x+7,608$ sonucuna ulaşılmıştır.

E05 panosunda elde edilen bulgulara göre Schmidt sertlik değerleri ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki 6. ve 8. numuneler hariç doğru orantılıdır. Yapılan incelemeler doğrultusunda özellikle 4., 6. ve 8. numunelerin alındığı bölgelerdeki kömürlerin iri taneli (gevrek kırılma özelliği gösteren) olmaları Schmidt sertliğinin artmış olmasına rağmen kazı verimine olumlu yönde etki ettiği görülmektedir. Bununla beraber 6., 7. ve 8. numunelerin alındığı bölgelerdeki kazı şartları incelendiğinde, kazı yönündeki eğim azalışının kazı verimine olumlu etki ettiği belirlenmiştir. 1. ve 2. numunelerin

alındığı bölgelerdeki kömürlerin sertliğin azalmasına bağlı olarak kazı veriminin de azalmasıyla, ayak yeni kurulmuş olmasına bağlı olarak yeterince istihsal basıncından yararlanılamadığı sonucuna varılmıştır.

H03 panosunda elde edilen bulgulara göre Schmidt sertlik değerleri ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki 3., 6. ve 8. numuneler hariç ters orantılıdır. Normal şartlarda 3., 6. ve 8. numunelerin alındığı bölgelerdeki kömürlerin sertliklerinin artmasına bağlı olarak kazı veriminde azalma olması beklenirken kazı veriminde artış meydana gelmesini, o bölgelerdeki kömürlerin iri taneli olmaları sebebiyle gevrek (kolay kırılan) kırılma şartlarının daha baskın geldiği ve özellikle 3. ve 6. numunelerde kalori değerinin fazla olmasının mekanize kazıya olumlu etki ettiği sonucuna varılmıştır.

E05 panosunda elde edilen sonuçlara göre nokta yükleme (0⁰) ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki 8. numune hariç ters orantılıdır. Kömürlerde basınç dayanımındaki artışın kazı verimini olumsuz etkilemesi olağandır. Ancak 8. numunenin alındığı bölgedeki kömürler incelendiğinde, o bölgenin çökelme havzasında en alt ve kıvrımlanmaların fazla olduğu bölgede yer almasından dolayı basınç dayanımının azalmasına rağmen üretim ayağında tavan ve arın kontrolü zorluğu sebebiyle net kazı hızının düştüğü sonucuna varılmıştır.

H03 panosunda elde edilen sonuçlara göre nokta yükleme (0⁰) ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki 2., 4. ve 5. numuneler hariç doğru orantılıdır. Normal şartlarda ters orantılı olması beklenen basınç dayanımı ile kazı veriminin özellikle 3., 6. ve 7. numunelerde doğru orantılı olmasının nedeninin, bu numunelerin alındığı bölgedeki kömürlerin iri taneli olmaları sonucu gevrek kırılmalarıyla daha az enerji sarf edilerek kazanılmalarından ileri geldiği sonucuna varılmıştır.

E05 panosunda elde edilen sonuçlara göre nokta yükleme (90⁰) ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki 2. ve 4. numuneler hariç ters orantılıdır. Basınç dayanımının kazı verimine olumsuz etki ettiği bilinmektedir. Ancak 2. numuneyi temsil eden kömürler incelendiğinde, az da olsa azalan basınç dayanımının uzunayağın yeni üretime başlaması sebebiyle yeterince istihsal basıncından yararlanılamamasının ve o bölgedeki kömürlerin

ince taneli olmalarının -dolayısıyla sünek kırılma şartlarının egemen olmasının- kazı verimine olumsuz etki ettiği ifade edilebilir. 4. numuneyi temsil eden kömürler incelendiğinde ise mekanize kazının eğim aşağıdan yatay ve yataya yakın eğimlerde gerçekleşmeye başlamış olması sebebiyle kırılmaların fazla olduğu ve bu nedenle arından parça koparımının basınç dayanımı artmış olmasına rağmen kazı veriminde de artış meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

H03 panosunda elde edilen sonuçlara göre nokta yükleme (90^0) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki 3. numune hariç ters orantılıdır. 3 no'lu numunenin alındığı bölgedeki kazı şartları incelendiğinde, kömür havzasını oluşturan çanağın kıvrımlanma eksenine yakın olduğu bilinmektedir. Bunun da kırılanmaların fazla oluşu sebebiyle arından parça koparımının daha kolay olduğu ifade edilebilmektedir. Böylece basınç dayanımının artmasına rağmen kazı veriminin de artmasına açıklama getirilmiş olmaktadır.

E05 panosunda elde edilen sonuçlara göre tane boyut analizi (d_{50}) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki 8. numune hariç doğru orantılıdır. 8. numunenin alındığı bölgedeki kömürler incelendiğinde tane boyutunun (d_{50}) artış gösterip gevrek kırılma şartları egemen olmuş olmasına rağmen kazı veriminde düşüş olmasının sebebinin, uzunayak üretiminin bitip sökülme işlemlerinin başlayacak olmasından dolayı artan tavan basıncına bağlı olarak tavan kontrolünün zorlaşması olduğu sonucuna varılmıştır.

H03 panosunda elde edilen sonuçlara göre tane boyut analizi (d_{50}) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki tamamen doğru orantılıdır. Malzemenin tane boyutu azaldıkça tanelerin birbirine kenetlenmesi ve dolayısıyla rijit bir yapı kazanmasıyla kazılabilirliğin zorlaştığı bilinmektedir. Bununla beraber malzemenin tane boyutu arttıkça, malzemeyi oluşturan taneler arası boşluk artar, taneler arası kenetlenme azalır ve dolayısıyla dayanım da azalır. H03 panosundan alınarak tane boyut analizi yapılan numunelerin tamburlu kesici-yükleyici makine kazı performansı ile yapılan ilişkilendirmesinde bu tezin doğrulandığı sonucuna varılmıştır.

E05 panosunda elde edilen sonuçlara göre kalori tayini (kcal/kg) ile net kazı hızı (NKH,

m³/h) arasındaki ilişki 3., 6. ve 7. numuneler hariç ters orantılıdır. Kömürdeki kalori (kcal/kg) artışının kömürün rank değerini arttırdığı, bunun da kazılabilirliğe olumlu etkisi olduğu bilinmektedir. E05 panosundan alınan numunelerden 3, 6, ve 7 no'lu numuneleri temsil eden kömürler bu tezi doğrular niteliktedir. Ancak kazılabilirliği tek bir parametreye bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini düşünmek yanlıştır. E05 panosundan numune alınan diğer bölgelerde (1, 2, 4 ve 5 no'lu numuneler) mekanize kazı ilerleme yönünün eğim aşağı olması sebebiyle yerçekimi kuvvetinin olumlu etkisinden yeteri kadar faydalanılamadığı ve kazı işleminde yerçekimine karşı yapılan işin kömürün rank değerinin kazılabilirlik üzerindeki olumlu etkisi karşısında baskın geldiği düşünülmektedir. 8 no'lu numunenin alındığı bölgede ise ayağın üretiminin son safhaları olduğu ve tavan baskısının en üst düzeye ulaştığı için tavan kontrolünün zorlaştığı, bunun da net kazı hızını (NKH, m³/h) olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır.

H03 panosunda elde edilen sonuçlara göre kalori tayini (kcal/kg) ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki 2. ve 5. numuneler hariç doğru orantılıdır. Ancak 1. ve 2. numunenin alındığı bölgede ayak yeni üretime başladığı ve istihsal basıncından yeteri kadar yararlanılamadığı ve o bölgedeki kömürlerin ince taneli olmaları sebebiyle sünek kırılma eğiliminde olmalarıyla, 2 no'lu numunenin alındığı bölgede sanki kalori değerinin (kcal/kg) azalışının kazı performansına olumlu etkide bulunduğu yanlışlığı oluşmuştur. 5 no'lu numunenin alındığı bölgede ise kazılabilirliğe olumsuz etki eden Schmidt sertliği ve nokta yükleme dayanımının (Mpa) artışının ve tane boyutundaki (d₅₀) azalışın, kalori değeri (kcal/kg) artışının kazı performansına getirdiği olumlu etkiyi bertaraf ettiği, kazı performansının artışında kalori değerinin (kcal/kg) tek başına yeterli olamadığı sonucuna varılmıştır.

E05 panosunda elde edilen sonuçlara göre yüzey alanı (m²/kg) ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki 8. numune hariç ters orantılıdır. Yüzey alanının çokluğu birim kütledeki tanelerin çokluğunu ifade eder ve bu da daha küçük tane, daha çok taneler arası kenetlenme ve daha çok güç gerektiren bir kazı işlemi demektir ki, yüzey alanı (m²/kg) ölçümleri ile net kazı hızının ters ilişkili bulunması bu tezi doğrulamaktadır. Bununla beraber 8 no'lu numunenin alındığı bölge incelendiğinde Schmidt sertliğinin fazla olması ve o bölgenin ayağın bitimine yakın olmasının getirdiği yüksek tavan basıncına bağlı

olarak gelişen tavan kontrolü zorluğunun net kazı hızına olumsuz etki ettiği sonucuna varılmıştır.

H03 panosunda elde edilen sonuçlara göre yüzey alanı (m^2/kg) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki tamamen ters orantılıdır. Bu durumun yüzey alanı (m^2/kg) fazla olan malzemenin kenetlenme derecesinin daha girift bir yapıda olduğu, dolayısıyla kazılabilirlik özelliklerinin güçleştirdiği tezini doğruladığı sonucuna varılmıştır.

E05 panosunda elde edilen hesaplamalara göre tambur gömülme miktarı (cm) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki 2. ve 7. numuneler hariç doğru orantılıdır. Tambur gömülme miktarı (cm) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) her zaman doğru orantılı olmayıp, tambur ve ayakiçi zincirli konveyörün yükleme performansları sınırlayıcı etken olmaktadır. Çünkü işletmede ayak başı ve ayak kuyruğunda olmak üzere ayak içerisinde toplam 2 tane zincirli konveyör motoru vardır. Bu motorlar kapasite fazlasında yüklendiğinde akımların sınır değerin üzerine çıkmasıyla sinyalizasyon sistemi devreye girmekte ve sinyalizasyon sistemi devreden çıkıncaya kadar üretim durdurulmaktadır. 2, 3 ve 7 no'lu numunelerin alındığı bölgelerdeki kazı şartları incelendiğinde buna benzer bir etkenin olduğu sonucuna varılmıştır.

H03 panosunda elde edilen hesaplamalara göre tambur gömülme miktarı (cm) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki tamamen doğru orantılıdır. Tamburlu kesici-yükleyicilerde tambur gömülme miktarının (cm) net kazı hızıyla (NKH, m^3/h) doğru orantılı seyrettiği bilinmekte ve H03 panosunda yapılan hesaplamalar ile bu tez doğrulanmaktadır. Ancak yukardaki paragrafta da değinildiği üzere bazı sınırlayıcı etkenler var olmakta ve bu tez geçerliliğini her zaman koruyamamaktadır.

E05 panosunda elde edilen hesaplamalara göre ayak eğimi (0) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki 2. ve 6. numuneler hariç ters orantılıdır. Ayak eğimindeki (0) artış genel olarak (ayak kuyruğunun daha yüksek olduğu durum) yer çekimi kuvveti ile ayak içi zincirli konveyörünün ilerleme hareketinin aynı yönlü olduğu, bunun da konveyörün hareketini sağlayan elektrik motorlarında zorlanmaya bağlı olarak aşırı akım çekmesini engelleyerek sinyalizasyon sisteminin devreye girmesinin önüne geçtiği için kazı

performansına olumlu yönde etki etmektedir. Ayrıca ayak eğimi (0) fazla iken buna ek olarak pano eğimi de (0) ilerleme yönüne göre yükseliyorsa, kazılmış kömürün yerçekimi yardımıyla bir an önce konveyöre yüklenmesini sağlayacağı özellikle makine kuyruğa doğru kesim yaparken tamburların her zaman yeni arın yüzeyine temas etmesini sağlayacak, kazılan kömürün tamburların etrafında yastıklama etkisi yaratmasının önüne geçilecektir. Ama aksi halde, yani pano eğimi (0) ilerleme yönünde alçalıyorsa yerçekimi tamburların etrafında biriken kazılmış kömürün bir an önce arından uzaklaşmasına engel olacağı için, ayak eğiminin (0) artmasına bağlı olarak kazı performansının artmasında sınırlayıcı bir etken olacaktır. E05 panosunu incelediğimizde pano eğiminin (0) ilerleme yönünde alçaldığı bölgelerden alınan numunelerde (1, 2, 3, 4 ve 5) ayak eğiminin (0) azalmasıyla net kazı hızının (NKH, m^3/h) az olduğu, pano eğiminin (0) ilerleme yönünde yatay ve yataya yakın bölgelerden alınan numunelerde ise (6, 7 ve 8) net kazı hızının (NKH, m^3/h) fazla olduğu görülmektedir. 2 ve 6 no'lu numuneleri temsil eden kömürlerde farklı bulgular elde edilmesi nedeninin ise yukarıda bahsedilen kazılabilirlik şartlarından ileri geldiği sonucuna varılmıştır.

H03 panosunda elde edilen hesaplamalara göre ayak eğimi (0) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki 6. numune hariç doğru orantılıdır. H03 panosunda ya yataya yakın ya da ilerleme yönüne göre yükselen bir panoda üretim yapıldığı için genel olarak ayak eğimi (0) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) ilişkisi doğru orantılı bulunmuştur. Bu da yukarıdaki paragrafta savunulan tezi doğrular niteliktedir. 6 no'lu numuneyi temsil eden kömürlerin farklı olmasının nedeninin, numunenin alındığı bölgede tane boyutunun (d_{50}) fazla olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

E05 panosunda elde edilen hesaplamalara göre pano eğimi (0) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki 2., 3. ve 7. numuneler hariç ters orantılıdır. E05 panosunda net kazı hızı (NKH, m^3/h) ile pano eğiminin (0) genelde ters orantılı olmasının nedeni, ayak ilerleme yönünün eğim aşağı olması ve eğimin artışına bağlı olarak yerçekiminin kazı performansı üzerindeki olumsuz etkisinin de artmasıdır. 7 no'lu numune zaten tamamen pano eğiminin yatay olduğu ve artık eğim artışının kazıya olumlu etki ettiği bölgelerden alınmıştır. 2 ve 3 no'lu numuneler ise E05 panosunda Davutoğlu fayına en uzak bölgelerde yer aldığı, vitrinit refleksiyonunun en az olduğu ve dolayısıyla kömür

kazılabilirlik özelliğinin en zor olması nedeniyle normalin tersi bir sonuç elde edilmiştir.

H03 panosunda elde edilen hesaplamalara göre pano eğimi ($^{\circ}$) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki 2. ve 4. numuneler hariç ters orantılıdır. Ayak ilerleme yönünün eğimin yükselmesi yönünde olduğu durumlarda genel kanı, pano eğiminin artışına bağlı olarak kazı performansının yerçekiminin olumlu etkisiyle arttığı yönündedir. Ancak bu düşünce genel-geçer değildir. Çünkü pano eğiminin ($^{\circ}$) artışına bağlı olarak tavan kontrolünün zor olması nedeniyle ayaktaki yürüyen tahkimatlar tavan kontrolünü sağlayabilmek için “kapalı çalışma” diye tanımlanan, kazı arını ile yürüyen tahkimat arasındaki mesafenin en az olduğu durumda kazı yapılmaktadır. Arın ile yürüyen tahkimat mesafesinin bu denli az olması da istihsal basıncından yeteri kadar yararlanamamaya ve kazı performansında gözle görülür bir azalmaya neden olmaktadır. 2 ve 4 no’lu numunelerin alındığı bölgelerde tam olarak eğim yukarı çalışma koşullarının hakim olunmadığı ve yukarıda bahsedilen sınırlayıcı etkilerden dolayı 2 ve 4 no’lu numunelerle elde edilen ilişkilerin diğerlerinden farklı bulunduğu sonucuna varılmıştır.

E05 panosunda elde edilen hesaplamalara göre makine yürüyüş hızı (m/h) ile net kazı hızı (NKH, m^3/h) arasındaki ilişki 5. numune hariç doğru orantılıdır. Makine yürüyüş hızına (m/h) bağlı olarak artan kesim sayısı ile beraber birim zamanda kazılan kömür miktarının artması beklenen bir durumdur. Ancak bunun tambur gömülme miktarı (cm) gibi sınırlayıcı bazı özel durumları vardır. Operatör makine yürüyüş hızı (m/h) ile tambur gömülme derinliğini (cm) optimize edebilmek zorundadır. Aksi halde ya makine kapasitesinin altında çalışarak çok hızlı ilerleyecek, ya da makine çok yüklenip sinyalizasyon sistemi devreye girecek ve dolayısıyla yine tam randımanlı bir mekanize kazı gerçekleştiremeyecektir. 5 no’lu numunenin alındığı bölgede makine yürüyüş hızı (m/h) fazla olmasına rağmen tamburlu kesici-yükleyicinin tambur gömülme derinliği (cm) azdır. Bu nedenle 5 no’lu numunenin alındığı o bölgede net kazı hızı (NKH, m^3/h) beklenenin aksine düşük hesaplanmıştır. Ayrıca eğer makine yürüyüş hızı (m/h) fazla olursa, birim zamanda çok fazla yapılan ilerlemeyle beraber yürüyen tahkimatın arkasından gelen göçüğün kazı arınında meydana getireceği istihsal basıncından yeteri kadar yararlanılamayacağı sonucuna varılmıştır.

H03 panosunda elde edilen hesaplamalara göre makine yürüyüş hızı (m/h) ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki 6. ve 8. numuneler hariç doğru orantılıdır. 6 no'lu numunenin alındığı bölgedeki kazı performanslarını etkileyen unsurlar incelendiğinde, net kazı hızı (NKH, m³/h) makine yürüyüş hızının (m/h) azalmış olmasına rağmen tambur gömülme miktarının (cm) artmasına bağlı olarak artış göstermiştir. 8 no'lu numunenin alındığı bölgedeki kazı performanslarını etkileyen unsurlar incelendiğinde ise, net kazı hızı (NKH, m³/h) makine yürüyüş hızının (m/h) artmış olmasına rağmen tambur gömülme miktarının (cm) azalmasına bağlı olarak azalmıştır. Buradan anlaşılabileceği üzere makine yürüyüş hızı (m/h) her zaman net kazı hızı (NKH, m³/h) açısından belirleyici olamamakta, bazı özel durumlarda net kazı hızı (NKH, m³/h) hesabı için tambur gömülme miktarı (cm) gibi sınırlayıcı etkenler baskın gelebilmektedir. Bununla beraber makine yürüyüş hızına (m/h) bağlı olarak yukarıdaki paragrafta da bahsedilen istihsal basıncındaki değişimlerin kazı performansına olan etkileri göz ardı edilmemelidir. Ayrıca makine yürüyüş hızı (m/h), kazı esnasında arından parça koparımı hızıyla optimize edilebilmez. Aksi takdirde tamburlu kesici-yükleyici tamburları bir boş bir dolu çalışmasına bağlı olarak meydana gelen sarsıntılar neticesinde boşa sarf edilen enerji miktarında artış söz konusu olacak ve kazı performansı bundan olumsuz etkilenecektir. 6 ve 8 no'lu numunelerle elde edilen ilişkilerin farklı olma sebeplerinin bahsedilen bu özel durumlar olduğu sonucuna varılmıştır.

E05 panosunda elde edilen sonuçlara göre öğütülebilirlik (%) ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki 4. ve 5. numuneler hariç ters orantılıdır. Kok kömüründe uygulanan Hardgrove İş İndeksi hesabının benzeri, bu kez linyit kömüründe uygulanarak kazı performansı tahmininde bulunulmaya çalışılmıştır. Yapılan bu denemeler neticesinde halkalı değirmende öğütülüp elendikten sonra kalan elek üstü malzeme miktarı yüzdesi ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki ters orantılı olarak bulunmuştur. 4 ve 5 no'lu numunelerdeki farklı durumu göz ardı edersek, bu yeni yöntem bize öğütülmeye karşı dirençli olan linyit kömürlerinin kazı performanslarının düşük olduğu tezini ortaya çıkarır. Sonuç olarak yeni bir mekanize kazı performansı tahmin yöntemi bulunduğunu ancak bunun daha da geliştirilmesi gerektiği söylenebilir. 4 ve 5 no'lu numunelerde diğer numunelere göre farklı sonuçlar elde edilmesinin nedeninin uçucu madde, nem ve kül içeriği gibi mekanize kazıyı etkilemesi muhtemel parametreler

olduğu düşünülmektedir. Mekanize kazı performansı tahmininde kullanılması hedeflenen bu yeni yöntemin linyit kömürlerinde genel-geçer olabilmesi için, uçucu madde, nem ve kül içeriği gibi parametrelerin etkinliğinin araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

H03 panosunda elde edilen sonuçlara göre öğütülebilirlik (%) ile net kazı hızı (NKH, m³/h) arasındaki ilişki 1. ve 8. numuneler hariç ters orantılıdır. Yapılan deneyler sonucunda genel olarak linyitlerin öğütülebilirliğe (%) karşı gösterdiği direncin net kazı hızıyla (NKH, m³/h) ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Kazı performansı tahmininde yeni ortaya atılan bu teorenin genel-geçer olabilmesi için geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

5.2 Öneriler

- Ana klivaj sistemi kazı yönüne göre açısı tespit edilerek, kesici uçların ana klivaj sistemine göre 0⁰-45⁰ arasındaki açılarla sıralanmış olan tamburların kullanılması önerilmektedir.
- Ana klivaj sistemi yönü ve doğrultusu belirlenerek, üretim panolarının taban ve tavan yolları, tamburlu kesici-yükleyici makinenin klivaj sistemi ile 0⁰-45⁰ arası bir açıyla kazı yapabileceği doğrultuda sürülmelidir.
- Öğütülebilirliğin kazı performansı ile ilişkisinin ilk defa Çayırhan Havzası'nın linyitleri ile test edildiği bu tez çalışmasının genel-geçer bir hal alabilmesi için diğer kömür havzalarındaki linyitler ile de test edilmesi önerilmektedir.
- Çayırhan havzasındaki linyitlerin kazılabilirliği uçucu madde, nem ve kül yüzdesi gibi parametrelerle de ilişkilendirilmesi önerilmektedir.
- Kazı arınından parça koparım hızı ile tamburlu kesici-yükleyici makine yürüyüş hızı optimize edilmeli, tambur sarsıntılarının önüne geçilmeli ve boşa sarf edilen enerji miktarı en aza indirilmeye çalışılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Aloğlu S. (2016). Kollu Galeri Açma Makinelerinin Performansının İğne Penetrasyon İndeksinden Tahmin Edilebilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altındağ, R. ve Güney, A. (1996). Tamburlu kesicilerin çalışma koşullarına göre performanslarının incelenmesi. *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **9**: 53-64.
- ASTM, (2005). Standard D 5873-05: Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.
- Aydın, Y. ve Fünfstück, J. (1988). Beypazarı Projesi Raporu. VI. Kömür Kongresi, Mayıs, 53-71.
- Ayhan M. (1994). O.A.L. Müessesesindeki Tamburlu Kesicilerin Kesme ve Yükleme Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversite, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Balcı, C., Tunçdemir, H., Bilge, İ., Bilgin, N. and Eskikaya, Ş. (1997). The Effect of Geological Discontinuities and Horizontal Stresses on Cutting Performance of Drag Tools. Türkiye 15. Madencilik Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Bilgin, N. (1989). İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği. Birsan Yayınevi, İstanbul, 139-140.
- Bilgin, N., Phillips, H. R. ve Yavuz, N. (1992). Kömür Damarlarının Kazılabilirlik Yönünden Sınıflandırılması ve ELİ Darkale Ocağında Sabanlı Ayak Uygulaması Örneği. Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 31-51.
- Bilim N. (2007). Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kazı Makinalarının Performanslarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri İle İlişkilendirilmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bölükbaşı, N. (1986). Yeraltı Kömür ve Kayaç Kazı Mekanizasyonu. O.D.T.Ü Maden

Mühendisliği Bölümü, Seminer, Ankara, 4: 112.

- 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, USA-Colorado-Golden.
- Deketh, H. J. R. (1995). Wear of rock cutting tools. Laboratory experiments on the abrasivity of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 278.
- Deere, D. U. and Miller, R. P. (1966). Engineering classifications and index properties of intact rock. Technical report no. AFWL-TR 65-116, University of Illinois, 300.
- Eskikaya, Ş. (1971). Kömürün mekanik olarak kazılabilme özelliği-kazılabilirlik. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, **12**: 7-16.
- Fowell, R. J. and McFeat-Smith, I. (1976). Factors influencing the cutting performance of selective. Tunnelling 76. Symposium, London, March, Proceedings of the International Symposium IMM., London: 301-309.
- Göktan, R. M. and Ayday, C. A. (1993). Suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested method with particular reference to rock machineability. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Geomechanics Abstracts*, **30**: 321-322.
- Hanson, B. D. and Roepke, W. W. (1988). Computer modelling of dust and forces for longwall mining system. Bureau of Mines, 1-24.
- Hekimoğlu, O. Z. ve Fowell, R. J. (1988). Bomlu Kazı Makinalarının Temel Özellikleri ve Seçimleri. 6. Kömür Kongresi, Zonguldak, 29-52.
- Hekimoğlu, O. Z. ve Ayhan, M. (1994). OAL'deki tamburlu kesicilerin yükleme performanslarının incelenmesi. *Madencilik Dergisi*, 3-13.
- Hekimoğlu, O. Z. and Özdemir, L. (2004). Effect of angle of wrap on cutting performance of drum shearers and continuous miners. *Mining Technology*, **113**: 118-122.
- Hindistan M. A. (1997). Development of a Computer Based Monitoring System and Its Usage for Power Shovel's Monitoring. Doktora Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 139.

- Howarth, D. F. and Rowlands, J. C. (1987). Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **20**: 57-85.
- Hucka, V. (1965). A rapid method for determining the strength of rocks in-situ. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, **2**: 127-134.
- Hurt, K. G., Morris, C. J. and 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.
- IEA (International Energy Agency), (2018). Market Serial Report: Coal.
- ISRM, (1981). Rock characterization testing and monitoring isrm suggested methods, suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, **3**: 101-103.
- ISRM, (1985). Suggested method for determining point load strength. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, **22**: 51-60.
- Kavuşan, G. (1993). Beypazarı-Çayırhan kömür havzası linyitlerinin yataklanmasında tektonizmanın önemi. *Doğa-Türk Yerbilimleri Dergisi. Turkish Journal of Earth Sciences*, **2**: 135-145.
- Kavuşan, G. (1993). Beypazarı-Çayırhan linyitleri hümik asitlerinin IR-spektrofotometrik incelenmesi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **115**: 91-98.
- Kavuşan, G. (1993). Beypazarı-Çayırhan Linyitlerinin Vitrit Refleksiyonları ile Tektonizma İlişkileri. Suat Erk Jeoloji Sempozyumu Bildirileri, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beşevler, Ankara, 357-364.
- Katz, O., Reches, Z. and Roegiers, J. C. (2000). Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer. *International Journal of Rock Mechanic and Mining Science*, **37**: 723-728.
- Kazi, A. and Al-Mansour, Z. R. (1980). Empirical relationship between Los Angeles Abrasion and Schmidt hammer strength tests with application to aggregates around

- Jeddah. *Journal of Engineering Geology*, **13**: 45-52.
- Kural, O. (1998). Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. Editör: Orhan Kural, İstanbul. 785.
- Matthews, J. A. and 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.
- Mc Feat-Smith, I. and Fowell, R. J. (1977). Rock property testing and cutting performance of tunnelling machines, *Tunnels and Tunnelling*, 29-32, March.
- Mc Feat-Smith, I. and Fowell, R. J. (1979). The selection and application of roadheaders for rock tunnelling, *Proceeding of Rapid Excavation and Tunnelling Conference, USA*, **1**: 261-269.
- Morris, C. J. (1980). Fully mechanized longwall mining. Shandong Scientific and Technical Publishing Co, 172-235.
- Özçelik, Y., Eyüboğlu, A., Kulaksız, S., Engin, İ. C. ve Özgüven, A. (2000). Sert Kayaçlarda Diskli Kesicilerle Kesme İşlemlerinde Aşağı ve Yukarı Kesme Yöntemlerinin Çekilen Akım Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Isparta, 123-128.
- Özdoğan, M. (2003). Elektrikli yerkazı makinalarında özgül enerji tüketimi ve kazı zorluğu sınıflaması. *Madencilik*, **2**: 3-10.
- Özkan, İ. and Bilim, N. (2008). A new approach for applying the in-situ Schmidt hammer test on a coal face. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*.
- Peng, S.S. and Chiang, H.S. (1984). Longwall Mining, Wiley Publication John Wiley and Sons, New York.
- Poole, R. W. and Farmer, I. W. (1980). Consistency and repeatability of Schmidt hammer rebound data during field testing. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Geomechanics Abstracts*, **7**: 167-71.
- 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.

- Saltoğlu, S. (1976). Madenlerde Hazırlık ve Kazı İşleri, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 349.
- Soiltest Inc., (1976). Operating instructions-concrete test hammer. Evanston, IL.
- Tatar, Ç. ve Özfirat, M. K. (2003). Yeraltı Maden Makinaları ve Mekanizasyonu, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 276.
- Taylor, C. D., Thimons, E. D. and Kovsky, P. D. (1989). Evaluation of water-jet-assisted cutting capability on longwall shearers. Bureau of mines, RI-9270, 1-14.
- Tiryaki, B. (2000). Keski dizilim parametrelerinin tamburlu kesici-yükleyicilerin performansına etkilerinin incelenmesi. *Yerbilimleri*, **22**: 237-246.
- Tiryaki, B., Dikmen, A. Ç., Kadioğlu, Y. K., Özbilgin, D., Tiryaki, N. ve Bölükbaşı, N. (2003). Kayaç kesmede keski performansının tahmini için doku katsayısı yaklaşımının kullanılabilirliği. *Madencilik*, **42**: 27-43.
- Tunçdemir, H. ve Bilgin, N. (2002). Kollu galeri açma makinelerinin cevher kazısında kullanımının araştırılması. *İ.T.Ü. Dergisi, Mühendislik*, **2**: 14-26.
- Turan, H. H. (2004b). Eickhoff SL 500 Kesici-Yükleyici Operatör Eğitimi Notları, Park Teknik Çayırhan Linyit İşletmesi, 4.
- USB. (1998). Engineering geology field manual. Field index tests, 111-112.
- Sumner, P. and 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.
- Varlıbaş Y. (2014). Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesi E Sahasında Kullanılan Kollu Galeri Açma Makinesi Kazı Veriminin Jeolojik Birimlerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Dikkate Alınarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Yağmurlu, F., Helvacı, C. ve İnci, U. (1988). Beypazarı Linyit Yataklarının Jeolojik Konumu ve Geometrik Özellikleri. Türkiye 6. Kömür Kongresi, Zonguldak, 529-548.

İnternet Kaynakları

1-<http://www.gbg.co.uk>, 02.10.2018

2-<http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Bolgeler/4Bolge/Harita.aspx>,
05.10.2018

3-<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>, 08.03.2019



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sevin VATANSEVER
Doğum Yeri ve Tarihi : Bulgaristan, 02.10.1988
Yabancı Dili : İngilizce-Orta Düzey
İletişim (Telefon/e-posta) : 05066204128/vatanseversevin06@gmail.com

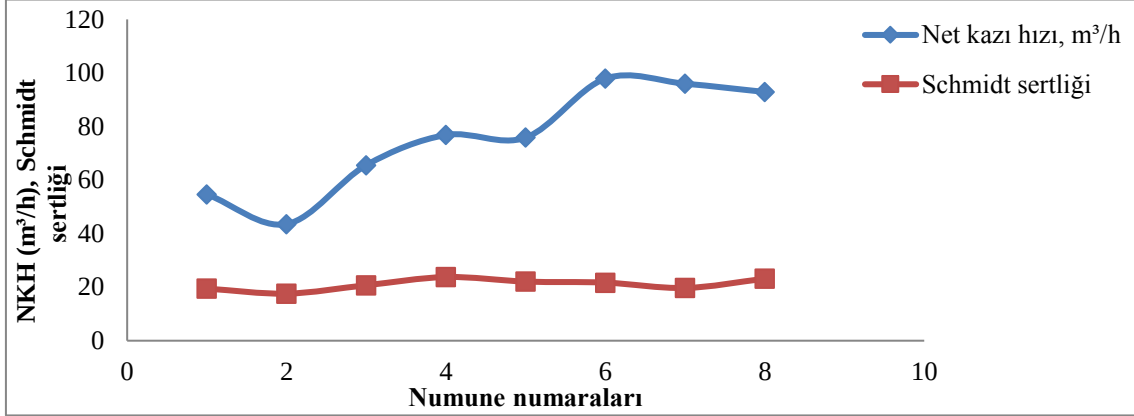
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Aydınlikevler Lisesi, (2003-2007)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği
Bölümü, (2008-2013)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2015-2019)

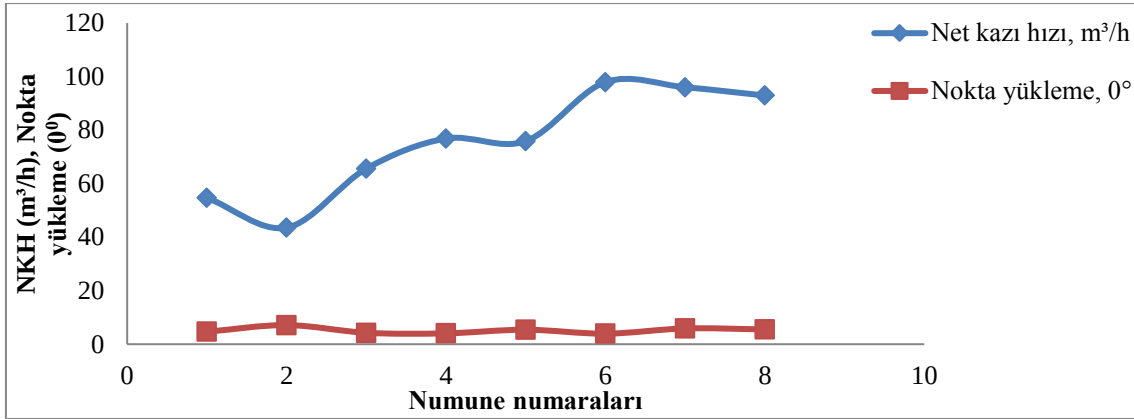
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :Sapmaz Madencilik, (2014-2015)
Park Termik A.Ş., (2015-devam ediyor)

EKLER

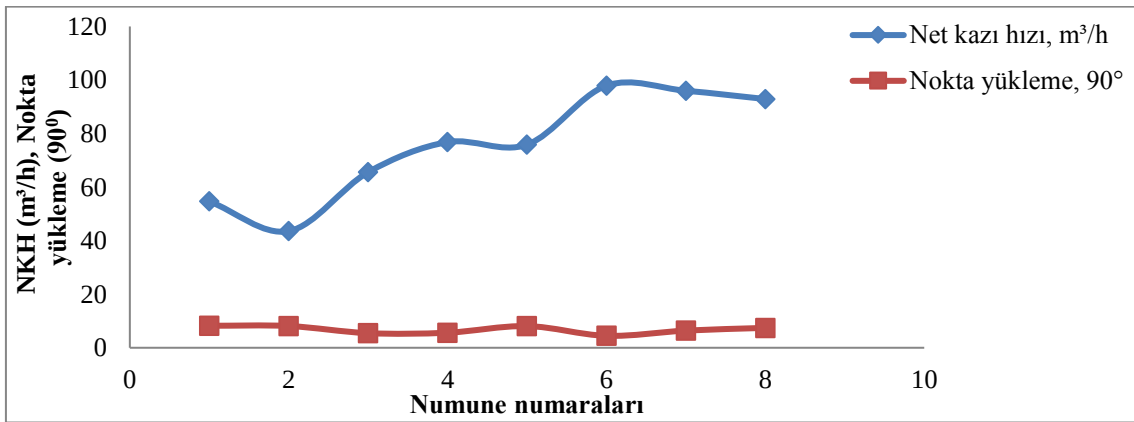
EK 1. E05 panosu net kazı hızı (m^3/h) ile kazıya etki eden parametrelerin ilişkileri.



E05 panosuna ait Schmidt sertliği-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

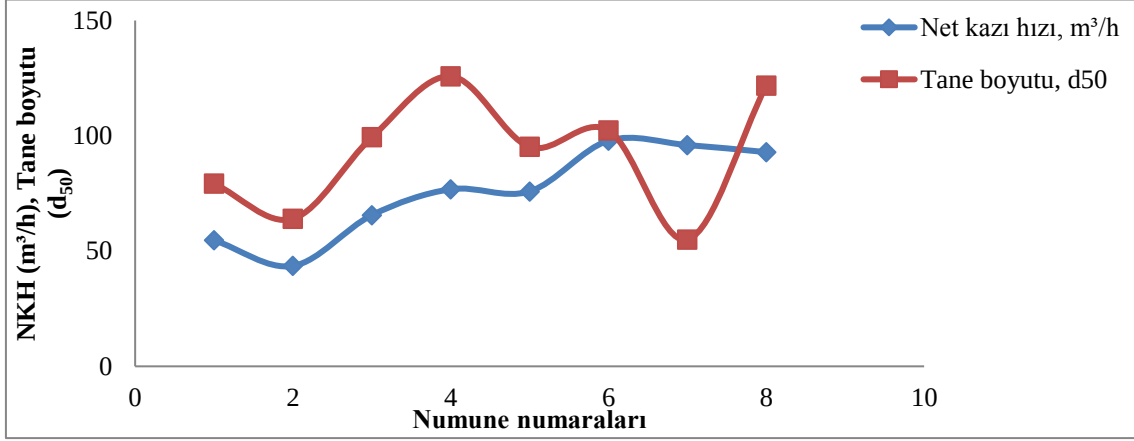


E05 panosuna ait nokta yükleme (0°)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

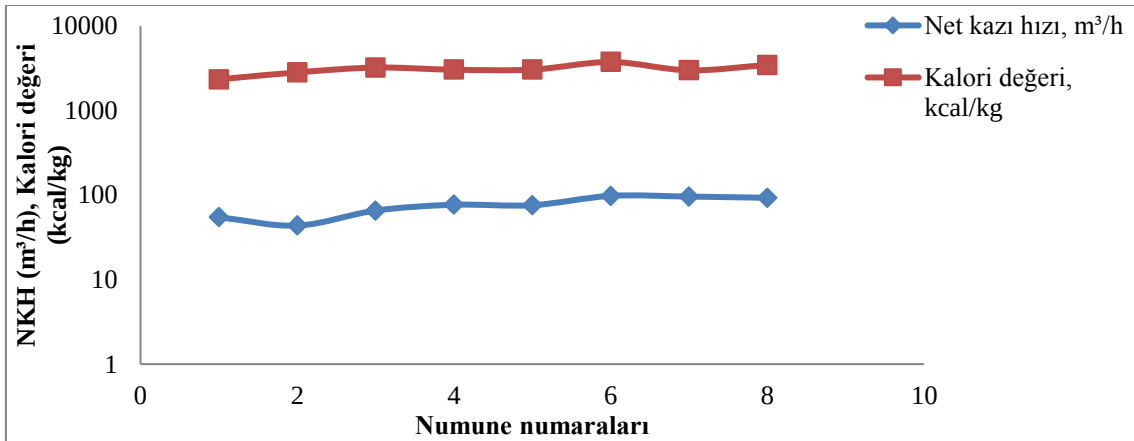


E05 panosuna ait nokta yükleme (90°)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

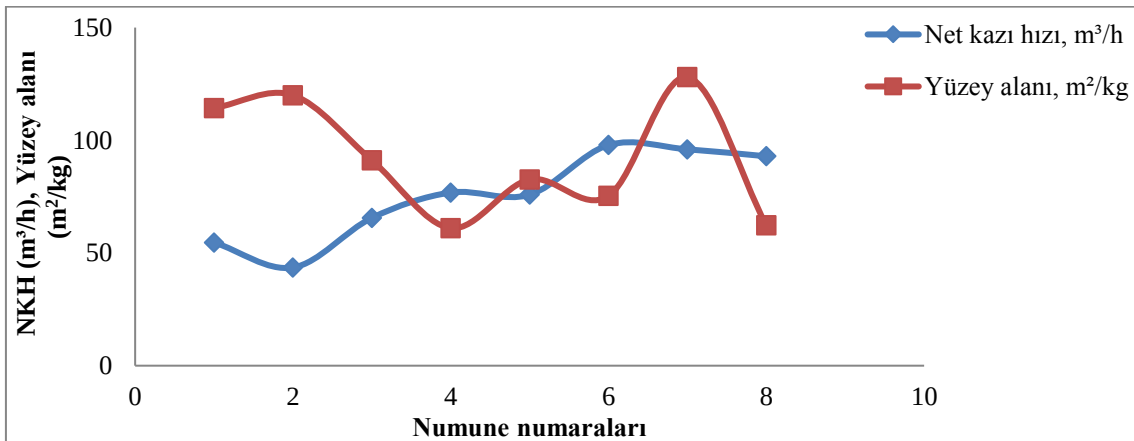
EK 1. (Devam) E05 panosu net kazı hızı (m^3/h) ile kazıya etki eden parametrelerin ilişkileri.



E05 panosuna ait tane boyutu (d_{50})-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

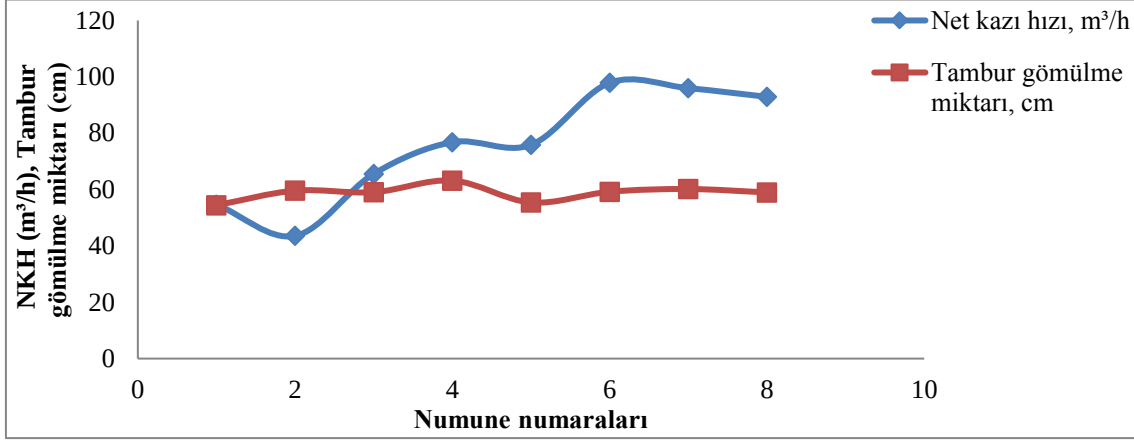


E05 panosuna ait kalori değeri (kcal/kg)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

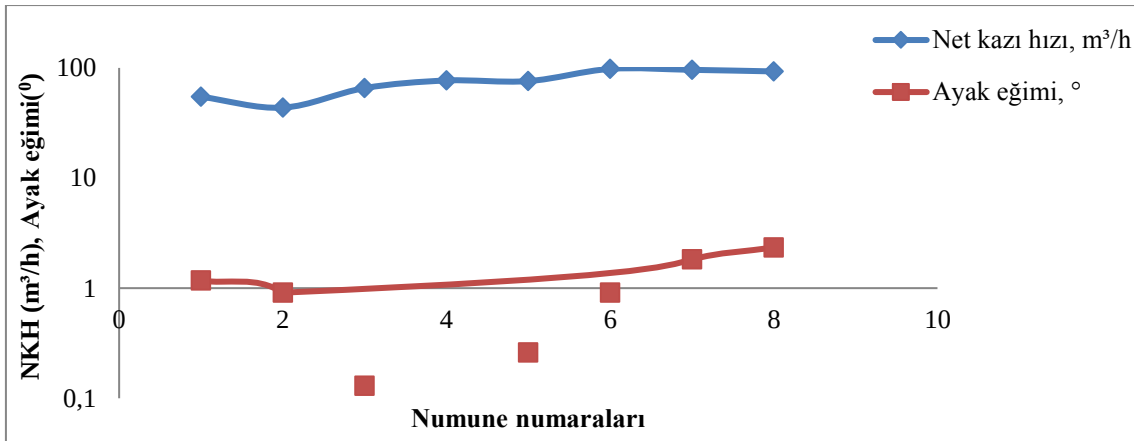


E05 panosuna ait yüzey alanı (m^2/kg)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

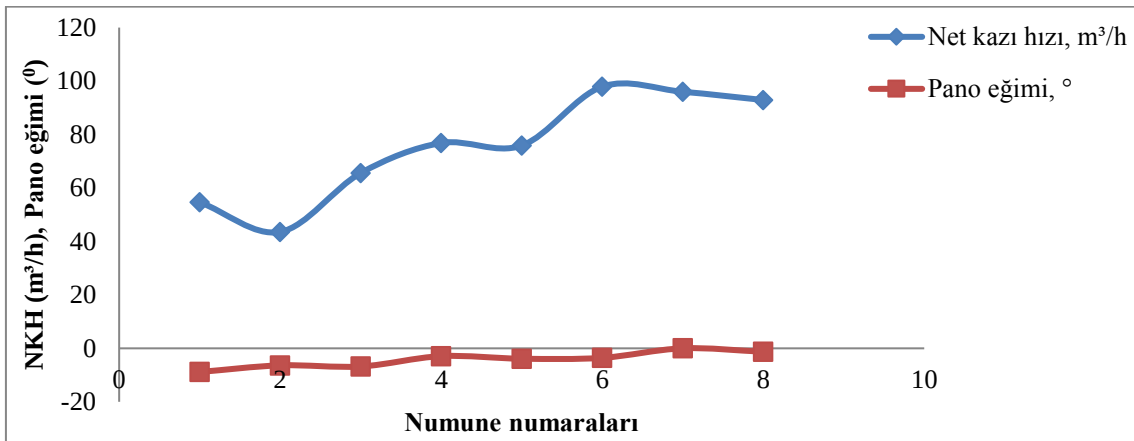
EK 1. (Devam) E05 panosu net kazı hızı (m^3/h) ile kazıya etki eden parametrelerin ilişkileri.



E05 panosuna ait tambur gömülme miktarı (cm)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

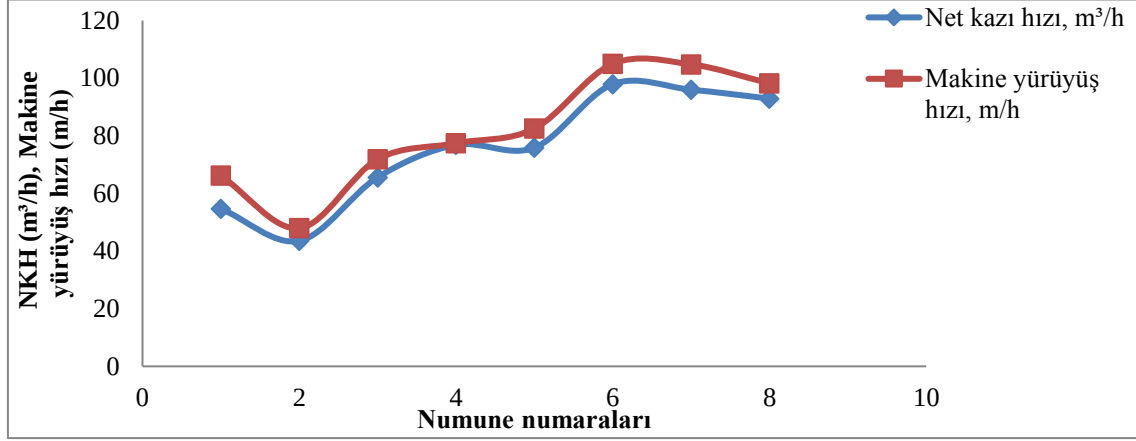


E05 panosuna ait ayak eğimi ($^{\circ}$)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

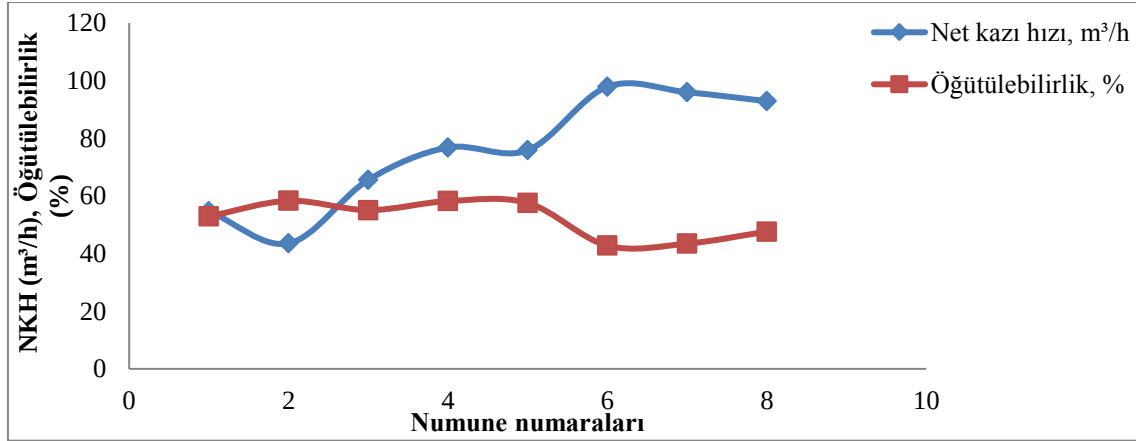


E05 panosuna ait pano eğimi ($^{\circ}$)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

EK 1. (Devam) E05 panosu net kazı hızı (m^3/h) ile kazıya etki eden parametrelerin ilişkileri.

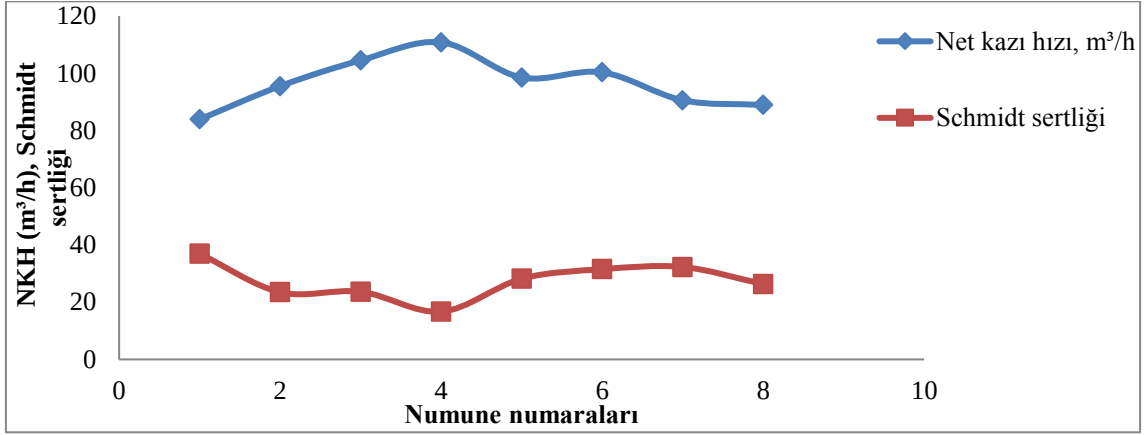


E05 panosuna ait makine yürüyüş hızı (m/h)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

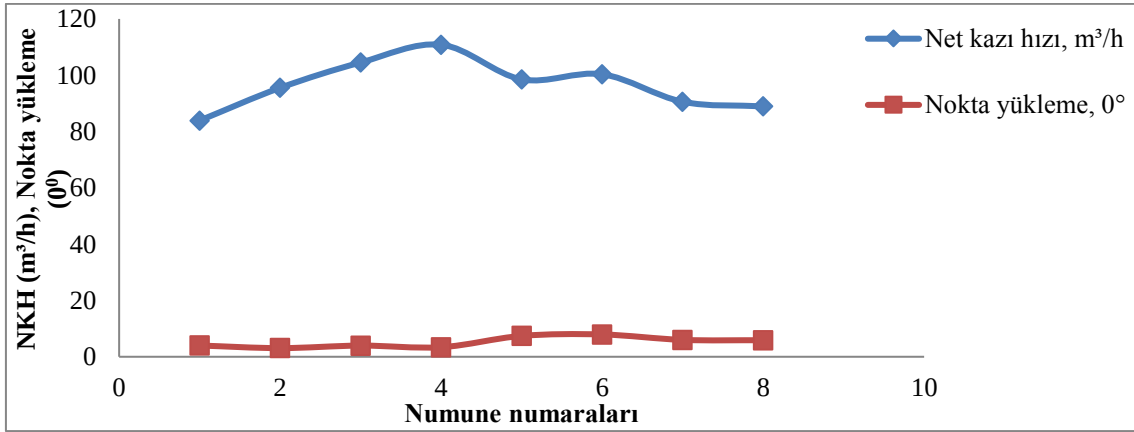


E05 panosuna ait öğütülebilirlik (%)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

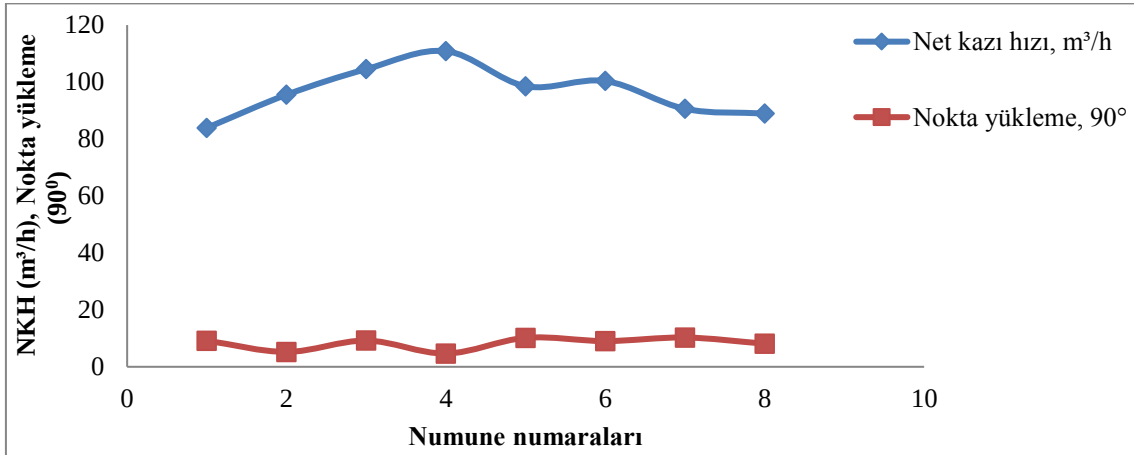
EK 2. H03 panosu net kazı hızı (m^3/h) ile kazıya etki eden parametrelerin ilişkileri.



H03 panosuna ait Schmidt sertliği-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

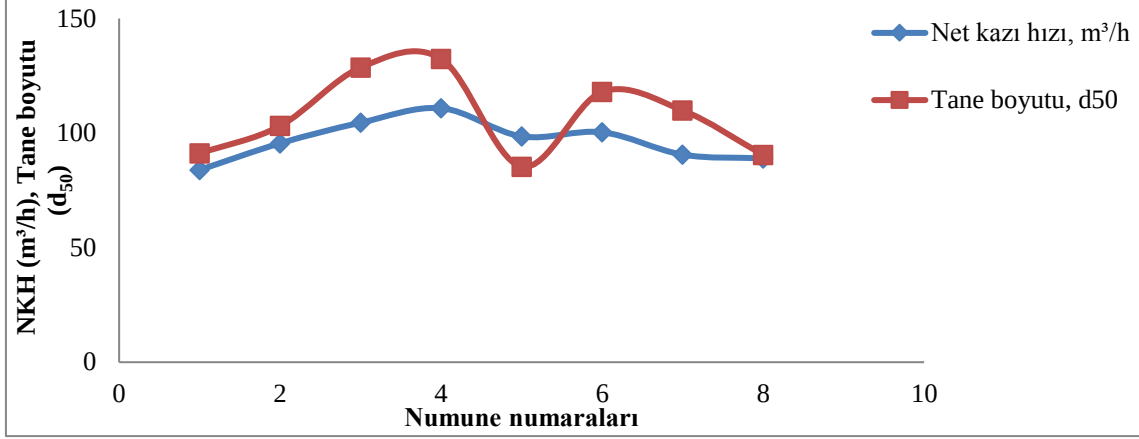


H03 panosuna ait nokta yükleme (0°)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

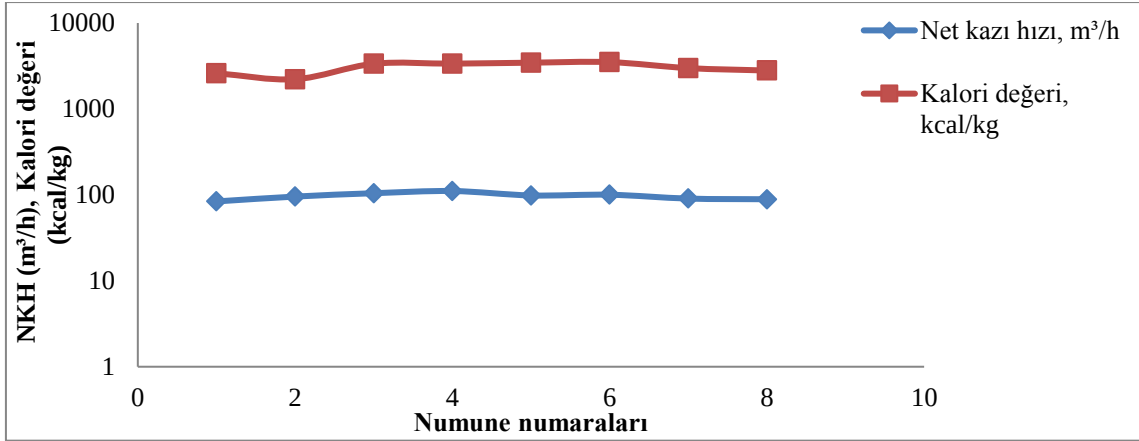


H03 panosuna ait nokta yükleme (90°)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

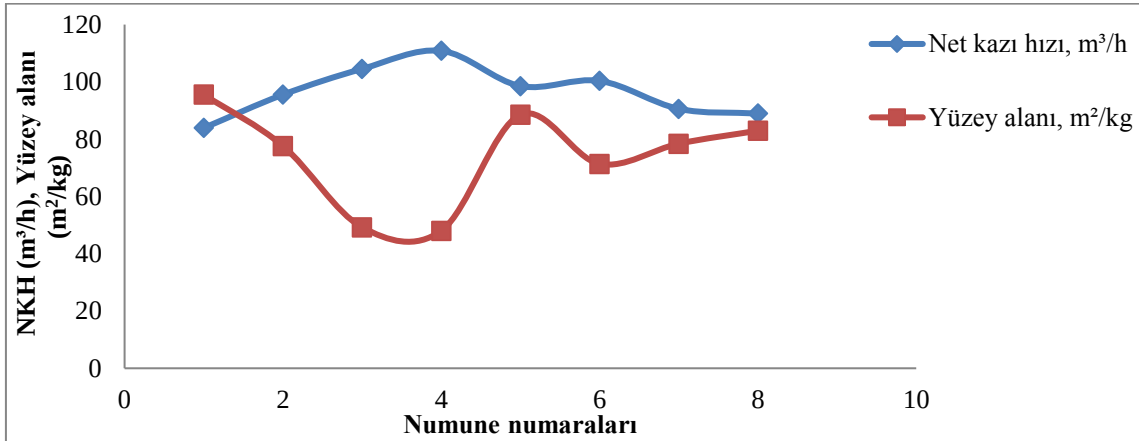
EK 2. (Devam) H03 panosu net kazı hızı (m^3/h) ile kazıya etki eden parametrelerin ilişkileri.



H03 panosuna ait tane boyutu (d_{50})-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

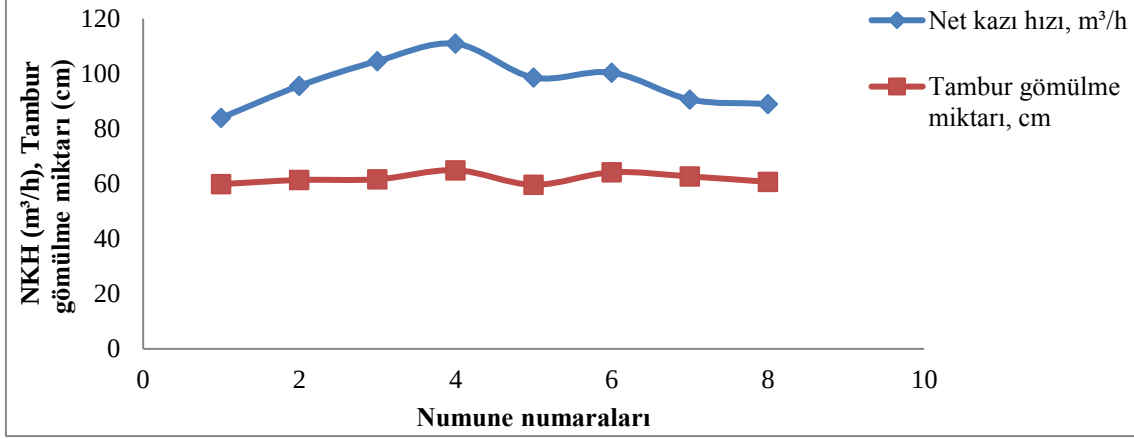


H03 panosuna ait kalori tayini (kcal/kg)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

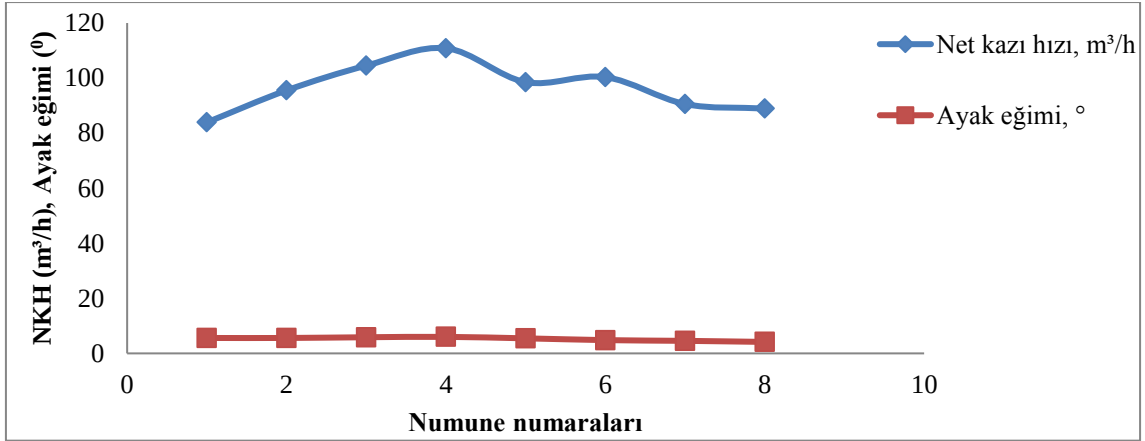


H03 panosuna ait yüzey alanı (m^2/kg)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

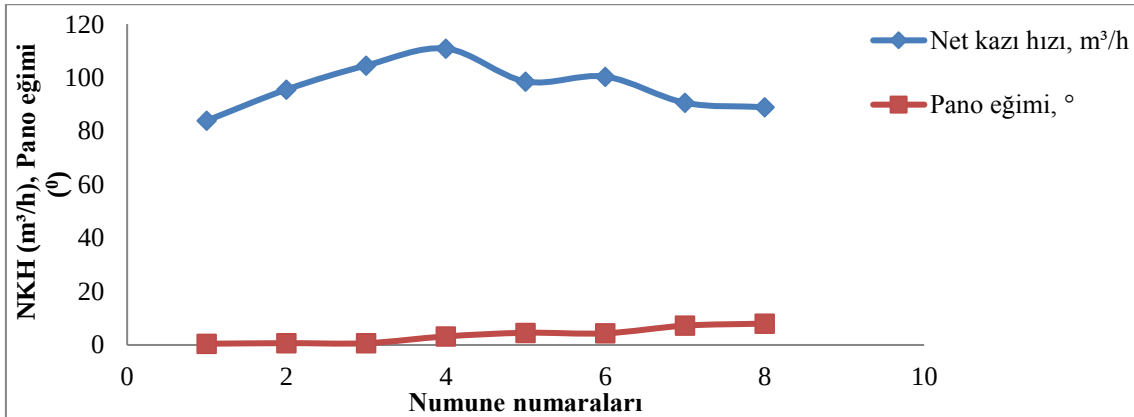
EK 2. (Devam) H03 panosu net kazı hızı (m^3/h) ile kazıya etki eden parametrelerin ilişkileri.



H03 panosuna ait tambur gömülme miktarı (cm)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

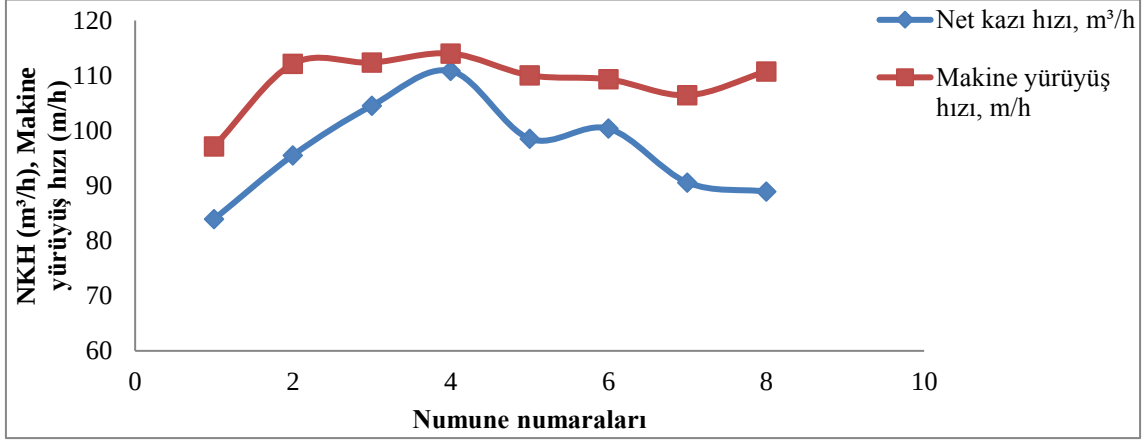


H03 panosuna ait ayak eğimi ($^{\circ}$)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

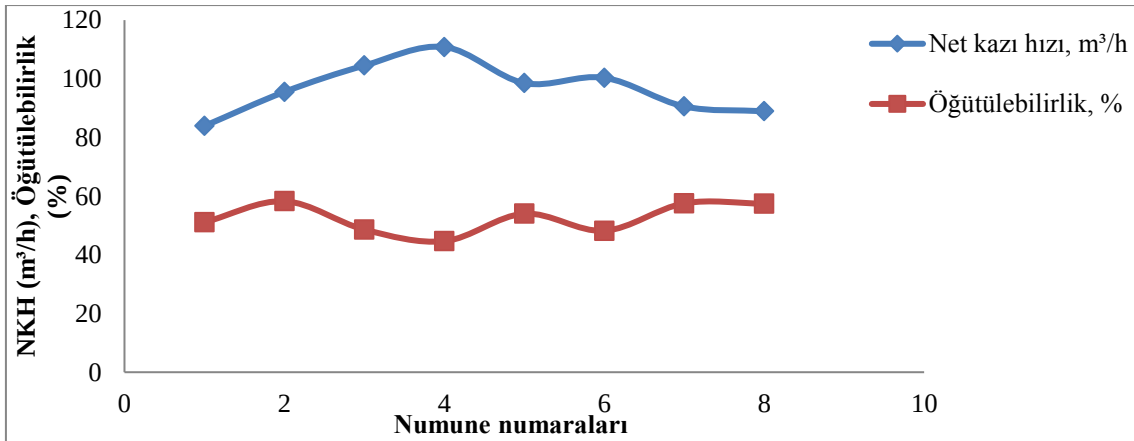


H03 panosuna ait pano eğimi ($^{\circ}$)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.

EK 2. (Devam) H03 panosu net kazı hızı (m^3/h) ile kazıya etki eden parametrelerin ilişkileri.



H03 panosuna ait makine yürüyüş hızı (m/h)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.



H03 panosuna ait öğütülebilirlik (%)-net kazı hızı (m^3/h) karşılaştırması.