



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

KAYADAN OYMA YAPILARIN KAZISINDA KULLANILAN GALERİ AÇMA
MAKİNELERİ PERFORMANS ANALİZİ

HÜSNA ÇELİKÖRS

Ağustos 2019

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

KAYADAN OYMA YAPILARIN KAZISINDA KULLANILAN GALERİ AÇMA
MAKİNELERİ PERFORMANS ANALİZİ

HÜSNA ÇELİKÖRS

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ÇOMAKLI

Ağustos 2019

Hüsna ÇELİKÖRS tarafından **Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ÇOMAKLI** danışmanlığında hazırlanan “ **Kayadan Oyma Yapıların Kazısında Kullanılan Galeri Açma Makineleri Performans Analizi** ” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mehmet SARI (Aksaray Ü. Maden Müh. Böl.)

Üye : Doç. Dr. Ümit ATICI (Niğde Ömer Halisdemir Ü. Maden Müh. Böl.)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ÇOMAKLI (Niğde Ömer Halisdemir Ü. Maden Müh. Böl.)

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/..../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/..../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.


...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hüsna ÇELİKÖRS



ÖZET

KAYADAN OYMA YAPILARIN KAZISINDA KULLANILAN GALERİ AÇMA MAKİNELERİ PERFORMANS ANALİZİ

ÇELİKÖRS, Hüsna

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ÇOMAKLI

Ağustos 2019, 110 sayfa

Kapadokya bölgesinde fazlaca bulunan ve genel olarak kayadan oyma yapı (KOY) olarak adlandırılan yeraltı açıklıklarının kazısında kollu galeri açma makineleri (KGAM) yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. KOY kazılarında KGAM kullanımını madencilik ve tünel projelerinden farklılık göstermektedir. Şöyle ki, KOY kazıları genellikle düşük dayanıma sahip, çok fazla süreksizlik içermeyen ve kolay kazılabilen piroklastik kayalar (tüfler) içerisinde yapılmaktadır. Bu çalışmada, sekiz farklı KOY kazısı için günlük ilerleme miktarı, makine kullanım oranı ve kesici uç tüketimi gibi KGAM arazi performans değerleri düzenli olarak kaydedilmiş ve her bir proje sahası için ortalama değerler belirlenmiştir. Laboratuvar deney sonuçlarına bağlı olarak daha önce geliştirilen modeller kullanılarak her bir proje sahası için KGAM anlık kazı hızı ve kesici uç tüketim değerleri teorik olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan teorik değerler KGAM arazi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Kazılan kayaların özelliklerine bağlı olarak KOY kazılarında KGAM anlık kazı hızı ve kesici uç tüketimi değerlerinin tahmin edilmesi için yeni modeller geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kayadan oyma yapılar, KGAM, performans tahmini, kesici uç tüketimi.

SUMMARY

PERFORMANCE ANALYSES OF ROADHEADERS USED IN EXCAVATION OF COLD STORAGE CAVERNS

ÇELİKÖRS, Hüsna

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor : Assistant Professor Dr. Ramazan ÇOMAKLI

August 2019, 110 pages

Roadheaders are commonly used on the excavation of the underground spaces that located in Cappadocia Region and generally called as rock-cut structures (RCS). The use of roadheaders in the excavation of RCSs show different characteristics in mining and tunneling projects. Namely, the excavation of RCSs is usually carried out in low-strength, non-discontinuous, and easy excavated pyroclastic rocks (tuffs). In this study, roadheader field performances such as daily advance rate, machine utilization time, and cutter consumption rate for eight different RCS excavations were recorded in detail and average field performance values were determined for each project area. Based on the results of the laboratory studies, the roadheaders' instantaneous cutting rate and cutter consumption values were calculated theoretically for each project by using previously developed models. The calculated theoretical values were compared with field performance data of roadheaders. Based on the characteristics of the excavated rocks, new models were developed for the prediction of instantaneous cutting rate and cutter consumption rate of roadheaders in the excavations of RCSs.

Keywords: Rock-cut structures, roadheaders, performance prediction, cutter consumption.

ÖN SÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ÇOMAKLI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans tez çalışmam esnasında tecrübelerine başvurduğum Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine müteşekkir olduğumu ifade etmek isterim. Tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, bana yardımlarını esirgemeyen maden mühendisleri Ali Rıza MAVİ ve Abdullah Mahmood Jumah Aldalahali'ye ayrıca teşekkür ederim. Bu tezin hazırlanması esnasında bana her türlü desteği sağlayan İlayda Begüm EMİROĞLU, Nezir AYKAÇ ve ÖZÇETE ailesine minnet ve şükran duygularımı belirtmek isterim.

Bu tezi, sadece bu çalışmam boyunca değil, tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi koruyuculuğumu üstlenen babam Mehmet ÇELİKÖRS'e, annem Fatma ÇELİKÖRS'e, kardeşim Zeynep ÇELİKÖRS'e ve tüm öğrenim ve çalışma hayatım süresince maddi manevi desteğini esirgemeyen amcam Ömer ÇELİKÖRS'e ithaf ediyorum.

Tamamlanan bu proje, TÜBİTAK (Proje No: 217M171) tarafından 1002 Hızlı Destek Projeleri kapsamında desteklenmiştir. Bu kapsamda desteklerinden dolayı TÜBİTAK' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGE VE KISALTMALAR	xv
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1 Mekanize Kazı ve Gelişimi.....	3
2.2 Kollu Galeri Açma Makineleri (KGAM)	6
2.2.1 Kol ünitesi	8
2.2.2 Kesici kafa bölümü.....	9
2.2.3 Yürüyüş ünitesi.....	10
2.2.4 Malzeme aktarma ünitesi.....	10
2.3 Kollu Galeri Açma Makinalarında Kullanılan Keski Tipleri	10
2.3.1 Kalem ve kama uçlu keski	11
2.4 Kalem Uçlu Keski İçin Geliştirilen Kesme Teorileri	12
2.4.1 Evans yaklaşımı.....	12
2.4.2 Merchand-Potts-Shuttleworth yaklaşımı	14
2.4.3 Nishimatsu yaklaşımı	14
2.4.4 Göktan yaklaşımı.....	15
2.5 Dolaylı Deneyler Yardımı ile Kayaç Kazılabilirlik Tahmini	15
2.5.1 Schmidt çekici deneyi	15
2.5.2 N.C.B. koni delici.....	16
2.5.3 Nokta yük deneyi.....	17
2.5.4 Darbe dayanımı deneyi.....	17
2.5.5 Cerchar sertlik deneyi.....	18
2.5.6 Cerchar aşındırıcılık deneyi.....	18
2.6 Kaya Kesme Deneyleri	19

2.6.1 Tam boyutlu doğrusal kaya kesme deney seti (LCM)	19
2.6.2 Küçük boyutlu kazı deney seti	22
2.6.3 Taşınabilir doğrusal kazı deney seti (PLCM).....	23
2.7 Kollu Galeri Açma Makinesi Performans Tahmin Modelleri	26
2.7.1 Rostami yöntemi.....	26
2.7.2 Gehring yöntemi.....	27
2.7.3 Thuro yöntemi	27
2.7.4 Balcı yöntemi	28
2.7.5 Tumaç yöntemi.....	28
2.7.6 Bilgin yöntemi.....	28
2.8 Kollu Galeri Açma Makinesi Kesici Uç Tüketim Tahmin Modelleri	29
2.8.1 Johnson ve Fowell modeli.....	29
2.8.2 Özdemir modeli.....	29
2.8.3 Çopur ve diğ. modeli	30
BÖLÜM III MATERYAL VE METOD	31
3.1 Sahanın Jeolojisi	31
3.2 Kayadan Oyma Yapı Çalışma Sahaları	32
3.2.1 Niğde bölgesi KOY çalışma sahaları	34
3.2.2 Nevşehir bölgesi KOY çalışma sahaları.....	34
3.3 Laboratuvar Deneyleleri	36
3.3.1 Örnek hazırlama	36
3.3.2 Birim hacim ağırlık (yoğunluk).....	36
3.3.3 Porozite ve boşluk oranı	37
3.3.4 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyi.....	38
3.3.5 Cerchar aşınma indeksi	39
3.3.6 Laboratuvarda Schmidt çekici deneyi	40
3.3.7 Nokta yükü dayanımı indeksi deneyi	41
3.3.8 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi.....	42
3.3.9 Kaya kesme deneyleri	43
3.3.10 Mineralojik ve petrografik analiz	44
BÖLÜM IV ARAŞTIRMA VE BULGULAR	47
4.1 KGAM ile Arazide Yapılan Çalışmalara Ait Veriler	47
4.2 Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	49
4.2.1 Birim hacim ağırlık (yoğunluk).....	49

4.2.2 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyi.....	49
4.2.3 Yerinde schmidt çekici deneyi	50
4.2.4 Nokta yükü dayanımı indeksi.....	51
4.2.5 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi.....	51
4.2.6 Cerchar aşındırma deneyi.....	52
4.3 Kaya Kesme Deneyleri	54
4.3.1 Kama uçlu keskinlerle yapılan kaya kesme deneyleri.....	54
4.3.2 Konik uçlu keskinlerle yapılan kaya kesme deneyleri	55
4.3.2.1 Nar 2 KOY yapılan kaya kesme deneyleri.....	55
4.3.2.2 Sulusaray 2 KOY yapılan kaya kesme deneyleri.....	58
4.3.2.3 Sulusaray 3 KOY yapılan kaya kesme deneyleri.....	60
4.3.2.4 Aktaş 3 KOY yapılan kaya kesme deneyleri	63
4.3.2.5 Aktaş 4 KOY yapılan kaya kesme deneyleri	65
4.3.2.6 Kayhan 2 KOY yapılan kaya kesme deneyleri	67
4.3.2.7 Çardak 2 KOY yapılan kaya kesme deneyleri	70
4.3.2.8 Kavak 2 KOY yapılan kaya kesme deneyleri	72
4.4 Teorik Hesaplamalar.....	74
4.4.1 Kollu galeri açma makinelerinin performans tahmini.....	74
4.4.2 Kesici uç tüketimi tahmin modelleri	77
BÖLÜM V BULGULAR VE TARTIŞMA.....	80
5.1 KGAM Kazı Performansının Değerlendirilmesi	80
5.1.1 KGAM arazi anlık kazı hızının önceki modeller ile karşılaştırılması.....	80
5.1.2 KOY kazıları için KGAM performans tahmin modellerinin geliştirilmesi	83
5.1.3 KGAM arazi kesici uç tüketiminin önceki modeller ile karşılaştırılması.....	88
5.1.4 KOY kazılarında kayaç özelliklerinin KGAM kesici uç tüketime etkisinin araştırılması	90
5.1.4.1 KOY kazıları için KGAM kesici uç tüketim oranı tahmin modeli geliştirilmesi.....	90
BÖLÜM VI SONUÇLAR	92
KAYNAKLAR	97
EKLER.....	102
EK 1: KGAM Arazi Performans Değerleri	102
Ek 1.1: Kavak - 2 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri	102

Ek 1.2: Çardak – 2 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri.....	103
Ek 1.3: Aktaş - 3 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri.....	104
Ek 1.4: Aktaş - 4 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri.....	105
Ek 1.5: Sulusaray - 2 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri.....	106
Ek 1.6: Sulusaray - 3 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri.....	107
Ek 1.7: Nar – 2 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri...	108
Ek 1.8: Kayhan – 2 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri.....	109
ÖZ GEÇMİŞ.....	110

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yıllara göre mekanize kazının gelişimi	5
Çizelge 2.2. Galeri açma makinalarının kazı kesitine göre sınıflandırılması	6
Çizelge 2.3. Kollu makinaların ağırlıklarına göre sınıflandırılması	9
Çizelge 2.4. Kazı makinelerinin performansını etkileyen parametreler	12
Çizelge 3.1. Cerchar aşınma indeksi değerine göre kayaçların sınıflandırılması	40
Çizelge 3.2. Proje sahalarından alınan örneklerin mineralojik petrografik analizi	45
Çizelge 4.1. KGAM'lara ait teknik özellikler	47
Çizelge 4.2. Proje sahalarına ait çalışma sürelerinin dağılımı	48
Çizelge 4.3. Proje sahalarında yapılan çalışmalara ait veriler	49
Çizelge 4.4. Proje sahalarından alınan numunelere ait fiziksel ve mekanik özellikler ..	54
Çizelge 4.5. Proje sahalarına ait kuvvet ve spesifik enerji değerleri	55
Çizelge 4.6. Nar 2 KOY yapılan çalışma ait değerler	56
Çizelge 4.7. Sulusaray 2 KOY yapılan çalışma ait değerler	59
Çizelge 4.8. Sulusaray 3 KOY yapılan çalışma ait değerler	61
Çizelge 4.9. Aktaş 3 KOY yapılan çalışma ait değerler	63
Çizelge 4.10. Aktaş 4 KOY yapılan çalışma ait değerler	65
Çizelge 4.11. Kayhan 2 KOY yapılan çalışma ait değerler	68
Çizelge 4.12. Çardak 2 KOY yapılan çalışma ait değerler	70
Çizelge 4.13. Kavak 2 KOY yapılan çalışma ait değerler	72
Çizelge 4.14. Performans tahmin işlemleri sonuçları	77
Çizelge 5.1. Önceki modeller kullanılarak teorik olarak hesaplanan KGAM anlık kazı hızı değerleri ve arazi verileriyle karşılaştırılması	81
Çizelge 5.2. Önceki modeller kullanılarak teorik olarak hesaplanan KGAM kesici uç tüketim değerleri ve arazi verileriyle karşılaştırılması	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Aynaya dik dönme eksenli kafalı kollu galeri açma makinesi	7
Şekil 2.2. Aynaya paralel dönme eksenli kollu galeri açma makinesi	7
Şekil 2.3. Kollu galeri açma makinası ünitelerinin görüntüsü.....	9
Şekil 2.4. Kama ve kalem uçlu keskinlerin tasarım parametreleri	11
Şekil 2.5. Kollu galeri açma makinelerinde kullanılan keskinler	11
Şekil 2.6. Kielder tüneline ilerleme hızı schmidt çekici arasında kurulan ilişki	16
Şekil 2.7. Kazı hızının koni delici değeri ve kazı hızının koni delici ile değişimi	17
Şekil 2.8. Nokta yük dayanımı ile kazı hızının ve nokta yük dayanımı ile keski sarfiyatının değişimi	17
Şekil 2.9. Voest Alpine kollu makinelerinde CAI ile kazı hızının değişimi	18
Şekil 2.10. Kollu galeri açma makineleri ve tünel açma makineleri için Cerchar aşınma indeksi ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki.....	19
Şekil 2.11. Tam boyutlu doğrusal kazı deney seti	20
Şekil 2.13. Tam boyutlu kazı deney setinin şematik görünümü	20
Şekil 2.13. Küçük boyutlu kazı deney seti.....	23
Şekil 2.14. Taşınabilir doğrusal kazı seti.....	24
Şekil 2.15. Genel görüntüsü ile taşınabilir doğrusal kaya kesme seti.....	25
Şekil 2.16. Keskinler arası mesafenin ayarlanması için gerekli aparat	25
Şekil 2.17. Kesme derinliğinin ayarlanması için aparat	26
Şekil 3.1. Kapadokya Bölgesinin haritadaki genel görünümü.....	31
Şekil 3.2. Proje alanlarının Kapadokya bölgesindeki yeri.....	33
Şekil 3.3. KOY soğuk hava deposu genel plan görünümü	33
Şekil 3.4. Aktaş soğuk hava deposu görünümü	34
Şekil 3.5. Nevşehir bölgesi soğuk hava deposu genel görünümü.....	35
Şekil 3.6. Nevşehir bölgesi KOY çalışma sahası.....	35
Şekil 3.7. Brazilian deneyinde kullanılan yükleme çenelerinin şematik görünümü.....	39
Şekil 3.8. Nokta yük dayanımı için kullanılacak örnek çeşitleri	41
Şekil 3.9. Hidrolik eğilme test makinesinin genel bileşenleri ve DKKS.....	43
Şekil 4.1. KOY kazılarında kullanılan KGAM' lardan birisine ait görüntü.....	47
Şekil 4.2. Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deney aleti	50

Şekil 4.3. Schmidt çekici	50
Şekil 4.4. Nokta yükü dayanımı deney aleti	51
Şekil 4.5. Tek eksenli basınç dayanımı deney aleti	52
Şekil 4.6. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kullanılan silindirik örnekler	52
Şekil 4.7. Cerchar aşındırıcılık deney aleti ve deneyde kullanılan uçlar	53
Şekil 4.8. Cerchar aşınma testi sonunda kayaç yüzeyinde oluşan aşınma (Aktaş).....	53
Şekil 4.9. Deney uçlarında ölçülen aşınma miktarlarının mikroskop altındaki görüntüsü ve ölçümü.....	53
Şekil 4.10. Aktaş 3 numunesi üzerinde kama uçlu keski kullanılarak yapılan kaya kesme deneyleri	55
Şekil 4.11. Kaya kesme deneylerinde kullanılan konik uç	56
Şekil 4.12. Nar 2 numunesi üzerinde yardımcı kaya kesme deneyi sonrası.....	56
Şekil 4.13. Nar 2 projesi için kesme derinliği ile kuvvet değerleri arasındaki ilişki	57
Şekil 4.14. Nar 2 projesi için kesme derinliği ve spesifik enerji ilişkisi.....	58
Şekil 4.15. Nar 2 projesi için kesmeler arası mesafe/ kesme derinliği oranı ile SE ilişkisi.....	58
Şekil 4.16. Sulusaray 2 projesi için kesme derinliği ile kuvvet değerleri arasındaki ilişki	59
Şekil 4.17. Sulusaray 2 projesi için kesme derinliği ile SE arasındaki ilişki.....	59
Şekil 4.18. Sulusaray 2 projesi için kesmeler arası mesafe/ kesme derinliği ve SE arasındaki ilişki	60
Şekil 4.19. Sulusaray 3 projesi için kesme derinliği ile kuvvetler arasındaki ilişki	61
Şekil 4.20. Sulusaray 3 projesi için kesme derinliği ile SE arasındaki ilişki.....	62
Şekil 4.21. Sulusaray 3 projesi için s/d oranı ile SE arasındaki ilişki.....	62
Şekil 4.22. Aktaş 3 projesi için kesme derinliği ile kuvvetler arasındaki ilişki.....	63
Şekil 4.23. Aktaş 3 projesi için kesme derinliği ile SE arasındaki ilişki	64
Şekil 4.24. Aktaş 3 projesi için s/d oranı ile SE arasındaki ilişki	64
Şekil 4.25. Aktaş 4 projesi için kesme derinliği ve kuvvetler arasındaki ilişki	66
Şekil 4.26. Aktaş 4 projesi için kesme derinliği ve SE arasındaki ilişki	66
Şekil 4.27. Aktaş 4 projesi için s/d ve SE arasındaki ilişki	67
Şekil 4.28. Kayhan 2 projesi için kesme derinliği ile kuvvetler arasındaki ilişki.....	68
Şekil 4.29. Kayhan 2 projesi için kesme derinliği ile SE arasındaki ilişki.....	69
Şekil 4.30. Kayhan 2 projesi için s/d ile SE arasındaki ilişki	69

Şekil 4.31. Çardak 2 projesi için kesme derinliği ve kuvvetler arasındaki ilişki.....	71
Şekil 4.32. Çardak 2 projesi için kesme derinliği ve SE arasındaki ilişki	71
Şekil 4.33. Çardak 2 projesi için s/d ve SE arasındaki ilişki	72
Şekil 4.34. Kavak 2 projesi için kesme derinliği ve kuvvetler arasındaki ilişki.....	73
Şekil 4.35. Kavak 2 projesi için kesme derinliği ile SE arasındaki ilişki.....	73
Şekil 4.36. Kavak 2 projesi için s/d ile SE arasındaki ilişki	74
Şekil 5.1. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişki.....	84
Şekil 5.2. KGAM anlık kazı hızı değeri ile formasyonun yerinde Schmidt sertlik değerleri arasındaki ilişki.....	84
Şekil 5.3. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişki.....	85
Şekil 5.4. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kayaçların porozite değerleri arasındaki ilişki	86
Şekil 5.5. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kayaçların su içeriği değerleri arasındaki ilişki	86
Şekil 5.6. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kama uçlu keski için spesifik enerji değeri arasındaki ilişki	87
Şekil 5.7. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kama uçlu keski için kesme kuvveti arasındaki ilişki	87
Şekil 5.8. KGAM anlık kazı hızı değeri ile konik uçlu keski için optimum s/d Değerinde elde edilen kesme kuvveti arasındaki ilişki.....	88
Şekil 5.9. KOY kazıları için KGAM kesici uç tüketimi değeri ile Cerchar aşındırıcılık indeks değeri arasındaki ilişki.....	91

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
ρ_w	Suyun yoğunluğu
σ_C	Kayacın basınç dayanımı
σ_s	Kayacın kesme dayanımı
σ_T	Kayacın çekme dayanımı
A	Silindirik örneğin kesit alanı
BCR	Uç tüketim oranı
CAI	Cerchar aşınma indeksi
CC	Kesici uç tüketimi
CCI	Kesici uç tüketim indeksi
CHD	Kesici kafa gücü
D	Kesme derinliği
d	Kesme derinliği
D	Numunenin çapı
d	Ortalama kuvars tane boyutu
F	Kırılma yükü
F_C	Maksimum kesme kuvveti
FN	Normal kuvvet
FR	Yuvarlanma kuvveti
F_s	Asınma indeksi (N/mm)
FS	Yanal kuvvet
HP	Kesici kafa gücü
ICR	Kazı miktarı
K	Kesici kafa gücünü kayaca iletme katsayısı
K_1	Kesici uç katsayısı
K_2	Su kullanım katsayısı
MPa	Megapaskal
P	Kesici kafa gücü
P	Numunenin yenildiği anki yük değeri

Q	Birim kesme mesafesinde açığa çıkan pasa miktarı
Q	Kayacın kuvars içeriği
S	Keskiler arası optimum mesafe
SE	Spesifik enerji
SEopt	Optimum spesifik enerji
SH	Kayaçların shore sertliği
t	Numunenin kalınlığı
UCS	Tek eksenli basınç direnci
V	Hacim
V _{ph}	Üretim miktarı
W	Kesici kafa çapı
W	Keski genişliği
W _d	Kuru ağırlık
W _{ph}	Üretim miktarı
W _s	Doygun ağırlık
α	Kesme açısı
γ	Kayaç ile keski arasındaki sürtünme açısı
η	Toplam sistem verimliliği
θ	Uç açısı
ρ	Yoğunluk
Φ	Kayacın içsel sürtünme açısı
Ψ	Kayaç ve kesici arasındaki sürtünme açısı
γ	Kazılacak malzemenin yoğunluğu

Kısaltmalar

Açıklama

DKKS	Düşey Kayaç Kesme Seti
KDD	Koni Delici Değeri
KGAM	Kollu Galeri Açma Makinesi
KOY	Kayadan Oyma Yapılar
KTÜ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
KVA	Kapadokya Volkanik Alanı
LCM	Tam Boyutlu Kaya Kesme Deney Seti
TBM	Tünel Açma Makinaları

BÖLÜM I

GİRİŞ

İnsanoğlu tarihi boyunca farklı ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kazı işlemleri yapmıştır. Geçmişten günümüze kadar yerüstü ve yeraltında değişik kazı yöntemleri uygulanmıştır. İlk zamanlarda insan gücü ile kazı yapılırken zamanla bunun yerini makinalar almaya başlamıştır.

Mekanize kazı, kayacı çeşitli keskiler ve kazı makineleri ile mekanik olarak kesip parçalama esasına dayanan bir kazı yöntemidir. Mekanize olarak yapılan ilk kazılar yeraltı kömür ocaklarında başlamıştır ve ihtiyaçlar doğrultusunda gelişimi hız kazanmıştır. Bu ihtiyaçlar özellikle madencilik sektöründe daha fazla üretim ve tünel ve altyapı çalışmalarında daha hızlı ve güvenli ilerlemenin elde edilmesi şeklinde olmuştur. Son dönemlerde kazı biliminde yaşanan gelişmeler de ihtiyaçlara cevap verecek nitelikte olmuş ve mekanize kazı yöntemleri inşaat sektörlerinde ve madencilikte önemli bir yere sahip olmuştur. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak hem inşaat hem de madencilik sektöründe makine ile kazı, klasik kazı yöntemlerinin yerine kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde hem inşaat hem de madencilik faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılan mekanize kazıcılardan birisi kollu galeri açma makineleridir. KGAM madencilik faaliyetlerinde özellikle galeri sürme işlemlerinde kullanılırken, inşaat sektöründe ise ulaşım ve altyapı tünellerinin kazısında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında kollu galeri açma makineleri lkemizde Kapadokya bölgesinde kayadan oyma yapıların kazısında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bölgede yer alan kayadan oyma yapılar genel olarak çok az kırıklı çatlaklı yapıya sahip olan düşük dayanımlı ve kolay kazılabilen tüfler içerisinde açılmaktadır. Bunun yanında kayadan oyma yapılarının kazısı esnasında kollu galeri açma makinelerinden arına su püskürtme işlemi olmamakta ve kazılan kısımlarda tahkimat sistemi kurulmamaktadır. Kayadan oyma yapıların kazısında, genel olarak tünel ve maden kazıları için tasarlanan ve tflere nazaran daha yüksek dayanıma sahip kayaçların kazısında kullanılan kollu galeri açma makineleri herhangi bir değişim yapılmadan kullanılmaktadır. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında kayadan oyma yapıların kazısında kullanılan kollu galeri açma

makinelerinin kazı performanslarının tünel ve inşaat kazılarına göre farklılık göstermesi kaçınılmazdır.

Literatürde bulunan kollu galeri açma makinelerinin net kazı hızı ve kesici uç tüketimi gibi performans parametrelerinin tahmin edilmesi için kullanılan farklı modeller yer almaktadır. Ancak kayadan oyma yapıların kazısının tünel ve maden kazılarından farklılık göstermesinden dolayı önceki modellerin bu alanlarda kullanımı uygun olmamaktadır. Yapılan bu çalışmada sekiz farklı kayadan oyma yapı kazısında, kazısı yapılan formasyon özelliklerine bağlı olarak önceki modeller kullanılarak net kazı hızı ve kesici uç tüketimi değerleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte proje sahaları için kollu galeri açma makinesi arazi kazı performans değerleri düzenli olarak kaydedilmiştir. Elde edilen arazi performans değerleri önceki modellerden elde edilen teorik değerlerle karşılaştırılmış ve önceki modellerin kayadan oyma kazılarında performans tahmini için kullanılabilirliği belirlenmiştir. Daha sonra kazılan formasyon özelliklerine bağlı olarak kayadan oyma yapıların kazısında kullanılan kollu galeri açma makinelerinin net kazı hızı ve kesici uç tüketimi değerlerinin hesaplanmasından kullanılacak yeni modeller geliştirilmiştir.

BÖLÜM II

LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Mekanize Kazı ve Gelişimi

Makineler aracılığı ile kayaç ortamının kazılması işlemine mekanize kazı denilebilir (Tumaç, 2010). Madencilik sektörü yüksek yatırımlar gerektirmektedir. Makine ile kazı, işletme maliyetini düşürmek ve en uygun verimlilik düzeyini yakalamak için üretim ve hazırlık gibi madenciliğin her aşamasında teknolojik gelişmelere paralel olarak kullanımı kaçınılmaz olmuştur. İnsan gücüne dayalı olarak başlayan madencilik daha sonra delme-patlatma yöntemiyle devam etmiştir. Delme-patlatma yönteminde, delme patlatma sonucunda parça boyutunun büyük olması bu yöntemi verimli kılmıştır. Delme patlatma ilerleme hızının sınırlı olması nedeniyle yöntemin uygulanabilirliğini de sınırlandırmıştır. Kazı teknolojisinin gelişimi dünyanın enerji ihtiyacının artmasıyla hızlanmıştır. Mekanize kazının delme-patlatma yöntemine göre daha fazla avantaja sahip olması nedeniyle daha çok kullanılmaya başlanmıştır (Bilim, 2007).

Delme-patlatma yöntemine göre mekanize kazının avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Yeryüzü oturmaları kazı esnasında arazi kontrolü sağlandığından daha azdır.
- İş ve işçi güvenliği patlayıcı madde kullanılmadığı için daha fazla olurken, iş kazası oranı daha düşüktür.
- Kazı profilinin istenilen şekilde oluşturulması daha kolaydır.
- İşçi sayısı delme-patlatma yöntemine göre daha azdır.
- Oluşan toz ve duman kontrolü sağlanabilir. Yer altı uygulamalarında havalandırma ihtiyacı daha azdır.

Mekanize kazının bu avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Bunlar ise ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, tecrübeli eleman gereksinimi ve özel tasarım makinelerde parça temininin zaman alması gibi etkenler sayılabilir (Tumaç, 2010).

Madencilik çalışmaları ile geliştirilen kazı makineleri teknolojinin ilerlemesi ile birlikte birçok amaca yönelik hizmet edebilmektedir. Nüfus artışına bağlı olarak yeni yerleşim yerleri kurulması ve bunun sonucunda büyük şehirlerde ulaşım sorunları ortaya çıkmaktadır. Ulaşım sorunlarının çözülmesi için yer altı ulaşım sistemlerinin (metro, tünel) kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Yerleşim birimlerinin olduğu yerlerde metro ve tünel yapımında delme-patlatma yöntemi ses, titreşim ve tünel çevresinde zayıf zonlar oluşması gibi etkenlerden dolayı tercih edilmemektedir. Kazı makineleri kullanıldığında bu tür etkenlerle daha az karşılaşılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde mekanize kazının gelişimi kronolojik sıralamaya göre Çizelge 2.1’ de gösterilmiştir.

Galeri açma makinaları; madencilik, karayolu, mikro tünelcilik, metro, demiryolu, inşaat mühendisliği, kanalizasyon ve baraj inşaatları gibi pek çok alanda kullanılmaktadırlar. Her türlü kayacıkta kazı yapabilmekte sulu zeminler de dahil, ekonomik ve teknik açıdan avantajlı, tüm kesitlerde başarı sağlayabilmekte, sığ derinliklerde yani şehirlerde tasman bölgesi olarak adlandırılan yerlerde delme-patlatma yerine kullanılabilen, ilerleme hızı artarken maliyetleri de buna bağlı olarak düşürmektedir (Akkaş, 2010).

Galeri açma makineleri farklı ölçütlere göre sınıflandırılırlar. Bunlar; makinelerin kazı yaptığı kayacık sertliğine göre ve makinelerin açtığı kesitin şekline ve bu kesiti açış durumlarına bağlı olarak yapılan sınıflandırmalardır. Makinelerin açtığı kesitin şekline ve bu kesiti açış durumlarına bağlı olarak galeri açma makinelerinin sınıflandırılması Çizelge 2.2’ de görülmektedir. (Kahraman, 2012).

Başka bir sınıflandırma ölçütü ise makinanın açtığı kesitin şekli ve keskinin bu kesite göre pozisyonlarıdır. Buna göre gruplar;

- a. Tam cephe kazı yapan makinalar yani açılacak bütün yüzeyi bir bütün olarak ve bir defada kazın makinalar.
- b. Kısmi kazı yapan makinalar yani açılacak galeri cephesini kısım kısım kazarak galeri açan makinalar.

Bütün yüzeye temas ederek kazı yapan tam cepheli tünel açma makinalarının keskininin kazı sırasında yüzeye temas etmesini sağlamak için makinanın tamamı ya

da makinanın kafası sürekli olarak ileri doğru hareket eder. İlk yatırım maliyetleri yüksek olduğundan bu makinalar daha çok su ve kanalizasyon tünelleri ve metro tünelleri açımında kullanılmaktadırlar.

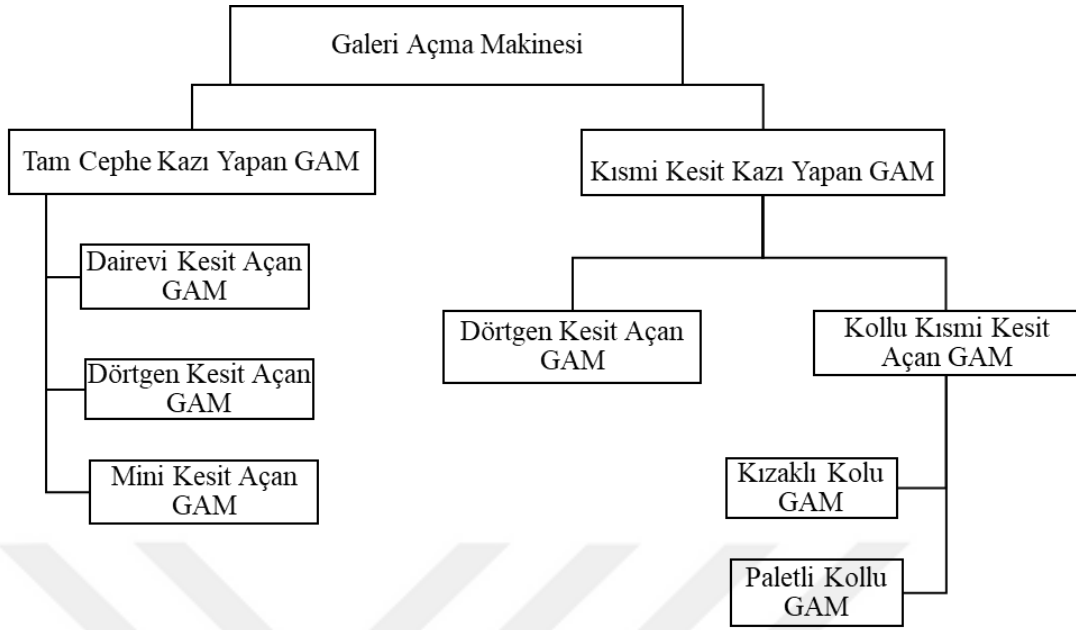
Çizelge 2.1. Yıllara göre mekanize kazının gelişimi (Kahraman, 2012)

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

Tam cepheli tünel açma makinalarının;

- Sert kayaktan Yumuşak kayaca kadar geniş bir kullanım alanı vardır.
- Tasmanın kontrol edilebilir olması ve titreşim oluşmamasından dolayı yerleşim yerlerinde tercih edilmektedir.
- İlk yatırım maliyetleri yüksek olmasından dolayı uzun tünellerde ve yüksek ilerleme hızlarında ekonomik olabilmektedirler.
- Su ve havalandırma tünellerinin açımında düzgün tünel yüzeyleri önemli olduğundan dolayı tercih edilirler (Bilim, 2007).

Çizelge 2.2. Galeri açma makinalarının kazı kesitine göre sınıflandırılması



Kısmi kazı yapan makinaların genel özelliği makinenin sabit bir şekilde durarak, kesme kafasını galeri kesiti üzerinde bir yerden diğerine hareket ettirebilmeleridir. Böylece galeri kesiti kısım kısım kazılmış olmaktadır. Kazı esnasında meydana gelen reaksiyon kuvvetlerinin dengelenmesi ve galeri kesitine karşı gerekli itme kuvvetinin teminindeki zorluk dolayısıyla, uygulama alanı daha çok yumuşak kayalardır. Kısmi kazı yapan makinalar tarama makinaları ve kollu makinalar olmak üzere ikiye ayrılırlar.

- Kollu Galeri Açma Makinaları (Roadheader)
- Tamburlu Kesici (Drum Shearer)
- Sürekli Kazı Makinası (Continuous miner)
- Hidrolik kırıcılar

bu sınıfa girmektedir (Bilim, 2007).

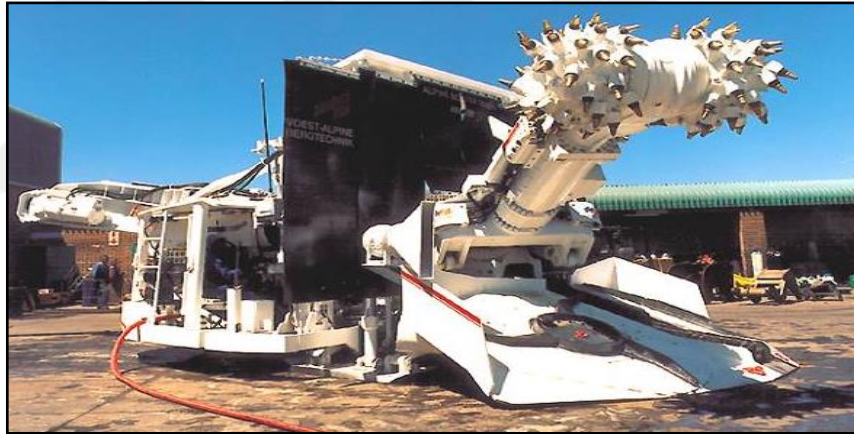
2.2 Kollu Galeri Açma Makineleri (KGAM)

Galeri açma makinalarından olan kollu galeri açma makinaları kısmi cephe kazı makinaları olarak da adlandırılmakta olup madencilik ve inşaat sektöründe yaygın

olarak kullanılmaktadır. Kullanım açısından uygun ve ekonomik olmaları sebebiyle sert olmayan formasyonların kazısında başarıyla kullanılmaktadır (Çomaklı, 2010).



Şekil 2.1. Aynaya dik dönme eksenli kafalı kollu galeri açma makinesi (Çomaklı, 2010)



Şekil 2.2. Aynaya paralel dönme eksenli kollu galeri açma makinesi (Çomaklı, 2010)

Kollu galeri açma makineleri,

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

gibi avantajlara sahiptir. Dezavantajları ise dairesel kesitleri düzgün bir şekilde açamamaları, kazı sırasında oluşan toz miktarının fazla oluşu ve sert kayalar kesilirken makinede meydana gelen titreşim sayılabilir (Kahraman, 2012). Kollu galeri açma makineleri çoğunlukla paletlidir. Kol üzerinde dönen küçük bir kafaya yerleştirilmiş kesiciler yardımıyla kayayı kazar. Değişik zemin şartlarında kullanabilmek için kesici kafaların değiştirilmesi gerekir (Çomaklı, 2010). Kollu galeri açma makineleri genel olarak 5 temel kısımdan oluşmaktadır (Dinçer 1999; Tunçdemir 2002; Yaralı 2009). Bunlar:

- Malzeme yükleme ünitesi (Besleyici tabla ve toplayıcılar)
- Kol (Boom) ve kesici kafa
- Malzeme aktarma ünitesi (zincirli ve köprü konveyör)
- Yürüyüş ünitesi
- Hidrolik ve elektriksel aksamlar (Akkaş, 2010)

Kollu galeri açma makinasının ünitelerinin görüntüsü Şekil 2.4'te verilmiştir.

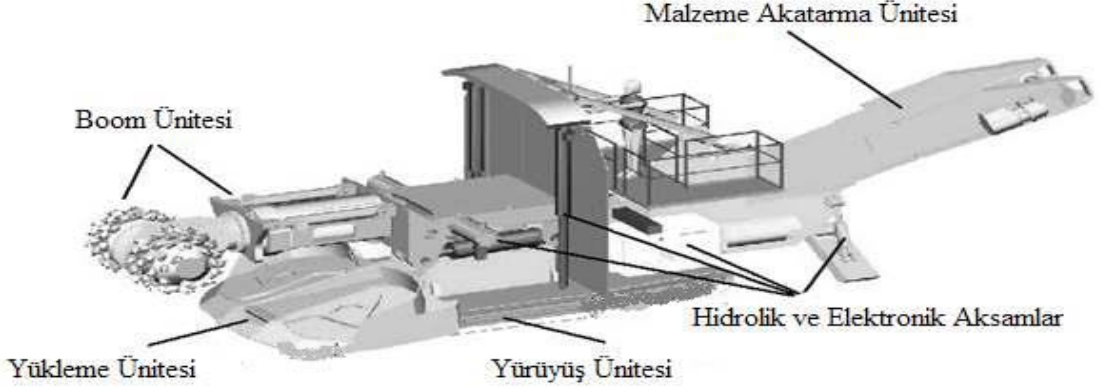
2.2.1 Kol ünitesi

Kol, makinenin kesici kafasının ve kesici kafasıyla ilgili olan tahrik ünitelerini taşıyan bir gövdeden oluşur. Kol gövdesi, yürüyüş ünitesi üzerindeki ana gövdede bulunan bir platforma bağlıdır. Kol gövdesi, gövde üzerinde sabitlenmiş bir şekilde duran hidrolik silindirlerle sağa-sola ve aşağı-yukarı hareket edebilmektedir. Kesici kafayı tahrik eden elektrik motoru kol gövdesi içinde bulunur. Kesici kafa dişli kutusuna bağlı bir mil yardımıyla elektrik motorundan elde edilen güç ile çalışır (Kahraman, 2012).

Çizelge 2.3'de görüldüğü üzere;

- I. Sınıf makineler; basınç dayanımı 40-60 MPa olan kayalarda 25m/gün' den fazladır. Hem inşaat hem de madencilik sektöründe kullanılmaktadırlar.
- II. ve III. Sınıf makineler; hem madencilik hem de inşaat sektöründe kullanılırken, III sınıf makinalar tuz, potas, fosfat, boksit, alçıtaşı, kireçtaşı ve diğer yumuşak minerallerin kazısında yüksek verimde çalışmaktadırlar.

- IV sınıf makineler; en son gelişen ağır makineler olup genellikle inşaat sektöründe kullanılmaktadırlar. Basınç dayanımı 150 MPa'a kadar olan kayalarda kazı yapabilirler, fakat genel olarak 100 MPa bunlar için daha emniyetli bir sınırdır (Çopur ve Eskikaya 1992; Akkaş, 2010).



Şekil 2.3. Kollu galeri açma makinası ünitelerinin görüntüsü

Çizelge 2.3. Kollu makinaların ağırlıklarına göre sınıflandırılması (Çopur ve Eskikaya 1992)

SINIF	AĞIRLIK(TON)	SINIFLAMA
0	<20	Hafif
I	20-30	
II	30-50	Orta
III	50-75	
IV	>75	Ağır

2.2.2 Kesici kafa bölümü

Makinaya etkiyen çeşitli kuvvetlerin büyüklüğünü ve etkileme yönünü kesici kafanın makina üzerindeki konumu ve dizayn şekli tayin eder. Kesici kafalar tek ya da çift şekildedirler. Tek kesici kafanın dönme eksenini kol eksenine paralel olup kol eksenine paralel (KEP), çift kesici kafalarda ise dönme eksenini kol eksenine dik olup (KED) olarak belirtilirler (Akçın, 2008; Yaralı, 2009; Akkaş, 2010).

2.2.3 Yürüyüş ünitesi

Kollu Galeri Açma Makinaları palet veya lastik tekerlekli yürüyüş ünitelerine sahiptir. Fakat paletli yürüyüş ünitesine sahip kollu galeri açma makinaları daha yaygındır. Kesici kafadaki tüm keski arına doğru kazı sırasında aktif olarak tamamı kesme yapar. Makine ve yürüyüş ünitesi, yürüyüş hızına ve kesici kafa geometrisine bağlı olarak keski tamamlanırken aktif olarak çalıştığı esnada yüksek kesme kuvvetlerine maruz kalırlar (Dinçer 1999, Akçın 2008; Akkaş, 2010).

2.2.4 Malzeme aktarma ünitesi

Makina önünde toplanan kırılmış malzemeler önce makina içerisindeki bir zincirli konveyöre ardından da bant konveyöre aktarılarak arın gerisine taşınmaktadır. Bant konveyörün konumu ana taşıyıcı sisteme bağlıdır. Eğer, arın gerisindeki ana taşıyıcı bir bant konveyör ise bantlı taşıyıcı üzerinde hareket edecek şekilde dizayn edilmektedir. Bu şekilde ya tavanda bulunan bir monoray ya da ana taşıyıcı üzerindeki bir platform üzerinde kayacak şekilde yerleştirilmektedir (Akçın 2008, Yaralı 2009; Kahraman, 2012).

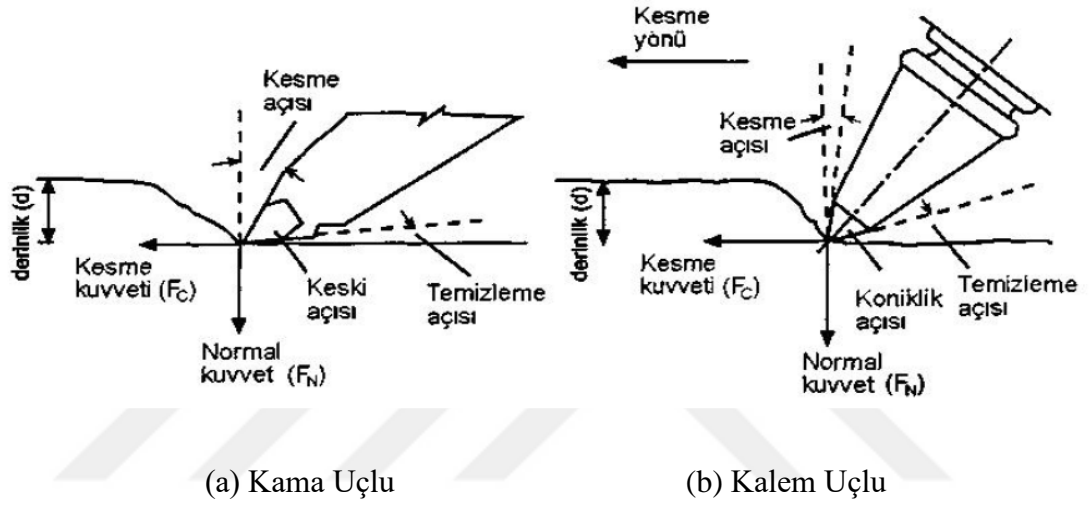
2.3 Kollu Galeri Açma Makinalarında Kullanılan Keski Tipleri

Günümüzde kullanılan kazı mekaniği prensipleri, kayaçların kazılabilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla pek çok araştırma yapıp temel kurallar belirlenmesiyle ortaya çıkmıştır. Araştırmalar ve deneyler makine performansını değerlendirebilmek için yapılmıştır (Bilim, 2007). Çizelge 2.4' te kazı makinelerinin performansını etkileyen bu parametreler verilmiştir (Çomaklı, 2010).

Makine tarafından sağlanan itme ve dönme kuvvetlerinin keskiyle kayaca iletilmesiyle mekanize kazı sistemlerinde kazı işlemi yapılmaktadır. Kollu galeri açma makinelerinde kullanılan keski tiplerinden aşağıda bahsedilmiştir (Kahraman, 2012). Kollu galeri açma makinelerinde kullanılan keski Şekil 2.5' da gösterilmiştir.

2.3.1 Kalem ve kama uçlu keski

Ucuz olması ve bazı şartlarda verimli kazı yaptıklarından dolayı tercih edilen bu keski tungsten karbit ve kobalttan yapılmıştır. Genellikle yumuşak formasyonlar ve kömürde kullanılırlar. Şekil 2.6' te kalem ve kama uçlu keski tasarım parametreleri verilmiştir. Sert ve aşındırıcı formasyonlar için kalem uçlu keski, yumuşak formasyonlar için kama uçlu keski uygundur. Kesici kafa üzerinde kırılmamaları için öne eğimli olarak dizayn edilirler (Kahraman, 2012).



Şekil 2.4. Kama ve kalem uçlu keski tasarım parametreleri (Bilim, 2007)



Şekil 2.5. Kollu galeri açma makinelerinde kullanılan keski (Polat, 2015)

Çizelge 2.4. Kazı makinelerinin performansını etkileyen parametreler (Çomaklı, 2010)

Makine Özelliklerine Bağlı Parametreler	
Kesici Kafa Özellikleri	Kesici kafanın gücü
	Keski tipi ve özellikleri
	Kesici kafanın tipi ve boyutu
	Keskilerin dağılımı ve sayısı
Makine Özellikleri	Pasa toplama ve taşıma hacmi
	Makinenin yaşı
	Makinenin tipi
	Makinenin kurulu toplam gücü
	Makinenin ağırlığı ve boyutları
Jeolojik Parametreler	
Kayacın Mekanik ve Fiziksel Özellikleri	Aşındırıcılığı (Cerchar değeri)
	Kaya kesme parametreleri (Spesifik enerji, Kesme kuvvetleri)
	Yüzey sertliği (Shore ve Schmidt çekici değeri)
	Sismik özellikler (P ve S dalgası)
	Dayanım özellikleri (Basınç ve çekme dayanımı, Kohezyon, elastik değeri)
	Diğer özellikler (Yoğunluk, nem oranı)
	Kaya dokusu (Porozite, kuvars içeriği, Mikro çatlaklar, tane boyutu)
Kaya Kütlesi Özellikleri	Hidrojeolojik durum
	Jeolojik süreksizlikler
	Kaya kalite değeri (RQD)
	Kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR)

2.4 Kalem Uçlu Keskiler İçin Geliştirilen Kesme Teorileri

Kesme teorileri, keskilere kesme esnasında etki eden kuvvetlerin belirlenebilmesi için geliştirilmiştir. Kazıcı makinede kullanılan uca göre teoriler değişiklik göstermektedir. Günümüzde genellikle kullanılan kesme teorileri aşağıda açıklanmıştır (Bilim, 2007).

2.4.1 Evans yaklaşımı

Evans kayacın çekme dayanımının yenilmesiyle kesme olayının gerçekleştiğini iddia etmiştir. Bu teori kırılmaların, keskinin kayaç içerisinde konik kafasının etrafında oluşan gerilmelerden dolayı ilerlemesiyle başladığını kabul eder (Bilim, 2007).

Kama uçlu keskilere için;

$$F'C = \frac{2\sigma_T W d \sin^{\frac{1}{2}}(\pi/2-\alpha)}{1 - \sin^{\frac{1}{2}}(\pi/2-\alpha)} \quad (2.1)$$

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

Burada;

F'C : Maksimum kesme kuvveti

σ_T : Kayacın çekme dayanımı

W : Keski genişliği

D : Kesme derinliği

A : Kesme açısı

S : Keskiler arası optimum mesafe

$$K = W/d$$

Kalem uçlu keski için;

$$F'C = \frac{16 \Pi d^2 \sigma_T^2}{\cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \sigma_C} \quad (2.3)$$

$$S = 2d\sqrt{3} \quad (2.4)$$

Burada;

F'C : Maksimum kesme kuvveti

d : Kesme derinliği

σ_T : Kayacın çekme dayanımı

θ : Uç açısı

σ_C : Kayacın basınç dayanımı

S : Keskiler arası optimum mesafe

α : Kesme açısı

2.4.2 Merchand-Potts-Shuttleworth yaklaşımı

Metallerin kesme teorisi esasına dayanan bu teori Merchand (1945) tarafından geliştirilmiştir. Teori radyal ve ileri atımlı kesmelerle ilgilidir. Kömür kesme için Potts ve Shuttleworth (1959) teoriyi değiştirmişlerdir.

$$F'C = \frac{\sigma_s d W \cos(\gamma - \alpha)}{\sin \Phi \cos(\Phi + \gamma - \alpha)} \quad (2.5)$$

Burada;

- F'C : Maksimum kesme kuvveti
 σ_s : Kayaca ait kesme dayanımı
d : Kesme derinliği
W : Keski genişliği
 γ : Kayaç ve keski arasında sürtünme açısı
 α : Kesme açısı
 Φ : Kayacın içsel sürtünme açısı

2.4.3 Nishimatsu yaklaşımı

Nishimatsu (1972) Mohr kırılma prensibini göz önüne alarak kayacın kesme dayanımının kazı sırasında kopan parçaların oluşmasında etkili olduğunu belirtmektedir. Sert kayalarda daha iyi sonuçlar veren bu teoriye göre geliştirilen eşitlik aşağıda verilmiştir (Bilgin, 1989).

$$F'C = \frac{2\sigma_s d W \cos(\gamma - \alpha) \cos \Phi}{[n+1][1 - \sin(\gamma + \Phi - \alpha)]} \quad (2.6)$$

$$n = 12 - \frac{\alpha}{2} \quad (2.7)$$

Burada;

- F'C : Maksimum kesme kuvveti

- σ_s : Kayacın kesme dayanımı
 d : Kesme derinliği
 W : Keski genişliği
 γ : Kayaç ile keski arasındaki sürtünme açısı
 α : Kesme açısı
 Φ : Kayacın içsel sürtünme açısı

2.4.4 Göktan yaklaşımı

Göktan (1997) formüle kayaç ve kesici arasındaki sürtünme açısını eklerken formülden basınç dayanımını çıkararak Evans'ın teorisini değiştirdi.

$$F'C = \frac{4\pi\sigma_T d^2 \sin^2(\phi/2 + \Psi)}{\cos(\phi/2 + \Psi)} \quad (2.8)$$

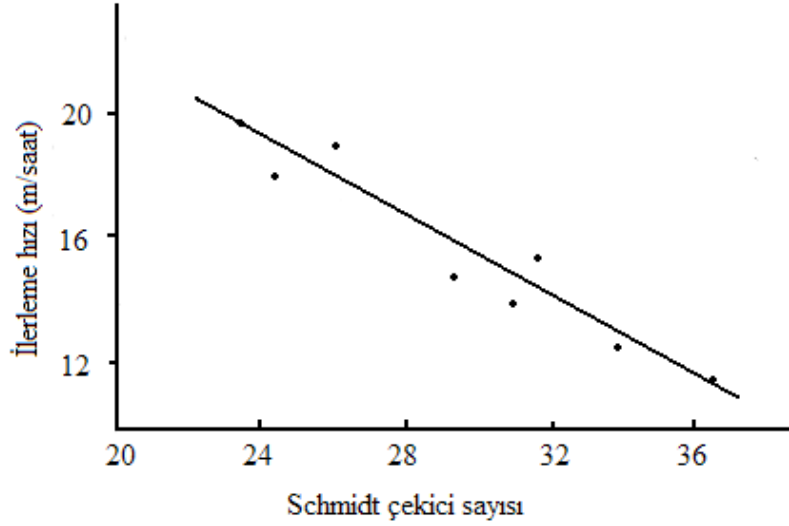
Burada;

- $F'C$: Maksimum kesme kuvveti
 σ_T : Kayacın çekme dayanımı
 d : Kesme derinliği
 ϕ : uç açısı
 Ψ : Kayaç ve kesici arasındaki sürtünme açısı (Polat, 2015).

2.5 Dolaylı Deneyler Yardımı ile Kayaç Kazılabilirlik Tahmini

2.5.1 Schmidt çekici deneyi

Kayaç sertliklerinin bulunmasında kullanılan bir yöntemdir. Çok sert ve çok zayıf kayaçlarla kullanım alanı sınırlıdır. Makinenin kazı hızının süreksizliklerin az olduğu formasyonlarda Schmidt çekici sertliğine dayalı olarak değiştiği görülmüştür. Kazı hızının bu değişimi gösterge olarak kabul edilir. Şekil 2.6' da Kielder tüneline yapılan bir araştırmaya ait grafikte bu ilişkinin nasıl olduğu görülmektedir (Çomaklı, 2010).



Şekil 2.6. Kielder tüneline ilerleme hızı schmidt çekici arasında kurulan ilişki (Bilgin,1989)

2.5.2 N.C.B. koni delici

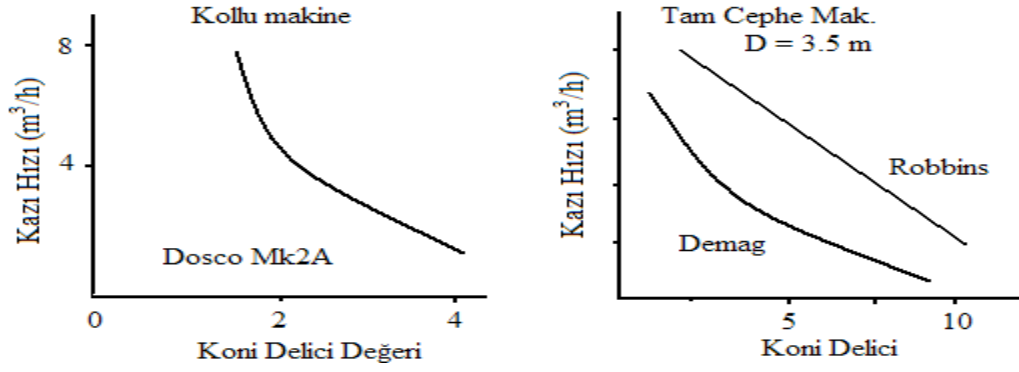
Galeri ve tünel açma makinelerinin seçiminde farklı araştırmacılar için güvenilir olarak nitelendirilmektedir. Kömür ve kömür yan kayaçları üzerinde İngiliz kömür işletmelerinde uzun çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda basınç dayanımı ile koni delici değeri arasında lineer bir ilişki bulunmuştur (Çomaklı, 2010). Bu ilişki aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_c = \text{KDD} \times 248 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (2.9)$$

σ_c : Basınç Dayanımı Değeri

KDD : Koni Delici Değeri

Kollu galeri açma makinelerinin ve tam cephe tünel açma makinelerinin kazı hızlarının koni delici değeri ile arasındaki ilişki Şekil 2.7’de verilmiştir.



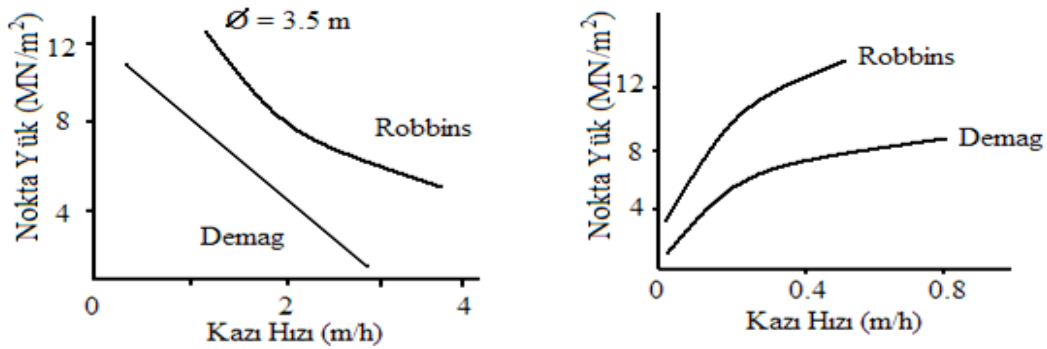
Şekil 2.7. Kazı hızının koni delici değeri ve kazı hızının koni delici ile değişimi (Stimpson and Acott,1983)

2.5.3 Nokta yük deneyi

Keski sarfiyatı ve kazı hızıyla doğru orantılı olan nokta yük dayanımının ilişkisi, Tarkoy ve Mcfeat Smith'in tam cephe tünel açma makinesi ile ilgili bir yayınından alınan Şekil 2.8' de gösterilmiştir (Çomaklı, 2010).

2.5.4 Darbe dayanımı deneyi

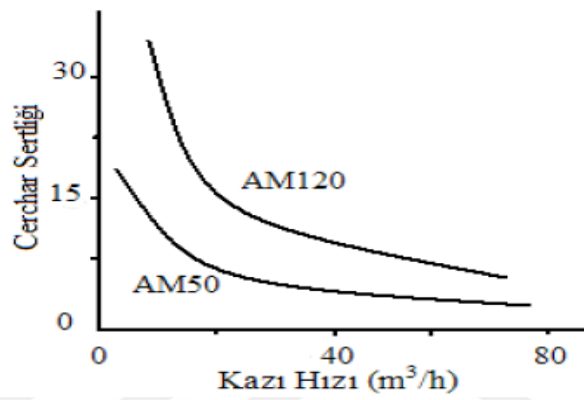
Rus araştırmacı Prodotyakanov tarafından ilk kez geliştirilen darbe dayanımı deneyi, daha sonraları İngiltere'deki kömür damarlarının sınıflandırılmasında Evans tarafından kullanılmıştır. Farklı ebatlarda deney cihazları kullanarak bazı araştırmacılar bu yöntemi kayaçların delinebilirliklerini belirlemek amacıyla kullanmışlardır. Kendi aralarında sınıflandırılmış olan kayaçlarda basınç dayanımı ve darbe dayanımı değeri arasında istatistiki olarak bir bağıntı ortaya çıkar (Bilgin, N. – Shahriar, 1989).



Şekil 2.8. Nokta yük dayanımı ile kazı hızının ve nokta yük dayanımı ile keski sarfiyatının değişimi (Mcfeat and.Torkoy, 1979)

2.5.5 Cerchar sertlik deneyi

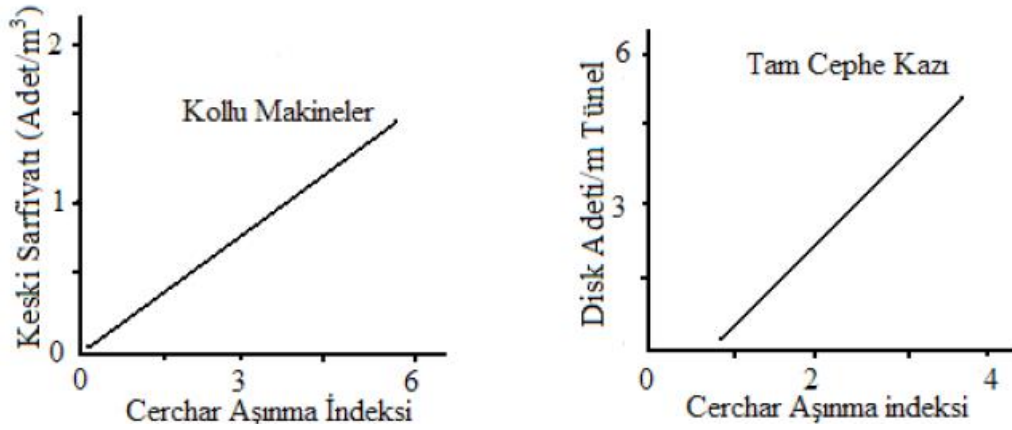
190 devir/dakika dönüş hızına ayarlanabilen sütünlü ağır tip bir matkap yardımıyla 20 kilogram baskı kuvveti altında 1 santimetre' lik deliğin delinebilmesi için gerekli süre cerchar sertlik deneyidir. Kollu galeri açma makineleri üreticilerinden Voest Alpine şirketi yetkilileri AM50 ve AM100 serisindeki makinelerinin, kayaların Cerchar sertliğine bağlı olarak kazı hızlarının önceden tahmin edilebileceğini öne sürmektedir. Şekil 2.9'da Voest Alpine kollu makinelerinde kazı hızının CAI ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Voest Alpine kollu makinelerinde CAI ile kazı hızının değişimi (Coder, 1973)

2.5.6 Cerchar aşındırıcılık deneyi

Kolay yapılabilen Cerchar aşındırıcılık deneyi çok geniş uygulama alanına sahip olmuştur. Formasyonların Cerchar aşındırıcılık indekslerinin, yerinde yaptıkları ölçümlerle keski sarfiyatının doğrudan ilgili olduğunu Fowell ve Nizamoğlu (Rostami ve Ozdemir, 1994) göstermiştir. CAI ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki ve Cerchar aşınma indeksi ile disk adeti arasındaki ilişki Şekil 2.10'de verilmiştir.



Şekil 2.10. Kollu galeri açma makineleri ve tünel açma makineleri için Cerchar aşınma indeksi ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki (Nizamoğlu, 1978)

2.6 Kaya Kesme Deneyleri

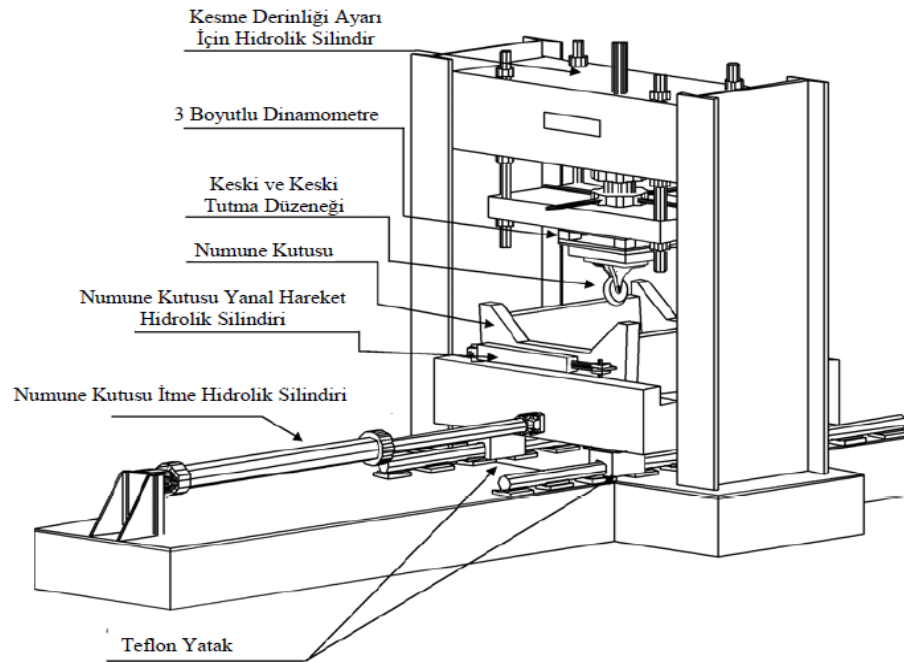
2.6.1 Tam boyutlu doğrusal kaya kesme deney seti (LCM)

Colorado School of Mines' da Levent Özdemir başkanlığında geliştirilen tam boyutlu kazı deney seti (LCM), gerçek keski kullılarak kaya kesme deneyleri yapılmasına olanak sağlar (Rostami vd., 1994). İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekanizasyonu ve Teknolojileri Laboratuvarında bulunan tam boyutlu doğrusal kazı deney seti Şekil 2.11'de verilmiştir.

Araziden alınan büyük boyutlu blok (1,0 x 0,8 x 0,5 m) numuneler üzerinde, gerçek keski (disk keski, kalem uçlu keski vb.) kullanılarak kaya kesme deneyleri yapılır. Gerçek keski kullanılması deney setinin güvenilirliğini arttırmakla birlikte mekanize kazıcıların (tünel açma makineleri, kollu galeri açma makineleri vb.) performansları tahmin edilebilmektedir (Çomaklı, 2015).



Şekil 2.11. Tam boyutlu doğrusal kazı deney seti (Çomaklı, 2015)



Şekil 2.13. Tam boyutlu kazı deney setinin şematik görünümü (Tumaç, 2010).

Araziden alınan büyük boyutlu blok numuneler Şekil 2.13'te şematik görünümü verilen tam boyutlu kazı deney setinde numune kutusu içine yerleştirilir ve etrafı betonlanarak sabitlenir. Hidrolik silindirler keski tutucu ve dolayısıyla keskinin hareket etmesini sağlar. Böylece dikey yönlü keski ile numune kutusu yana doğru hareket ettirilerek

keskiler arası mesafe (s) ile kesme derinliği (d) değerleri ayarlanabilmektedir. Kesme derinliği ve keskiler arası mesafe ayarlandıktan sonra keski sabit bir şekilde hidrolik silindir yardımıyla numune kutusu itilerek kaya kesme işlemi yapılır.

Kaya kesme işlemi sırasında keski üzerine etki eden kuvvetler vardır. Bunlar, normal kuvvet (F_N), yuvarlanma kuvveti (F_R) ve yanal kuvvettir (F_S). Bu değerlerin belirlenebilmesi için keskiye etki eden kuvvetler deney setinde bulunan veri toplama sistemi tarafından ham veri olarak toplanmaktadır.

Veri toplama sistemi, gerilim ölçerlere (gerilim pulu) akım besleyen ve köprülerdeki gerilimi dengeye getiren amplifikatör, sinyal koşullayıcı, analog / digital dönüştürücü kart olan bir bilgisayar ve gerilim ölçerlerden (gerilim pulu) oluşur. Veri alma sistemi 50 ton' a kadar keski kuvvetlerinin ölçümünü yapabilmektedir. Her bir saniyede 2000 veri alınabilmekte ve özel yapım bir dinamometre yardımı ile keski kuvvetleri ölçülebilmektedir. Veri toplama sistemi tarafından milivolt (mV) cinsinden ham veri olarak kaydedilen kuvvetler kilogram kuvvet (kgf) birimine, deney öncesi yapılan kalibrasyon katsayıları (kgf/ mV) kullanılarak çevrilmektedir (Çomaklı, 2015).

Normal kuvvet (F_N), yuvarlanma kuvveti (F_R) ve yanal kuvvet (F_S) belirlendikten sonra birim hacimdeki kayayı kesebilmek için gerekli olan spesifik enerji (SE) değeri eşitlik 2.11 kullanılarak hesaplanmaktadır (Özdemir, 1975; Bilgin vd., 2008).

$$SE = \frac{FR}{Q} \quad (2.11)$$

Burada;

SE : Spesifik enerji (MJ/m³)

FR : Ortalama Yuvarlanma kuvveti (kN)

Q : Birim kesme mesafesinde açığa çıkan pasa miktarı (m³/km)

Eşitlik 2.11 kullanılarak spesifik enerji değeri hesaplandıktan sonra Eşitlik 2.12 kullanılarak bir tünel açma makinesine ait net kazı hızı hesaplanabilmektedir (Rostami, ve Özdemir, 1993).

$$ICR=k \cdot \frac{P}{SE_{opt}} \quad (2.12)$$

Burada;

ICR : Kazı miktarı (m³/h)

k : Kesici kafaya ait gücün kayaca iletilme katsayısı (0,85 - 0,90)

P : Kesici kafa gücü (kW)

SE_{opt} : Optimum spesifik enerji (kWh/m³)

2.6.2 Küçük boyutlu kazı deney seti

Kayaçlara ait kazılabilirlik niteliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi de laboratuvar ortamında yapılan kaya kesme deneyleridir (ISRM, 1981). 1980'li yıllardan sonra ülkemizde ilk kullanımı İTÜ ve ODTÜ' de kazı mekaniği alanında yapılan çalışmalarla hız kazanmıştır (Bilgin ve Shahriar, 1987; Ceylan, 1987).

Küçük boyutlu kazı deney setinin kurulmasıyla birlikte İTÜ' de kazı mekaniği alanında ilk çalışmalar başlamıştır (Bilgin ve Shahriar, 1987). Şekil 2.13'te McFeat-Smith ve Fowell (1977,1979) tarafından geliştirilmiş küçük boyutlu kazı deneyi seti laboratuvar deneyi görülmektedir.

Tam boyutlu doğrusal kaya kesme deney setinden farklı olarak, küçük boyutlu kesme deney setlerinde numune bloklarının dışında karot kullanılabilir. 7.6 cm çapında karot veya 20 x 10 x 10 cm numune blokları kullanılmaktadır. Numune sabitlendikten sonra 5mm kesme derinliğinde kama uçlu keski, kesme açısı -5°, temizleme açısı 5° ve genişliği 12.7 mm' ye ayarlanarak kesilir (McFeat – Smith ve Fowell, 1977). Birim deformasyon ölçerle donatılmış dinamometre ile kesme sırasında oluşan kuvvetler bilgisayara kayıt edilir. Spesifik enerji, çıkan pasa miktarının kayıt edilen kesme kuvvetlerinin ortalamasına bölünmesiyle bulunur.



Şekil 2.13. Küçük boyutlu kazı deney seti (Çomaklı, 2015)

Daha önceden geliştirilmiş abak yardımıyla deney sonucunda bulunan indeks değer kollu galeri açma makinelerinin performans tahmininde kullanılır (Fowell ve McFeat - Smith 1976; McFeat - Smith, Fowell, 1977; McFeat - Smith ve Fowell (1979).

Kayaçların kazılabilirliğinin araştırılmasında yaygın olarak kullanılan bu test cihazıyla zincirli mermer kesme makinelerinin performanslarının artırılmasıyla ilgili kazı deneyleri yardımıyla çalışmalar yapılmıştır (Çopur vd., 2008, 2010). Küçük boyutlu kazı deney seti ile doğal taşlar üzerinde kesme deneyleri yapan araştırmacılar keskin kesici kol üzerinde yerleştirilmesiyle ilgili bir model önermişlerdir (Çomaklı, 2015).

2.6.3 Taşınabilir doğrusal kazı deney seti (PLCM)

İTÜ Maden Mühendisliği Bölümünde kurulan tam boyutlu ve küçük boyutlu kazı deney setleri kullanılarak sanayiye yönelik projeler ve bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında yapılan kazı deneyleri sonucunda bu deney setlerinin dezavantajları olduğu tespit edilmiştir.

Tam boyutlu doğrusal kaya kesme deney setinde büyük boyutlu blok numuneler kullanılması yetişkin insan gücü gerektirmesi ve ayrıca bu blokların araziden

laboratuara taşınması için ek araç gerekliliğinden bu deneyin her zaman yapılamamasına sebep olmaktadır. Küçük boyutlu kazı deney setinde ise sadece kama uçlu keskiyle deney yapılabildiğinden TBM projelerinde bu deney seti kullanılmaması dezavantajlara örnektir. Bu iki deney setinin sadece laboratuvar ortamında kullanılabilir olması da olumsuz yanlarından bir tanesidir. Bu dezavantajlar göz önünde bulundurulduğunda kullanımı daha kolay ve taşınabilir bir deney seti geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur (Çomaklı, 2015). 2004 yılında İTÜ Maden Mühendisliği bölümünde çalışmalara başlanmış (Bilgin vd., 2006) ve yapılan çalışmalar sonucunda genel hatları ile “taşınabilir (minyatür) doğrusal kazı seti” ortaya çıkmıştır (Bilgin vd., 2006, Feridunoğlu, 2009).

Çalışma prensibi uluslararası çapta kabul gören tam boyutlu kaya kesme deney setinin (LCM) gerçek keskiyle deney yapma imkânı sağlayan çalışma prensibi esas alınarak ve tasarımı LCM'ye göre yapılarak geliştirilen yeni taşınabilir doğrusal kaya kesme seti tasarlanmıştır. Yeni taşınabilir doğrusal kaya kesme setinde tıpkı LCM'de olduğu gibi numune yerleştirilen kesme kutusu hidrolik pistonlar yardımıyla hareket ettirilirken, kesici uç sabit tutularak doğrusal kaya kesme işlemi yapılır (Çomaklı, 2015).

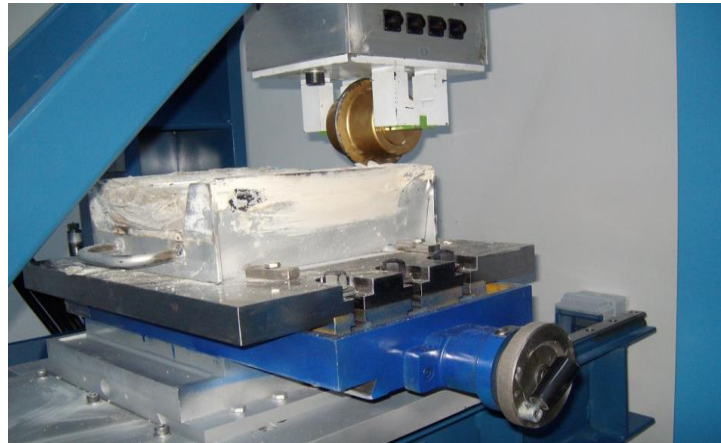


Şekil 2.14. Taşınabilir doğrusal kazı seti (Çomaklı, 2015)

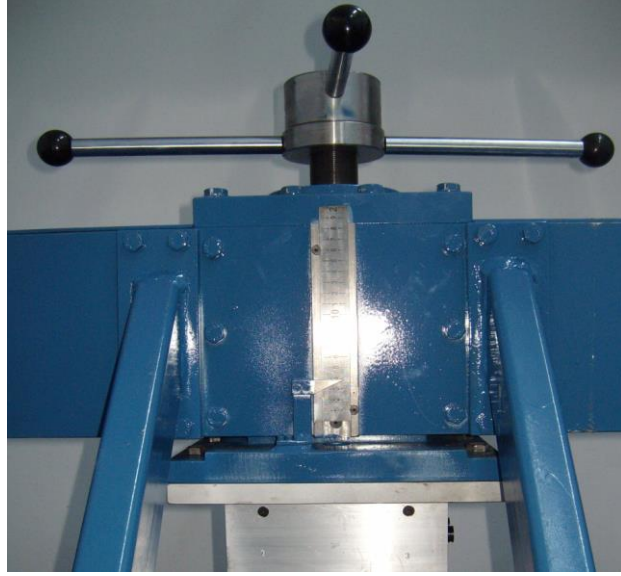


Şekil 2.15. Genel görüntüsü ile taşınabilir doğrusal kaya kesme seti (Çomaklı, 2015)

Taşınabilir doğrusal kaya kesme setinde numune boyutları daha küçüktür. Keserek yüzeyi düzeltilmiş 115 x 300 x 250 mm (Yükseklik, Genişlik, Uzunluk) boyutlarına kadar kayaç numunelerinin yerleştirildiği kesme kutusu bir mengene sistemi içerisine yerleştirilir. Hidrolik silindir yardımıyla tezgah üzerinde mengene sistemi hareket ettirilebilmektedir. Kaya kesme seti kesme derinliği ile keskiiler arası mesafenin ayarlanabilmesi için yatayda ve düşeyde hareket ettirilebilmektedir. Keskiiler arası mesafenin ayarlama aparatının görünümü Şekil 2.16' de ve kesme derinliğinin ayarlama aparatının görünümü Şekil 2.17' de verilmiştir.



Şekil 2.16. Keskiiler arası mesafenin ayarlanması için gerekli aparat (Çomaklı,2015)



Şekil 2.17. Kesme derinliğinin ayarlaması için aparat

2.7 Kollu Galeri Açma Makinesi Performans Tahmin Modelleri

Mekanize kazının ekonomik olması için önemli olan parametrelerden birisi de kazıcı makinenin kazı performansını tahmin etmektir. Çizelge 2.3' te kazı makinelerinin performansını etkileyen parametreler verilmiştir. Bu parametreler göz önünde bulundurularak bazı yöntemler geliştirilmiştir. Makinenin performansının doğruya en yakın değerini bulmak için aşağıda verilen modellerden ve performans tahmin yöntemlerinden en az birisinin kullanılması gerekir.

2.7.1 Rostami yöntemi

Rostami spesifik enerji kullanılarak aşağıdaki denklemlerin kollu galeri açma makineleri için kullanılabilceğini ifade etmiştir.

$$V_{ph} = \frac{HP.n}{SE} \quad (2.13)$$

$$W_{ph} = V_{ph} \cdot \gamma \quad (2.14)$$

Burada,

V_{ph} : Üretim miktarı (m^3 / h)

- HP : Kesici kafa gücü (kW veya HP)
SE : Spesifik enerji (kWh/m³)
W_{ph} : Üretim miktarı (ton/h)
 γ : Kazılacak malzemenin yoğunluğu (t/m³).
 η : Toplam sistem verimliliği (kollu kazıcılar için genelde 0.45 - 0.55 alınır) 0,45

2.7.2 Gehring yöntemi

Gehring (1989), sırasıyla arına paralel ve arına dik roadheaderlar için performans tahmin modelleri geliştirdi.

$$ICR = 1739 / UCS^{1.13} \quad (\text{Arına paralel}) \quad (2.15)$$

$$ICR = 719 / UCS^{0.78} \quad (\text{Arına dik}) \quad (2.16)$$

Burada;

ICR : Net kazı hızı (m³/h)

UCS : Tek eksenli basınç direnci (MPa)

2.7.3 Thuro yöntemi

Thuro ve Plinninger (1999) yaptığı çalışmada kazı hızının tahmini için aşağıdaki formülü önermiştir:

$$ICR = 75.7 - 14.3 \times \ln(UCS) \quad (2.17)$$

Burada;

ICR : Net kazı hızı (m³/h)

UCS : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

2.7.4 Balcı yöntemi

Bu yöntemde kayacın tek eksenli basınç dayanımından optimum spesifik enerji tahmin edilerek performans tahmini yapılır. Sonra ICR aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$ICR=k * \frac{P}{0.37* UCS^{0.86}} \quad (2.18)$$

ICR : Net kazı hızı (m³/h)

UCS : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

2.7.5 Tumaç yöntemi

İstanbul'daki pek çok tünel projesi için araştırmacılar net kazı hızı ve kayaçların tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi araştırdılar. Tumaç ve arkadaşları (2007), denklem 2.19' da kayaçların tek eksenli basınç dayanımını kullanarak shore sertliğine dayalı yeni bir tahmin modeli önerdiler.

$$ICR= 109.25X UCS^{-0.72} \quad (2.19)$$

$$ICR=81.21*SH^{-0.78} \quad (2.20)$$

ICR : Net kazı hızı (m³/h)

UCS : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

SH : Kayaçların shore sertliği

2.7.6 Bilgin yöntemi

Bu modelde RMCI, RQD'yi kullanılıp hesaplanarak ICR hesaplamaları yapılmıştır. Aşağıda kullanılan formül verilmektedir.

$$RMCI=UCS* \left(\frac{RQD}{100} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.21)$$

$$ICR=0.28*P*(0.974)^{RMCI} \quad (2.22)$$

2.8 Kollu Galeri Açma Makinesi Kesici Uç Tüketim Tahmin Modelleri

Mekanize kazının yayılmasını önleyen önemli sorunlardan bir tanesi de keski giderlerinin maliyeti arttırmasıdır. Bu yüzden galeri açma makinelerinin kullanılabilmesi için etkili parametrelerden birisi kesici uç tüketimidir. Uç tüketimi için bazı tahmin modelleri vardır. Bu modeller Cerchar aşınma indeksine dayanarak oluşturulmuştur.

2.8.1 Johnson ve Fowell modeli

Johnson ve Fowell, (1986) Cerchar aşındırıcılık indeksine dayanarak kesici uç tüketimi modeli etmiştir. Bu model eşitlik 2.23' te verilmiştir.

$$CC= 0.125CAI- 0.07 \quad (2.23)$$

CC : Kesici uç tüketimi (keski/m³)

CAI : Cerchar aşınma indeksi

2.8.2 Özdemir modeli

Kayaçların Cerchar aşındırıcılık indeksine dayanarak hazırlanan diğer bir kesici uç tüketimi modeli ise Özdemir (1998) tarafından geliştirilmiştir. Bu model eşitlik 2.24' te verilmiştir.

$$CCI= K_1K_2.(CAI/ 4) \quad (2.24)$$

CCI : Kesici uç tüketim indeksi (keski/m³)

CAI : Cerchar aşınma indeksi

K₁ : Kesici uç katsayısı (kesici uç dönme hızına bağlı olarak 1- 1.2 arasında değişen katsayı)

K₂ : Su kullanım katsayısı (0,85 ile 1 arasında değişir)

2.8.3 Çopur ve diğ. modeli

Çopur ve arkadaşları (1998,1997) ise bir kesici uç tüketim indeksi tanımlamış ve roadheader uç tüketim oranı arasında bir ilişki bulmuşlardır. Eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$BCR= 897.06(CCI)^2+ 6.1769(CCI) \quad (2.25)$$

$$CCI= UCS/ (P.W.CHD) \quad (2.26)$$

BCR : Uç tüketim oranı (keski/m³)

CCI : Kesici uç tüketim indeksi (MPa/(kW × tons × m)),

UCS : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

CHD : Kesici kafa gücü (kW)

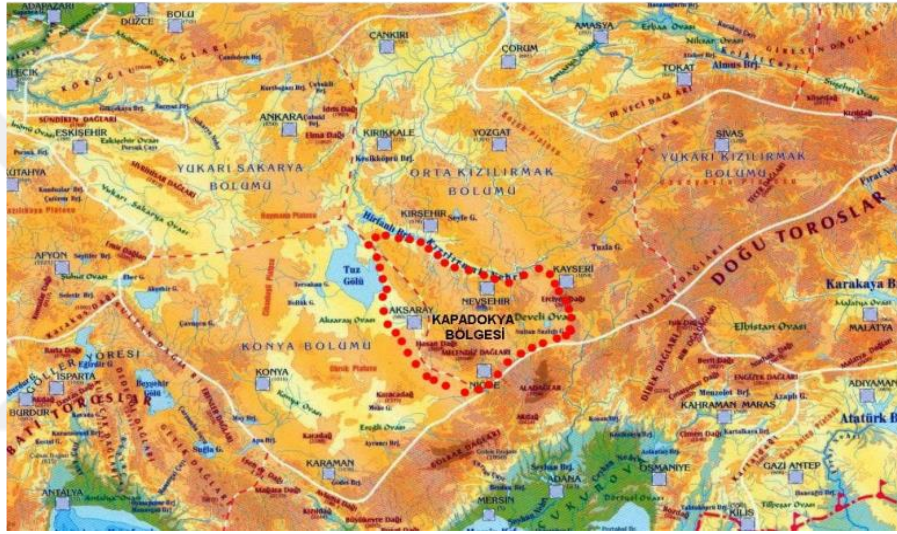
W : Kesici kafa çapı (m)

BÖLÜM III

MATERYAL VE METOD

3.1 Sahanın Jeolojisi

Kapadokya, Türkiye'nin İç Anadolu bölgesinde bulunan geniş bir alanı kaplar ve Türkiye'nin en önemli turistik merkezlerinden biridir. Kapadokya Bölgesi'nin haritada genel görünümü Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kapadokya Bölgesinin haritadaki genel görünümü (Ayhan, 2004)

Kapadokya Bölgesi Kapadokya Volkanik Alanı (KVA) içerisinde yer almaktadır. Kapadokya Volkanik Alanı KD-GB yönünde yaklaşık 250-300 kilometre uzanır. Kapadokya Volkanik Alanı Neojen – Kuvaterner volkanik kuşaklardandır (Ayhan, 2004).

Avrasya levhası ve Afro-Arap levhasının oluşturduğu sıkıştırma yaklaşık 100 milyon yıl önce Kapadokya Volkanik Alanı'nda Torosları oluşturmuştur. İç Anadolu'da volkanik dağ oluşmasının sebebi, bu dağların oluşum süresinde yer kabuğunda oluşan çatlaklardır. İç Anadolu'da bulunan volkanik dağlardan olan Develi, Melendiz, Erciyes, Hasan, Göllü ve Keçiboyduran Dağları'nın Pleistosen çağ süresince volkanik aktivitesi devam etmiştir. Bu süreç boyunca volkanik aktivitelerle püskürtülen bazalt, erimiş lav

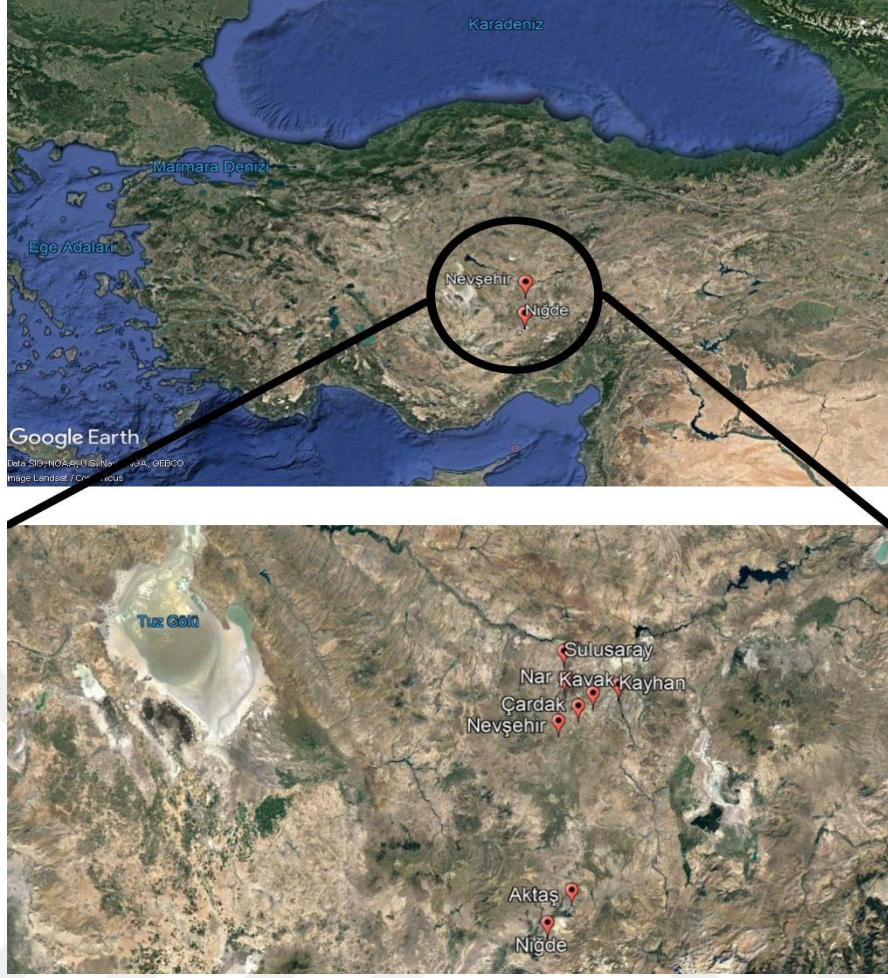
farklı boyuttaki malzemelerin akıntılarının oluşturmuş olduğu süngerimsi ve tüfsü tabaka bölgede 10000 km² alana yayılmıştır. Holosen Çağ' ın ılıman iklim koşulları sebebiyle volkanik hareketlilik sonucunda oluşan tabakaların değişimi erozyona uğrayarak devam etmiştir (Ayhan, 2004). KVA' de yer alan Ürgüp volkanik formasyonu Kavak, Zelve, Sarımaden, Cemilköy, Tahar, Gördeles, Sofular, Kızılkaya, Valibaba ve Kumtepe 10 adet ignimbitik birim içermektedir (Le Pennec vd., 1994). Nevşehir KOY, Ürgüp volkanik oluşumunun Zelve ignimbitik biriminde, Zelve ignimbit ise tek bir piroklastik akış biriminden yapılmıştır.

Aktaş - Niğde'deki ilk KOY, Niğde Grubu'nun metamorfiklerinin üzerinde yer alan daha genç ignimbitlerde kazılmıştır. Proje alanında ignimbitlere Kızılkaya ignimbitleri adı verildi (Korkanç ve ark., 2015). Kızılkaya ignimbiti, Kapadokya Volkanik Alanı'ndaki (KVA) en yaygın tuf birimidir; kalınlığı 13 ila 15 metre arasında değişmektedir (Mues-Schumacher ve Schumacher, 1996).

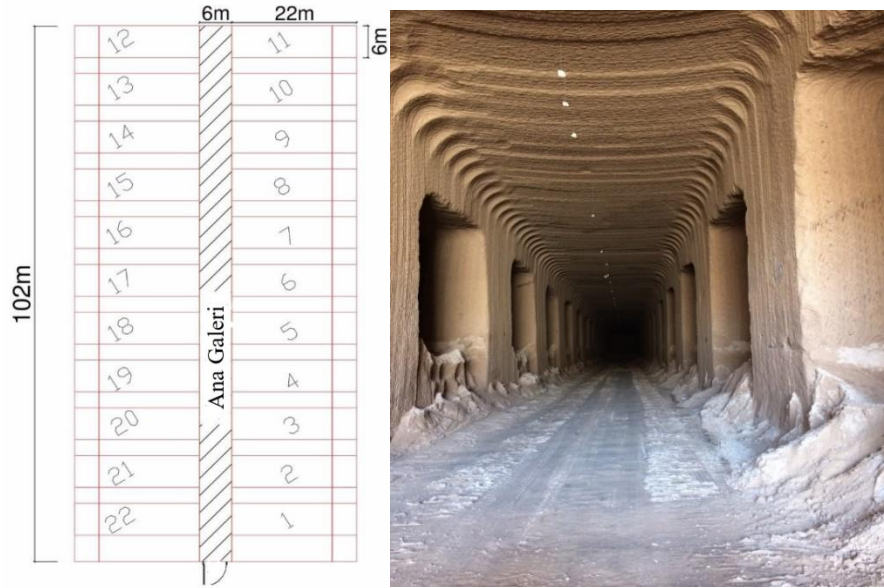
3.2 Kayadan Oyma Yapı Çalışma Sahaları

Bu çalışma kapsamında Kapadokya Bölgesinde bulunan Nevşehir ve Niğde'de yer alan kayadan oyma yapılarında kullanılan kollu galeri açma makinesinin performansı analiz edilmiştir. Nevşehir'de Kayhan, Kavak, Nar, Sulusaray ve Çardak bölgelerinde, Niğde'de ise Aktaş kasabasında çalışmalar yapılmıştır. Şekil 3.2'de proje alanlarının genel görünümü verilmiştir.

Şekil 3.3' te Soğuk hava depolarının KOY'larda genel plan görünümü verilmiştir. Soğuk hava depoları genel olarak bu plandaki gibi yapılmaktadır. Planda da görüldüğü gibi bir ana galeri, sağ ve solda olmak üzere depolar bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Proje alanlarının Kapadokya bölgesindeki yeri



Şekil 3.3. KOY soğuk hava deposu genel plan görünümü

3.2.1 Niğde bölgesi KOY çalışma sahaları

Niğde bölgesinde incelenen KOY' lar il merkezine 15 km uzaklıkta bulunan Aktaş kasabasında yer almaktadırlar. Her iki KOY da soğuk hava deposu olarak yapılmıştır. Soğuk hava depolarının her biri tek bir ana galeriden oluşmaktadır. Ana galerinin boyutları ise 102 metre uzunluğunda, 6 metre yüksekliğinde ve 6 metre genişliğindedir. İki KOY için, ana galerinin her iki tarafında, her biri 6 metre genişliğinde, 6 metre yüksekliğinde ve 20 metre uzunluğunda, sırasıyla 22 ve 25 farklı depo odası bulunmaktadır. Şekil 3.4'te Aktaş KOY soğuk hava depolarından genel görünüm verilmiştir.



Şekil 3.4. Aktaş soğuk hava deposu görünümü

3.2.2 Nevşehir bölgesi KOY çalışma sahaları

Nevşehir bölgesinde Kayhan, Kavak, Nar, Sulusaray ve Çardak olmak üzere 5 farklı sahada toplam 6 adet soğuk hava deposunda çalışmalar yapılmıştır. Sahaların şehir merkezine uzaklıkları yaklaşık olarak Kayhan 30 km, Kavak 21km, Çardak 25km, Nar ve Sulusaray 8 km'dir. Şekil 3.5' te Nevşehir KOY' da soğuk hava deposu genel görünümü verilmiştir.

Nevşehir bölgesindeki soğuk hava depoları da Niğde'deki depolar gibi bir ana galeriden oluşmaktadır ve her birinin ortalama 30 farklı depo odası vardır. Ana galerilerin

uzunlukları 104 ile 146 metre arasında değişmekte olup, yüksekliği 6.5 metre ve genişliği de 6.5 metredir.



Şekil 3.5. Nevşehir bۆlgesi soğuk hava deposu genel gۆrۆnۆmۆ

Her depolama odası 6 m yۆkseklięe, 6 m genişliğe ve ortalama 25 m uzunluğa sahiptir. Şekil 3.6'da KOY alıőma sahalarından genel gۆrۆnۆm verilmiştir.



Şekil 3.6. Nevşehir bۆlgesi KOY alıőma sahası

3.3 Laboratuvar Deneyleri

3.3.1 Örnek hazırlama

Deneyler yapılırken ilk ve en önemli aşama örnek hazırlamadır. Deneylerden doğru sonuçlar edilebilmesi için yapacağımız deneylere uygun boyutlarda ve özelliklerde numuneler hazırlanmalıdır.

Laboratuvarda numunelerin deneyler için uygun bir şekilde hazırlanması işlemlerinin tümü örnek hazırlama işlemi olarak tanımlanabilir. Silindirik karot örnekleri almak, bu örneklerin yapılacak deneye göre yüzeylerinin düzeltilmesi, parlatılması gibi işlemler için kullanılan delici, kesici ve düzleyici araçlar kullanılarak yapılan işlemler örnek hazırlama aşamalarındandır. Bu çalışmada örnek hazırlama aşamasında karot alma ve karot kesme makineleri kullanılmıştır.

Karot alma makinesi; sahadan alınan blok numunelerden örnek hazırlamak amacıyla kullanılır. Değişik çap ve boylara sahip karot alma makineleri vardır. Yerde veya doğrudan makineye kelepçeler arasına sıkıştırılmış kayaç bloklarından silindir şeklinde karot örnekleri hazırlamakta kullanılır.

Karot kesme ve düzleme makinesi; karot alma makinesinden alınan silindirik karot örneklerinin yapılacak deneye uygun çap ve boyutlarda kesilmesini ve düzeltilmesini sağlar. Silindirik karot örnekleri istenilen çap ve boylarda kesildikten sonra her iki yüzeyine de düzeltme işlemi uygulanır (Çomaklı, 2010).

3.3.2 Birim hacim ağırlık (yoğunluk)

Bu deneyde numunelerin çap ve boylarını bulmak için kumpas ve ağırlıklarını bulmak için hassas terazi kullanılmıştır. Blok numunelerden alınan karot örneklerinin yoğunluklarını bulmak amacıyla kumpas ile boy ve çapları hesaplanmıştır. Boy ve çapları hesaplanan karot örneklerinin hacimleri hesaplanır (V). Hacimleri hesaplanan örneklerin ağırlıkları ise hassas terazide tartılarak belirlenir (W). Ağırlıkları(W) ve hacimleri(V) belirlenen örneklerin yoğunlukları(ρ) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (Çomaklı, 2010).

$$\text{Yoğunluk(g/cm}^3\text{)}; \rho = \frac{W}{V} \quad (3.1)$$

3.3.3 Porozite ve boşluk oranı

Kayaç boşluk oranının ve gözenekliliğinin (porozitesinin) bulunması amacıyla düzenli geometriye sahip kayalarda bu deney yapılmaktadır. Ölçüm kumpas aleti (0.1 mm hassasiyetle), desikatör, cam beher, beheri dolduracak kadar saf su, hassas terazi (0.1 gr hassasiyetle) ve fırın (105 ± 5 °C kapasiteli) bu deneyde kullanılmaktadır.

Ölçüm kumpası ile birbirine dik iki ayrı yönde kayaç örneğinin çapı ve boyu ölçülerek ortalaması alınır. Fırın 105 °C' ye ayarlanır ve kayaç örnekleri içerisinde en az 12 saat kurutulur. Kuruma işlemi bittikten sonra kayaç örnekleri bünyelerine nem almaması için desikatörde (nemsiz ortamda) 30 dakika bekletilir. Daha sonra hassas terazide tartılarak örneklerin kuru ağırlığı bulunur.

Tartım işlemi bittikten sonra örnek su dolu beherin içerisinde 48 saat (veya vakum altında en az 1 saat) süreyle suya doymun hale gelmesi için bekletilir. Süre dolduktan sonra örnek yüzeyi kağıt havlu ile kurularak hassas terazide tartılır. Burada doymun ağırlığı belirlenir.

Kayadaki boşluk hacminin, kayanın toplam hacmine oranına kayacın porozitesi denir. Boyutsuz bir büyüklük olan porozite 'n' ile ifade edilirse Eşitlik 3.2' ten bulunur (Çomaklı, 2010).

$$\text{Boşluk hacmi(cm}^3\text{)}; V_v = (W_s - W_d) / \rho_w \quad (3.2)$$

$$\text{Gözeneklilik (porozite) (\%)}; n = (V_v / V) \times 100 \quad (3.3)$$

$$\text{Boşluk oranı}; e = n / (n - 100) \quad (3.4)$$

Burada;

ρ_w : Suyun Yoğunluğu

W_s : Doygun Ağırlık

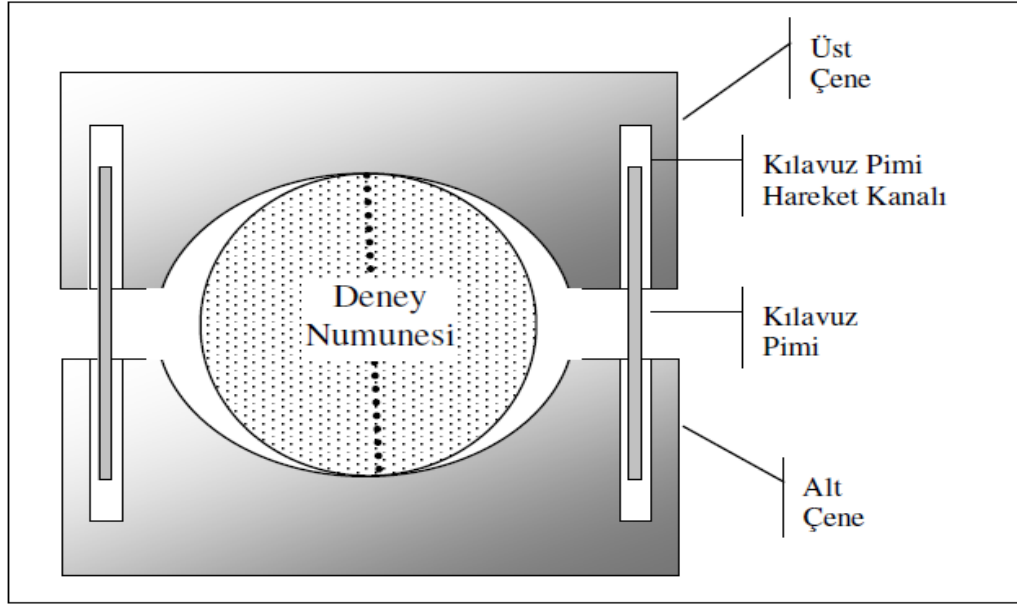
W_d : Kuru Ağırlık

3.3.4 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyi

Bu deney, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarının dolaylı yoldan bulunması amacıyla yapılır. Deneyde metalden yapılmış yükleme çeneleri ve kılavuz saplamalardan oluşan düzenek kullanılır. Şekil 3.7' de yükleme çenelerinin şematik görünümü verilmiştir (ISRM, 2007).

Yükleme çenelerinin yarıçapı örnek yarıçapının 1.5 katı ve ölçüm kumpası 0.1 mm hassasiyetinde olmalıdır. Kalınlık/çap oranı 1' e yakın olmalıdır, deneyde 0.5-1.0 arasında olacak şekilde karotlardan sağlam ve çatlaksız olması koşuluyla disk şeklinde örnekler hazırlanır. Kumpas yardımıyla örneklerin kalınlığı ve çapı, dik ve iki farklı yönde ölçülerek bulunan değerlerin ortalaması alınır.

Yükleme başlığının altında bulunan çenelerin arasına yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında olacak biçimde örnek yerleştirilir. Sürekli ve sabit bir hızla örnek, yenilme süresi 15-30 dakika arasında gerçekleştirilecek şekilde yüklenir. Presin göstergesinden örneğin yenildiği andaki yük (P) okunur ve aşağıdaki eşitlikten çekme dayanımı hesaplanır (ISRM, 2007).



Şekil 3.7. Brazilian deneyinde kullanılan yükleme çenelerinin şematik görünümü (ISRM, 2007)

$$\sigma_{\text{ç}} = \frac{0.636 \cdot P}{D \times t} \times 10^{-3} \quad (3.5)$$

Burada;

P: Numunenin yenildiği anki yük değeri.

t: Numunenin kalınlığı

D: Numunenin çapı.

$\sigma_{\text{ç}}$: Numunenin çekme dayanımı.

3.3.5 Cerchar aşınma indeksi

Tünel açma makinelerinin üretimi ve verimliliği için Fransız kömür enstitüsünde kaya aşındırıcılığının değerlendirilmesinde bu test çok fazla kullanılmaktadır. Numuneler keskinle 10 mm çizilir. Bu keskinlerin uçları 90° konik ve 2000 N/ mm² çekme dayanımında olmalıdır. Aşınma indeksi, keskinlerin ucunda oluşan aşınma yüzeyinin uzunluğu olarak tanımlanır. Aşınma yüzeyi aşınma miktarı çok az olduğu için mikroskopta incelenir. Cerchar aşınma indeksi, her 0.1 mm' lik aşınma uzunluğu olarak

kabul edilir. Bu aşınma indeksinin birimi yoktur. Atkinson'un yapmış olduğu Cerchar aşınma indeksine göre sınıflandırma Çizelge 3.1' de verilmiştir (ISRM, 2007).

Çizelge 3.1. Cerchar aşınma indeksi değerine göre kayaların sınıflandırılması (Brown,1981)

Sınıflama	Cerchar indeksi	Kayaç çeşidi
Çok fazla aşındırıcı	4.5	Hornblend, gnays, granit
Çok aşındırıcı	4.25 - 4.5	Anfibolit, granit
Aşındırıcı	4.0 - 4.25	Granit, gnays, şist, kumtaşı
Biraz aşındırıcı	3.5 - 4.0	Kumtaşı, silttaşı
Orta aşındırıcı	2.5 - 3.5	Gnays, dolorit
Az aşındırıcı	1.25 - 2.5	Portland kumtaşı
Çok az aşındırıcı	1.2	Kireçtaşı

3.3.6 Laboratuvarda Schmidt çekici deneyi

Schmidt geri sıçrama sertliğini bulmak amacıyla yapılan bu deneyde schmidt çekici kullanılır. Schmidt çekici; yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinin içinde bulunduğu silindirik kaplı bir kutudan oluşur. Çelik uç yay ile kurulur ve kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır. Schmidt indeksi, kayaç yüzeyi üzerinde zıplayan çelik ucun zıplama mesafesi çekiç üzerindeki kadrandan okunarak bulunur. Schmidt çekicinin kalibrasyonu örs yardımıyla yapılır ve deneye başlanır. Deney yapılacak yüzeylerin çatlak içermemesi ve düzgün olmasına dikkat edilir.

Schmidt Çekici deneyinde farklı uygulamalar vardır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir;

1. Bir alanda 25 mm' den yakın olmamak koşuluyla 15 ayrı vuruş yapılır ve en yüksek 10 değerlerin ortalaması alınır.
2. Bir nokta üzerinde üst üste yapılan 5 vuruşun en yüksek değeri alınır.
3. Bir noktada 10 vuruş yapılır ve en yükseği alınır.
4. 9 ile 25 arasında yapılan vuruşların ortalaması alınır.
5. Birbirine yakın 5 noktada 1'er vuruş yapılır ve en yüksek 3 değerlerin ortalaması alınır.

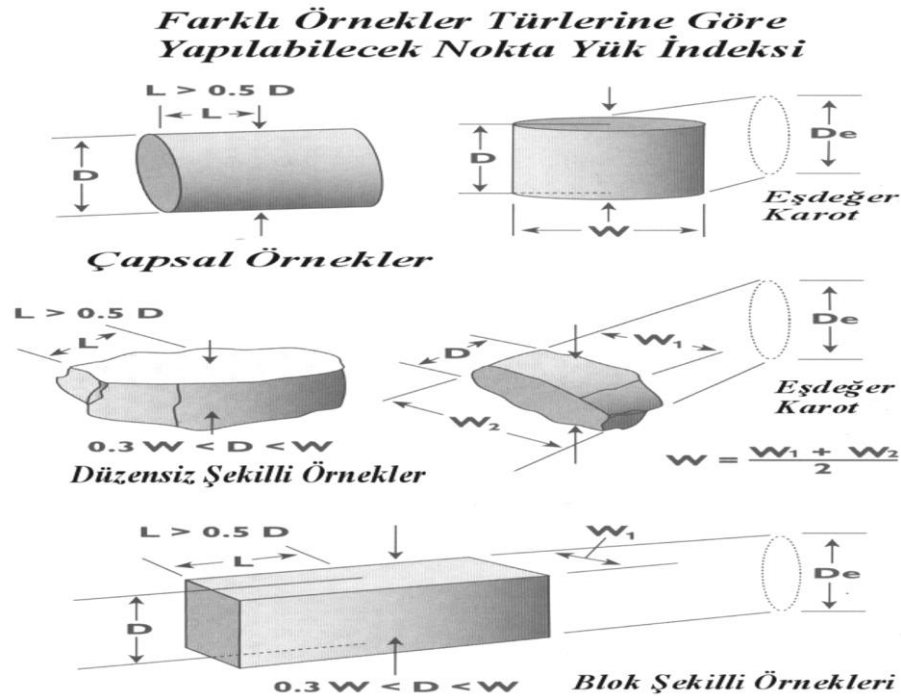
6. Bir noktada 35 vuruş yapılır ve en düşük 10 değer atıldıktan sonra 25 değerın ortalaması alınır (ISRM, 2007).

3.3.7 Nokta yükü dayanımı indeksi deneyi

Tek eksenli çekme ve basınç dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılan nokta yük dayanım indeksi kayaç malzemesinin dayanım parametresidir.

Genellikle 50 mm çapındaki karot numuneleri için standartlaştırılan nokta yük indeksleri I_{s50} ile ifade edilir. Nokta yükü dayanımı deneyi sadece eksenine ve çapına göre değil düzensiz şekiller ve prizma şeklindeki numunelerde de kolayca uygulanır.

Deney sonucu ile nokta yükü dayanımını hesapladığımız gibi dayanım anizotropi indeksi de hesaplanabilir (ISRM, 2007). Farklı örnekler üzerinde yapılabilecek nokta yükü indeksi Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Nokta yük dayanımı için kullanılabilecek örnek çeşitleri (ISRM)

Çapsal deneyde örneğin $L/D > 1$ olmalıdır. Örneğin çapı ve uzunluğu kompas ile ölçülür. Karotun eksenine dik konik uçların arasına yerleştirilir. Silindirik yükleme tablası yükseltılarak konik uçlar ve örnek arasında açıklık kalması engellenir. Yükleme örnek 10-60 saniye arasında yenilenecek şekilde ayarlanır. Yenilme anında ki yük (P) yük göstergesinden not edilir.

Eksenel deneyde ise çapı ve boyu kompasla ölçülen örnek yükleme yönüne paralel olacak şekilde konik uçlar arasına yerleştirilir. Çapsal deneyde uygulanan aşamaların aynısı eksenel deneyde de yapılır. Düzensiz ve blok şeklindeki örneklerde ise yükleme süreksizlik düzlemlerine dik olarak yapılır (ISRM, 2007).

3.3.8 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Bu deney, kayaçların silindir şeklinde kesilmiş, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel olacak şekilde yan yüzeyleri düz ve pürüzsüz olmak kaydıyla kırık ve çatlak içermeyen örneklerinin tek eksenli basınç dayanımının bulunması amacıyla yapılır. Boy/çap oranı 2.5-3.0 arasında olacak şekilde karot örnekleri hazırlanmıştır (ISRM, 2007).

Deney yapılırken hidrolik pres kullanılır. Yenilmenin 5-10 dakika arasında gerçekleşebilmesi için hidrolik presin sabit hızda örneğe sürekli olarak eksenel yükleme yapabilecek yeterli kapasite olması gerekmektedir. Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (ISRM, 2007).

$$\sigma_c = F / A \quad (3.13)$$

Burada;

F : Kırılma yükü, N.

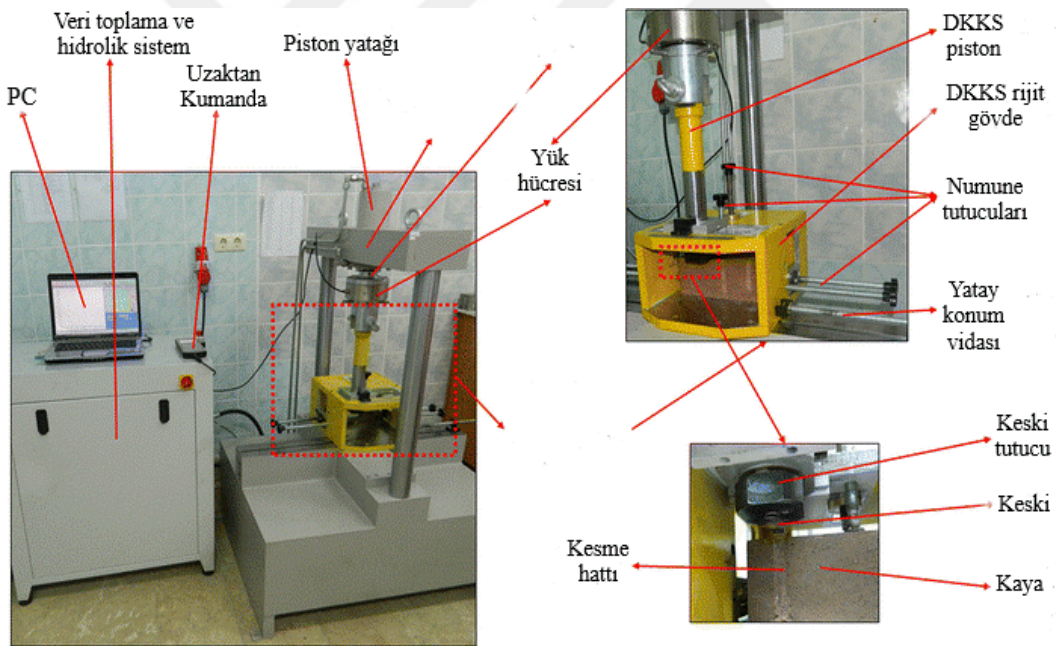
σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, MPa.

A : Silindirik örneğin kesit alanı, mm^2 .

3.3.9 Kaya kesme deneyleri

Bu çalışmada kaya kesme deneyleri düşey kayaç kesme seti ile yapılmıştır. Düşey kayaç kesme seti 2018 yılında KTÜ Maden Mühendisliği Bölümünde geliştirilmiştir. Düşey kayaç kesme seti monte veya demonte olarak kullanılabilir. Taşınabilir şekilde geliştirilen düşey kayaç kesme deney seti hidrolik eğilme test makinelerine eklenti olarak geliştirilmiştir.

Kaya kesme deneylerinin radyal kesimler (Yaşar ve Yılmaz, 2017b) negatif açılı basit kama tipi keski (Yaşar ve Yılmaz, 2017a), basit kama tipi keski (Yaşar ve Yılmaz, 2017a & 2017c), negatif açılı basit kama tipi keski (Yaşar ve Yılmaz, 2017a) ve konik uçlu kesimler (Yaşar ve Yılmaz, 2017b) gibi çeşitli kesimler kullanılarak başarılı bir şekilde yapılabileceği görülmüştür. DKKS' nin bölümleri Şekil 3.11' de verilmiştir.



Şekil 3.9. Hidrolik eğilme test makinesinin genel bileşenleri ve DKKS (Yaşar ve Yılmaz, 2017a)

Düşey kayaç kesme seti ile kaya kesme deneyleri yapılırken bütün işlemler bilgisayar kontrolündedir. DKKS pistonu eğilme gövdesinin pistonuna bağlıdır. Eğilme gövdesinin pistonu bilgisayarla kontrol edilir ve eğilme gövdesi pistonuna bağlı olan DKKS pistonu da aşağı yukarı yönde hareket edebilir.





DKKS pistonunun altında keski tutucu bulunmaktadır. Bu keski tutucu ve keski yardımıyla her türlü blok veya karot numunesinde kesme deneyi uygulanabilir. Eğilme gövdesinde bulunan yük hücresi tarafından keskinin kesme yüzeyinde hareket yönündeki kesme kuvveti (FC) ölçülmektedir. Bilgisayara bağlı olan sistemde kesme kuvvetinin zamanla değişimini gösteren grafik elde edilebilir. Elde edilen verilerden ortalama kesme kuvveti (FC) ve maksimum kesme kuvveti (FC') bulunabilir.

3.3.10 Mineralojik ve petrografik analiz



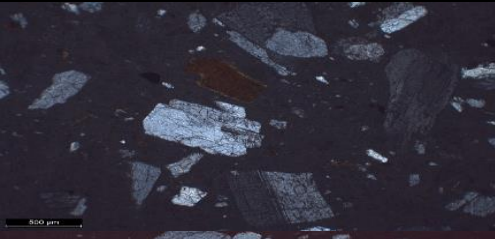

Formasyonları genel itibariyle gözle görülebilen özellikleri ve fiziksel mekanik testler yardımıyla tanımlayabiliyoruz. Bu özelliklerin yanında ele alacağımız formasyonda hangi deneyleri uygulayacağımız belirlendiğinde bu testler yeterli olması için daha detaylı bazı incelemeler sonucunda elde edilebilecek özellikleri de bilmemiz gerekir. Bu noktada petrografik analiz kayacın gözle görülemeyen özelliklerini belirlememize yardımcı olur.

Kazı makinelerinin performansını etkileyen parametrelerden bahsederken fiziksel ve mekanik özelliklerden olan aşındırıcılığın önemi vurgulanmıştır. Bu durumda petrografik analiz ile formasyon içerisinde bulunan ince boyutlu gözle görülmeyen aşındırıcı özellikteki mineraller tespit edilir. Bunun yanında kazı performansını etkileyen parametrelerden olan çimentolanma derecesi, mineral tane boyutlarının belirlenmesi ve mineral bileşimi ve bu minerallerin yüzdeleri oranları da bu deney yöntemi ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada 8 sahadan alınan örneklerin mineralojik petrografik analizi Çizelge 3.2' de verilmiştir. Aktaş'ta 2 adet, Sulusaray'da 2 adet, Nar, Kavak, Kayhan ve Çardak'ta birer örnek incelenmiştir.

Çizelge 3.2. Proje sahalarından alınan örneklerin mineralojik petrografik analizi

Örnek No	KAYA Türü/Adı	Mikrofotograf (ince kesit)	Mineralojik Bileşimi	Doku	Bozunmalar
AK1	Magmatik Piroklastik İGNİMBİRİT		Matriks+kıymık(47%) Volkanik klast (8%) Kaya parçası (15%) Kuars (13%) Plajiyoklaz (12%) Biyotit (3%) Opak min. (2%)	Genel	Killeşme Silisleşme
				Fluidal doku	
				Özel	
				Eutaxitic doku Volkanik klast yapıları Körföz doku Laminar doku	
AK2	Magmatik Piroklastik İGNİMBİRİT		Matriks+kıymık(33%) Volkanik klast (13%) Kaya parçası (15%) Kuars (17%) Plajiyoklaz (14%) Biyotit (5%) Opak min. (3%)	Genel	Killeşme Silisleşme
				Fluidal doku	
				Özel	
				Volkanik klast yapıları Körföz doku Boşluklu doku Laminar doku	
CR1	Magmatik Piroklastik İGNİMBİRİT		Matriks+kıymık(47%) Volkanik klast (8%) Kaya parçası (15%) Kuars (13%) Plajiyoklaz (12%) Biyotit (3%) Opak min. (2%)	Genel	Killeşme
				Fluidal doku	
				Özel	
				Fiamme yapıları Volkanik klast yapıları Boşluklu doku Laminar doku	
KV1	Magmatik Piroklastik İGNİMBİRİT		Matriks+kıymık(40%) Volkanik klast (16%) Kaya parçası (15%) Kuars (13%) Plajiyoklaz (12%) Biyotit (3%) Opak min. (1%)	Genel	Killeşme
				Fluidal doku	
				Özel	
				Fiamme yapıları Volkanik klast yapıları Körföz doku Laminar doku	

Çizelge 3.2. (Devam) Proje sahalarından alınan örneklerin mineralojik petrografik analizi

Örnek No	KAYA Türü/Adı	Mikrofotograf (ince kesit)	Mineralojik Bileşimi	Doku	Bozunmalar
KY1	Magmatik Piroklastik İGNİMBİRİT		Matriks+kıymık(26%) Volkanik klast (14%) Plajiyoklaz (19%) Kuars (15%) Kaya parçası (14%) Biyotit (9%) Amfibol (2%) Opak min. (1%)	Genel	Killeşme Kloritleşme
				Fluidal doku	
				Özel	
				Fiamme yapıları Volkanik klast yapıları Laminar doku	
SS1	Magmatik Piroklastik İGNİMBİRİT		Matriks+kıymık(28%) Volkanik klast (14%) Plajiyoklaz (15%) Kuars (15%) Kaya parçası (21%) Biyotit (7%) Amfibol (2%) Opak min. (1%)	Genel	Killeşme Kloritleşme
				Fluidal doku	
				Özel	
				Fiamme yapıları Volkanik klast yapıları Laminar doku Boşluklu doku	
SS2	Magmatik Piroklastik İGNİMBİRİT		Matriks+kıymık(30%) Volkanik klast (14%) Plajiyoklaz (14%) Kuars (13%) Kaya parçası (21%) Biyotit (5%) Amfibol (2%) Opak min. (1%)	Genel	Killeşme Kloritleşme
				Fluidal doku	
				Özel	
				Fiamme yapıları Volkanik klast yapıları Laminar doku	
NAR1	Magmatik Piroklastik İGNİMBİRİT		Matriks+kıymık(54%) Volkanik klast (10%) Plajiyoklaz (10%) Kuars (12%) Kaya parçası (14%) Biyotit (3%) Opak min. (1%)	Genel	Killeşme
				Fluidal doku	
				Özel	
				Fiamme yapıları Volkanik klast yapıları	

BÖLÜM IV

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1 KGAM ile Arazide Yapılan Çalışmalara Ait Veriler

Arazi çalışmaları kapsamında 8 farklı KOY kazısı için 75 ton ağırlığında ve aynı teknik özelliklere sahip iki farklı aksenel tip KGAM'ın arazi performans değerleri analiz edilmiştir. Kullanılan KGAM Şekil 4.1' de görülmekte olup ilgili makineye ait teknik özellikler Çizelge 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1. KOY kazılarında kullanılan KGAM' lardan birisine ait görüntü

Çizelge 4.1. KGAM'lara ait teknik özellikler

Özellikler	
Model	PAURATE 196
Ağırlık (t)	75
Kesici kafa tipi	Eksenel
Kazı gücü (kW)	200
Kesici kafa çapı (cm)	130
Keski tipi	Konik
Keski sayısı	64

Bu bölümde 8 ayrı proje sahasında yapılan arazi çalışmalarına ait veriler hakkında bilgiler verilmiştir. Her sahada toplam çalışma süresi 14 saattir olup, makine arıza ve bakımı, öğle yemeği ve çay molaları ve kazı işlemlerinin toplamıdır. Proje sahalarının çalışma sürelerinin ortalama olarak dağılımları Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Her bir proje sahasına ait yapılan çalışmalara ait detaylı veriler Ek A’ da verilmiştir. Çizelge 4.3’te görüldüğü gibi proje sahalarının çalışma tarihleri ve bu çalışmalara ait keski tüketimi, anlık keski tüketimi, makine kullanımı ve net kazı bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Proje sahalarına ait çalışma sürelerinin dağılımı

Proje Sahası	Tarih	Toplam Çalışma	Kazı	Düzeltilme	Arazi Ölçümleri	Makine bakım onarım	Yemek-kahve arası
Kavak 2	6/11.08.2018	14,00	6,54	1,93	1,93	1,89	1,71
	13/18.08.2018	14,00	6,50	1,94	2,13	1,93	1,50
	Ortalama	14,00	6,52	1,94	2,03	1,91	1,60
Çardak 2	17/22.09.2018	14,00	6,53	1,60	1,84	2,23	1,80
	24/29.09.2018	14,00	6,53	1,83	1,78	2,13	1,73
	Ortalama	14,00	6,53	1,71	1,81	2,18	1,76
Aktaş 3	17/22.09.2018	14,00	6,53	1,60	1,84	2,23	1,80
	24/29.09.2018	14,00	6,53	1,83	1,78	2,13	1,73
	Ortalama	14,00	6,53	1,71	1,81	2,18	1,76
Aktaş 4	1/6.10.2018	14,00	6,50	1,93	1,93	1,88	1,77
	8/13.10.2018	14,00	6,55	1,91	1,90	1,87	1,78
	Ortalama	14,00	6,53	1,92	1,91	1,88	1,77
Sulusaray 2	15/20.10.2018	14,00	6,46	1,89	1,92	1,95	1,78
	22/27.10.2018	14,00	6,48	1,92	1,89	1,91	1,80
	Ortalama	14,00	6,47	1,90	1,90	1,93	1,79
Sulusaray 3	5/10.11.2018	14,00	6,48	1,87	1,91	1,98	1,77
	12/17.10.2018	14,00	6,48	1,88	1,92	1,94	1,78
	Ortalama	14,00	6,48	1,88	1,91	1,96	1,78
Nar 2	19/24.11.2018	14,00	6,54	1,83	1,83	1,96	1,83
	3/8.12.2018	14,00	6,53	1,83	1,83	2,00	1,82
	Ortalama	14,00	6,53	1,83	1,83	1,98	1,83
Kayhan 2	10/15.12.2018	14,00	6,53	1,93	1,88	1,81	1,89
	17/22.12.2018	14,00	6,46	1,88	1,90	1,95	1,82
	Ortalama	14,00	6,49	1,90	1,89	1,88	1,85

Çizelge 4.3. Proje sahalarında yapılan çalışmalara ait veriler

Proje Adı	Tarih	Kesici Uç Tüketimi (keski/gün)	Net Kazı Miktarı (m ³)	Makine Kullanımı Oranı	Makine Kullanımı Oranı (%)	Günlük İlerleme (m)	Anlık Kazı Hızı (m ³ /saat)	Keski Tüketimi (keski/m ³)
Kavak 2	6/11.08.2018	18,77	307,56	0,47	46,73	8,54	47,05	0,061
	13/18.08.2018	19,23	295,49	0,46	46,43	8,21	45,52	0,065
	Ortalama	19,00	301,53	0,47	46,58	8,38	46,28	0,063
Çardak 2	17/22.09.2018	20,10	248,58	0,47	46,73	6,90	38,00	0,082
	24/29.09.2018	20,70	333,16	0,46	46,13	9,25	51,60	0,062
	Ortalama	20,40	290,87	0,46	46,43	8,08	44,80	0,072
Aktaş 3	17/22.09.2018	16,47	263,03	0,47	46,67	7,31	40,33	0,063
	24/29.09.2018	16,48	284,44	0,47	46,67	7,90	43,54	0,058
	Ortalama	16,47	273,74	0,47	46,67	7,60	41,94	0,060
Aktaş 4	1/6.10.2018	15,33	296,09	0,46	46,43	8,22	45,53	0,052
	8/13.10.2018	15,36	296,57	0,47	46,79	8,24	45,27	0,052
	Ortalama	15,35	296,33	0,47	46,61	8,23	45,40	0,052
Sulusaray 2	15/20.10.2018	12,88	291,32	0,46	46,13	8,09	45,15	0,044
	22/27.10.2018	12,78	280,17	0,46	46,31	7,78	43,15	0,047
	Ortalama	12,83	285,74	0,46	46,22	7,94	44,15	0,046
Sulusaray 3	5/10.11.2018	13,14	271,49	0,46	46,25	7,61	42,00	0,049
	12/17.10.2018	13,20	300,60	0,46	46,25	8,41	46,47	0,044
	Ortalama	13,17	286,05	0,46	46,25	8,01	44,23	0,047
Nar 2	19/24.11.2018	20,25	312,90	0,47	46,73	8,69	47,86	0,065
	3/8.12.2018	19,98	340,56	0,47	46,61	9,46	52,22	0,059
	Ortalama	20,12	326,73	0,47	46,67	9,08	50,04	0,062
Kayhan 2	10/15.12.2018	28,18	334,92	0,47	46,50	9,30	51,34	0,084
	17/22.12.2018	28,22	330,23	0,46	46,13	9,17	51,13	0,086
	Ortalama	28,20	332,57	0,46	46,32	9,24	51,23	0,085

4.2 Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

4.2.1 Birim hacim ağırlık (yoğunluk)

Numune hazırlama yöntemlerine uygun olarak hazırlanan karotların boy ve çapları ölçülerek hacimleri, hassas terazide tartılarak ise ağırlıkları bulunmuştur. Ağırlık değerleri hacim değerlerine bölünerek yoğunlukları hesaplanmıştır.

4.2.2 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyi

Disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarının dolaylı yoldan bulunması için yapılır. Yan yüzeyleri yükleme yapacak

çenelerin arasında kalacak şekilde örnek deney aletine yerleştirilmiştir. Nokta yük aleti yükleme ekipmanı olarak kullanılmıştır. Deneyleer çapı 54mm olan karot numuneler kullanılarak yapılmıştır. Karot örnekleri 10-40 saniyede kırılacak bir hızla 200 N/sn yükleme hızı uygulanarak yüklenmiştir.



Şekil 4.2. Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deney aleti

4.2.3 Yerinde schmidt çekici deneyi

Schmidt geri sıçrama sertliğini bulmak amacıyla yapılan bu deney proje sahasında yapılmıştır. Yerinde yapılan bu deneyde yüzeylerin düzgün ve çatlaksız olmasına özen gösterilmiştir. Deney için kullanılan yüzeyde en az çekicinin uç çapı kadar uzaklıkta olan 20 noktada yapılmış ve en yüksek 10 değerinin ortalaması alınmıştır.



Şekil 4.3. Schmidt çekici

4.2.4 Nokta yükü dayanımı indeksi

Bu deney 54mm çapında karot numuneleri kullanılarak yapılmıştır. Bu deney çapsal olarak yapılmış olup, 200 N/sn yükleme hızı uygulanarak 10-60 saniye aralığında bir hızla yüklenmiştir.



şekil 4.4. Nokta yükü dayanımı deney aleti

4.2.5 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Bu deney 54mm çapında karot örnekleri kullanılarak yapılmıştır. Karot rnekleri üzerinde kullanılan pres 200 tonluk olup yükleme hızı 100 kg/s olarak uygulanmıştır. Bu yükleme hızı deney boyunca sabit tutulmuştur. Karot rneği yenildiği anda yenilme yükü kaydedilmiştir.



Şekil 4.5. Tek eksenli basınç dayanımı deney aleti



Şekil 4.6. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kullanılan silindirik örnekler

4.2.6 Cerchar aşındırma deneyi

Cerchar aşındırıcılık testi Şekil 4.9' da verilen CAI deney aleti kullanılarak yapılmıştır. Bu deney, keski maliyeti, keski tüketimi ve kayaçların aşındırıcılığı hakkında bilgi veren indeks bir testtir. Yeni kırılmış taze kayaç yüzeyi, bu deneyde ucu 90° konik, çekme dayanımı 2000 N/mm² olan deney uçları ve 70 N' luk baskı kuvvetiyle 10 mm çizilmiştir.

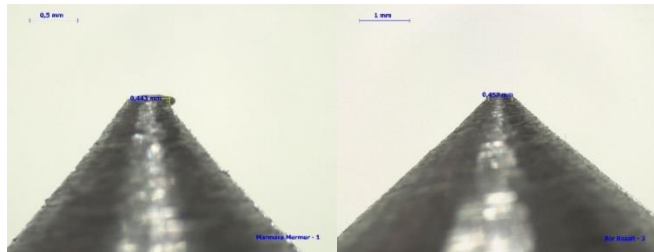
Yapılan bu işlem sonunda Şekil 4.11’ de görülen keski ucunda oluşan aşınma yüzeyinin uzunluğu Cerchar aşınma indeks değeri olarak belirlenmiştir (West, 1989). Bu test her bir kayaç numunesi için en az 5 kere tekrarlanmış olup okunan değerlerin ortalaması alınarak numuneye ait nihai Cerchar aşınma indeks değeri belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Cerchar aşındırıcılık deney aleti ve deneyde kullanılan uçlar



Şekil 4.8. Cerchar aşınma testi sonunda kayaç yüzeyinde oluşan aşınma (Aktaş)



Şekil 4.9. Deney uçlarında ölçülen aşınma miktarlarının mikroskop altındaki görüntüsü ve ölçümü

Belirlenen ortalama Cerchar indeks değerleri Çizelge 4.4’ te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Proje sahalarından alınan numunelere ait fiziksel ve mekanik özellikler

Proje Adı	γ (gr/cm ³)	ω (%)	n (%)	Is ₍₅₀₎ (MPa)	UCS (MPa)	BTS (Mpa)	YSSD	CAI
Kavak 2	1.23	23.42	25.61	0.39	6.58	0.35	15.8	1.28
Çardak 2	1.17	28.89	29.45	0.24	6.22	0.29	14.6	1.36
Aktaş 3	1.37	23.61	24.41	0.19	13.17	0.45	19.6	1.22
Aktaş 4	1.29	20.94	25.28	0.41	7.65	0.42	19.4	1.29
Sulusaray 2	1.45	20.74	21.23	0.24	9.76	0.37	18.23	1.19
Sulusaray 3	1.38	22.07	24.63	0.26	7.96	0.42	21.45	1.18
Nar 2	1.51	29.34	30.78	0.22	4.62	0.3	12.7	1.34
Kayhan 2	1.4	32.15	33.16	0.17	3.14	0.23	10.7	1.36

γ , yoğunluk; ω , su içeriği; n , porozite; $Is_{(50)}$, nokta yük dayanımı; **UCS**, tek eksenli basınç dayanımı; **BTS**, Brazilian çekme dayanımı; **YSSD**, yerinde Schmidt sertlik değeri; **CAI**, Cerchar aşınma indeks değeri.

4.3 Kaya Kesme Deneyleri

Bu çalışmada kaya kesme deneyleri düşey kayaç kesme seti ile yapılmıştır. Deney setinde bulunan keski tutucu ve keski yardımıyla her türlü blok veya karot numunesinde kesme deneyi uygulanabilir. Bilgisayara bağlı olan sistemden kesme kuvvetinin zamanla değişimini gösteren grafikler elde edilebilir. Kaya kesme deneylerinin radyal keski, negatif açılı basit kama tipi keski, basit kama tipi, negatif açılı basit kama tipi keski ve konik uçlu keski gibi çeşitli keski kullanılarak başarılı bir şekilde yapılabileceği görülmüştür. Bu çalışmada kama tipi ve konik uçlu keski kullanılmıştır.

4.3.1 Kama uçlu keskiyle yapılan kaya kesme deneyleri

Bu çalışmada kama uçlu keskiyle 6 ayrı sahada çalışma yapılmıştır. Bu sahalar Niğde bölgesinde bulunan Aktaş, Nevşehir bölgesinde bulunan Nar, Sulusaray, Çardak, Kavak ve Kayhan'dır. Örnekler sabitlendikten sonra -5° kesme açısı, 5° temizleme açısı ve genişliği 12,7 mm olan kama uçlu keski ile 5mm kesme derinliğinde kesilmiştir. Örneklere ait kuvvet ve spesifik enerji değerleri Çizelge 4.5' te verilmiştir.



Şekil 4.10. Aktaş 3 numunesi üzerinde kama uçlu keski kullanılarak yapılan kaya kesme deneyleri

Çizelge 4.5. Proje sahalarına ait kuvvet ve spesifik enerji değerleri

Proje Sahası	Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)
Kayhan 2	233,27	1,99
Aktaş 3	395,49	3,30
Aktaş 4	274,86	2,47
Sulusaray 2	346,71	3,38
Sulusaray 3	303,94	2,72
Nar 2	219,38	2,01
Çardak 2	238,34	2,15
Kavak 2	278,86	2,50

4.3.2 Konik uçlu keskiyle yapılan kaya kesme deneyleri

Kaya kesme deneylerinde konik uçlu keskiyle yardımcı ve yardımcı olmayan olmak üzere iki ayrı deney yapılmıştır. Deneylerde 3, 6 ve 9 mm olmak üzere kesme derinliği 3 farklı şekilde ayarlanmıştır. Yardımlı deneylerde kaya kesme deneyleri keski arası mesafe 20 mm ayarlandıktan sonra yapılmıştır. Kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler proje sahalarının her biri için ayrı ayrı aşağıda verilmiştir.

4.3.2.1 Nar 2 KOY yapılan kaya kesme deneyleri

Nevşehir bölgesinde Nar ilçesinde bulunan KOY da yardımcı ve yardımcı olmayan olmak üzere 2 ayrı deney yapılmıştır. Deneye ait kesme derinliği, keski arası mesafe, uygulanan

kuvvet ve spesifik enerji değerleri izelge 4.6’da verilmiştir. Kaya kesme deneylerinde kullanılan konik uç Şekil 4.11’ te verilmiştir. Nar numunesinin üzerinde yapılan yardımlı kaya kesme deneyi sonrası görüntüsü Şekil 4.12’ te verilmiştir.

Çizelge 4.6. Nar 2 KOY yapılan çalışma ait değerler

Proje Sahası	Yoğunluk	Kesme Derinliği (mm)	s	s/d	Yardımsız		Yardımlı	
					Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)
NAR 2	1,51	6	20	3,33	568,00	4,83	338,00	3,31
		9	20	2,22	604,17	4,07	438,89	3,02
		12	20	1,67	752,55	3,29	498,87	2,44

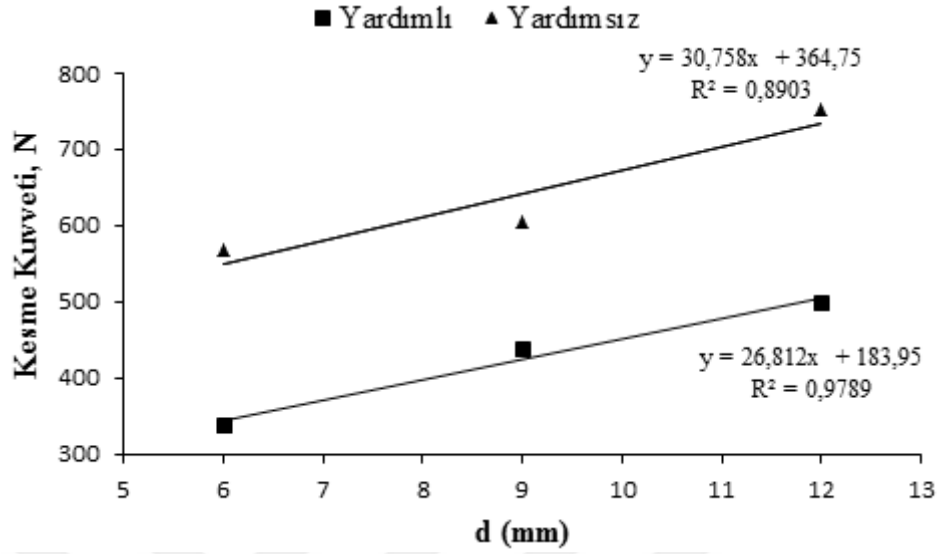


Şekil 4.11. Kaya kesme deneylerinde kullanılan konik uç



Şekil 4.12. Nar 2 numunesi üzerinde yardımlı kaya kesme deneyi sonrası

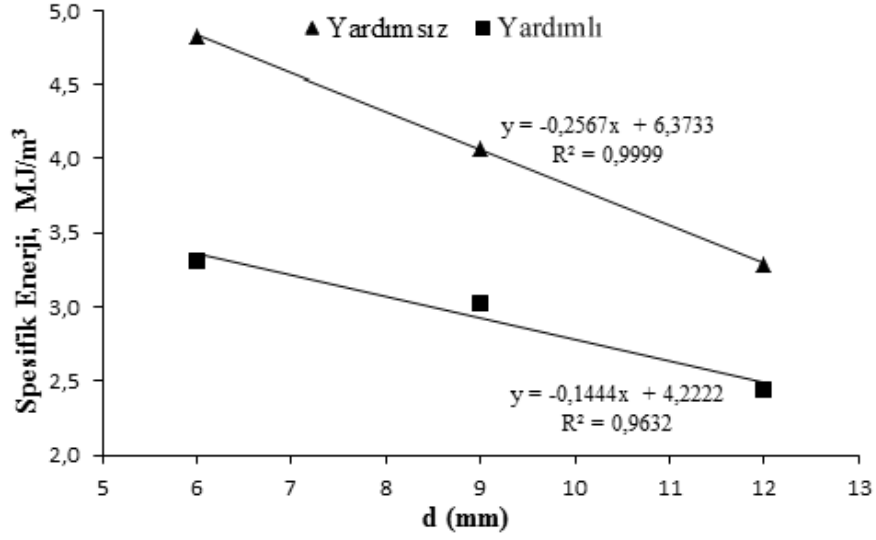
Yardımlı ve yardımsız kaya kesme deneylerinin sonucunda kesme kuvvetine bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösterir grafik Şekil 4.13' de verilmiştir.



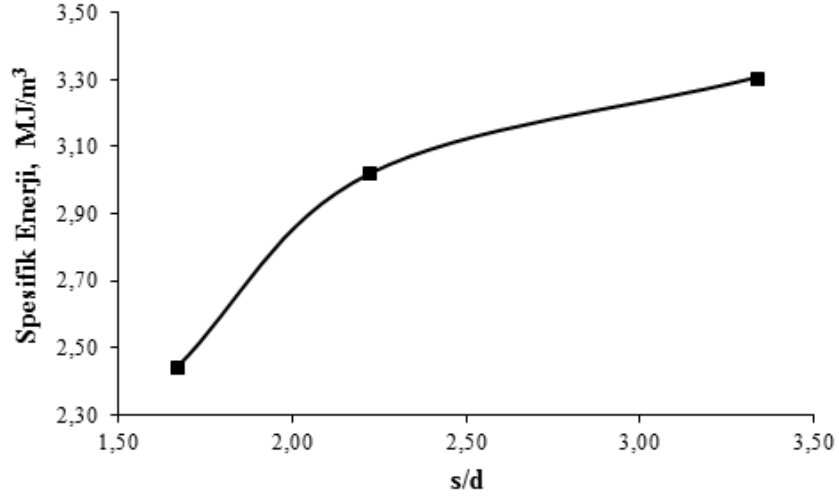
Şekil 4.13. Nar 2 projesi için kesme derinliği ile kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki

Yardımlı ve yardımsız kaya kesme deneylerinin sonucunda kesme derinliğine bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.14' da verilmiştir. Kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak yardımsız ve yardımlı kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesme kuvveti oranına bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.15' de verilmiştir.

İlgili grafiklere bakıldığında Nar 2 projesi için optimum s / d ' nin 12 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmüştür. Yardımlı ve yardımsız deneylerde spesifik enerjinin optimum olduğu kesme derinliği de s / d oranındaki gibi 12 mm'dir. Burada hem optimum spesifik enerji hem de optimum s / d oranı aynı kesme derinliğinde elde edilmiştir.



Şekil 4.14. Nar 2 projesi için kesme derinliği ve spesifik enerji ilişkisi



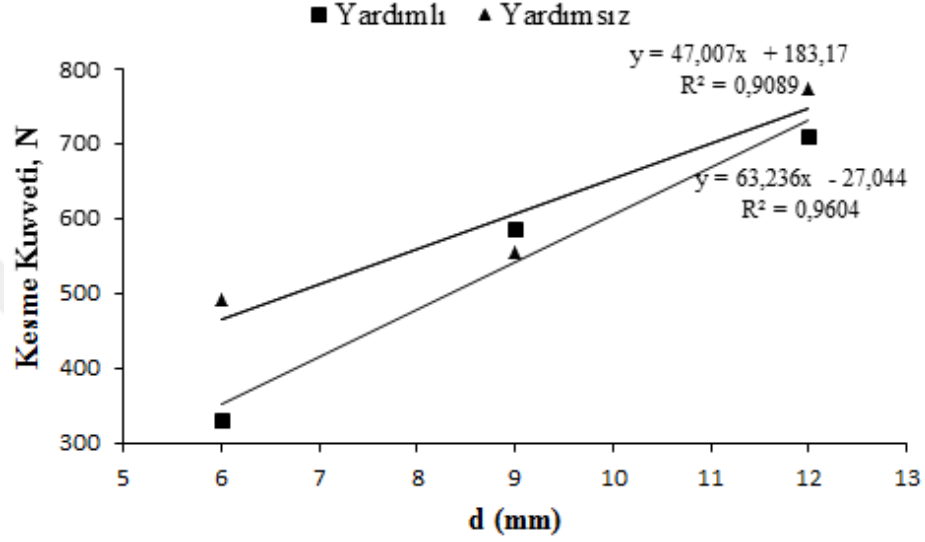
Şekil 4.15. Nar 2 projesi için kesmeler arası mesafe/ kesme derinliği oranı ile SE ilişkisi

4.3.2.2 Sulusaray 2 KOY yapılan kaya kesme deneyleri

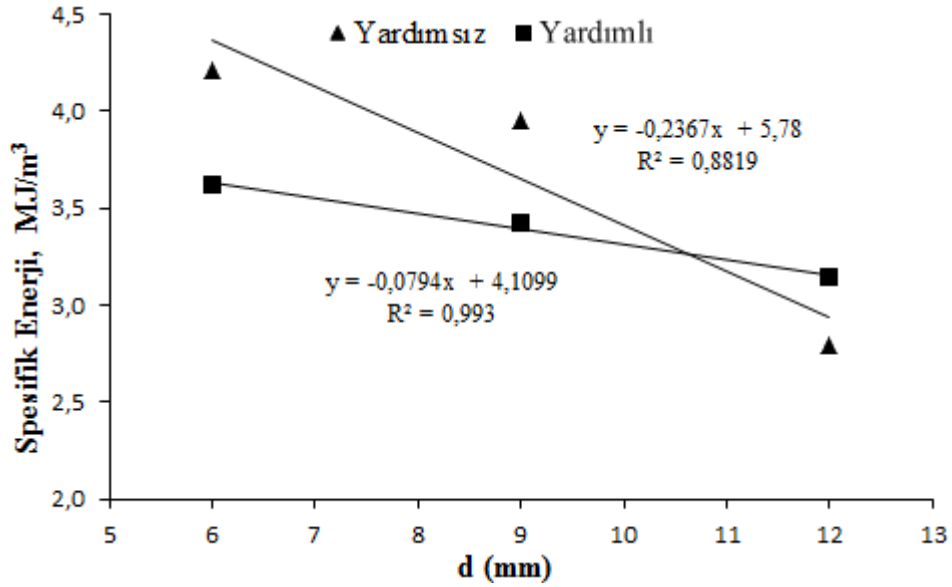
Nevşehir bölgesinde Sulusaray 2 ilçesinde bulunan iki ayrı KOY da yardımcı ve yardımcı olmayan üzere 2 ayrı deney yapılmıştır. Deneye ait kesme derinliği, kesmeler arası mesafe, uygulanan kuvvet ve spesifik enerji değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Ayrıca yapılan yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak kesmeler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösteren grafikler Şekil 4.16’ de verilmiştir. Yardımsız ve yardımcı kaya kesme deneylerinin sonucunda kesme derinliğine bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösterir grafik Şekil 4.17’ da verilmiştir.

Çizelge 4.7. Sulusaray 2 KOY yapılan çalışma ait değerler

Proje Sahası	Yoğunluk	Kesme Derinliği (mm)	s	s/d	Yardımsız		Yardımlı	
					Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)
Sulusaray 2	1,45	6	20	3,33	490,98	4,21	330,13	3,62
		9	20	2,22	554,68	3,95	586,55	3,42
		12	20	1,67	773,02	2,79	709,55	3,15

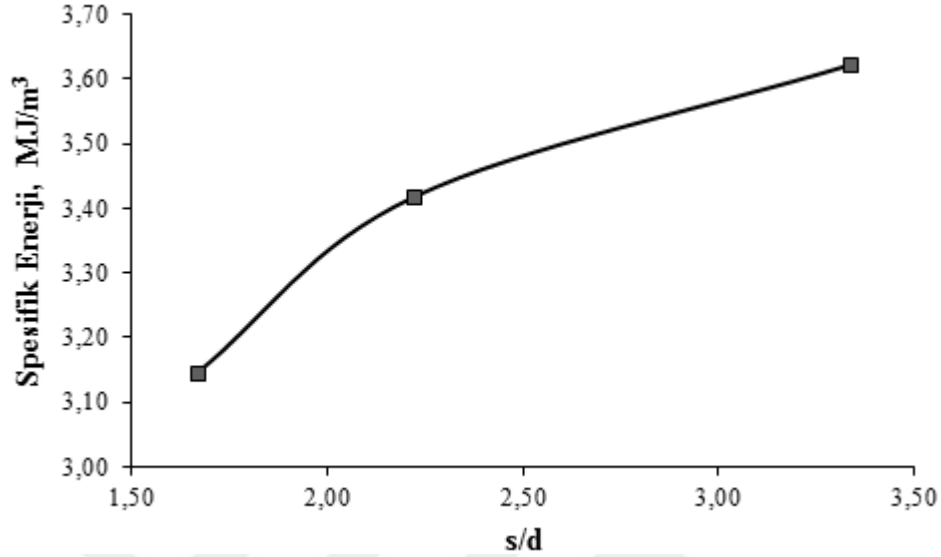


Şekil 4.16. Sulusaray 2 projesi için kesme derinliği ile kuvvet değerleri arasındaki ilişki



Şekil 4.17. Sulusaray 2 projesi için kesme derinliği ile SE arasındaki ilişki

Kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak yardımsız ve yardımcı kesme deneyleri için kesmeler arası mesafe / kesme derinliği' ne bağı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafikler Şekil 4.18' de verilmiştir.



Şekil 4.18. Sulusaray 2 projesi için kesmeler arası mesafe/ kesme derinliği ve SE arasındaki ilişki

İlgili grafiklere bakıldığında Sulusaray 1 projesi için optimum s / d' nin 12 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmüştür. Yardımsız ve yardımcı deneylerde spesifik enerjinin optimum olduğu kesme derinliği de s / d oranındaki gibi 12 mm'dir. Burada hem optimum spesifik enerji hem de optimum s / d oranı aynı kesme derinliğinde elde edilmiştir.

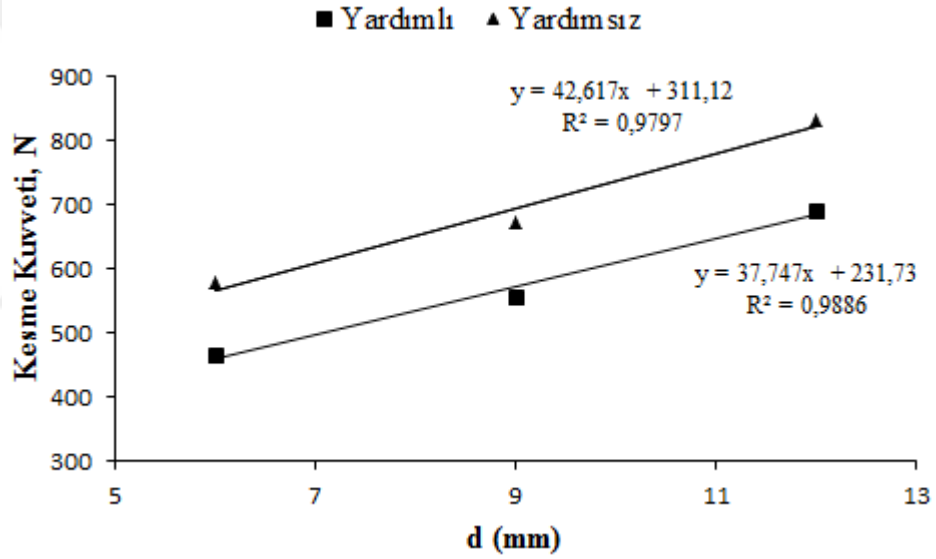
4.3.2.3 Sulusaray 3 KOY yapılan kaya kesme deneyleri

Nevşehir bölgesinde Sulusaray ilçesinde bulunan KOY da yardımcı ve yardımsız olmak üzere 2 ayrı deney yapılmıştır. Deneye ait kesme derinliği, kesmeler arası mesafe, uygulanan kuvvet ve spesifik enerji değerleri Çizelge 4.8' de verilmiştir. Ayrıca yapılan yardımcı ve yardımsız kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılmasıyla kesme derinliğine bağı olarak kesmeler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösteren grafikler Şekil 4.19' da verilmiştir. Yardımsız ve yardımcı kaya kesme deneylerinin sonrasında kesme derinliğine bağı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.20' de verilmiştir.

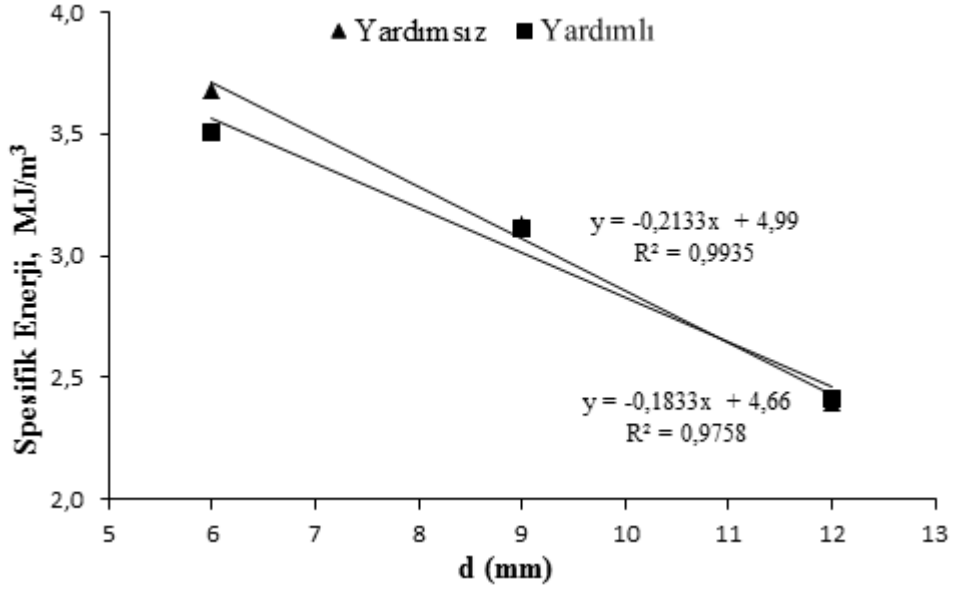
Çizelge 4.8. Sulusaray 3 KOY yapılan çalışma ait değerler

Proje Sahası	Yoğunluk	Kesme Derinliği (mm)	s	s/d	Yardımsız		Yardımlı	
					Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)
Sulusaray 2	1,38	6	20	3,33	577,45	3,68	465,23	3,51
		9	20	2,22	673,41	3,13	557,41	3,11
		12	20	1,67	833,15	2,40	691,71	2,41

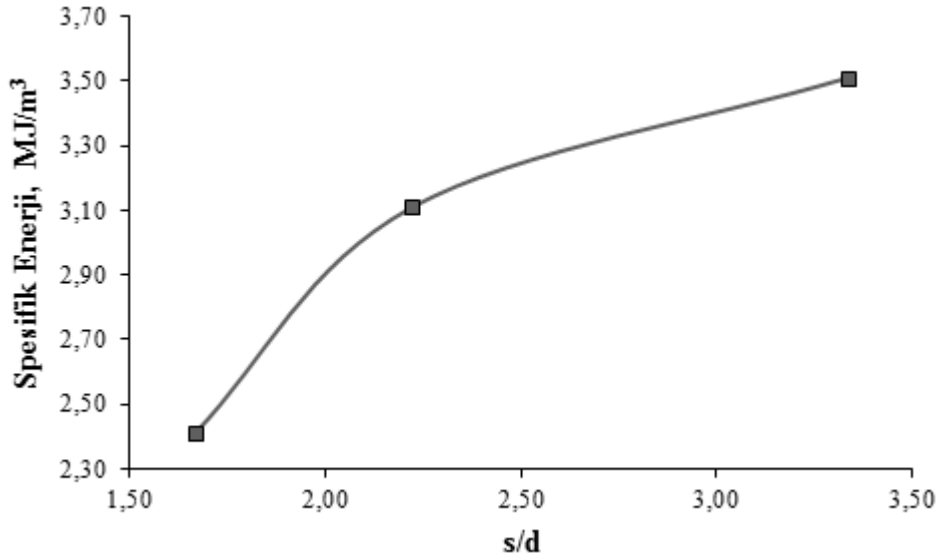
Kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak yardımsız ve yardımlı kesme deneyleri için kesmeler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafikler Şekil 4.21' te verilmiştir.



Şekil 4.19. Sulusaray 3 projesi için kesme derinliği ile kuvvetler arasındaki ilişki



Şekil 4.20. Sulusaray 3 projesi için kesme derinliği ile SE arasındaki ilişki



Şekil 4.21. Sulusaray 3 projesi için s/d oranı ile SE arasındaki ilişki

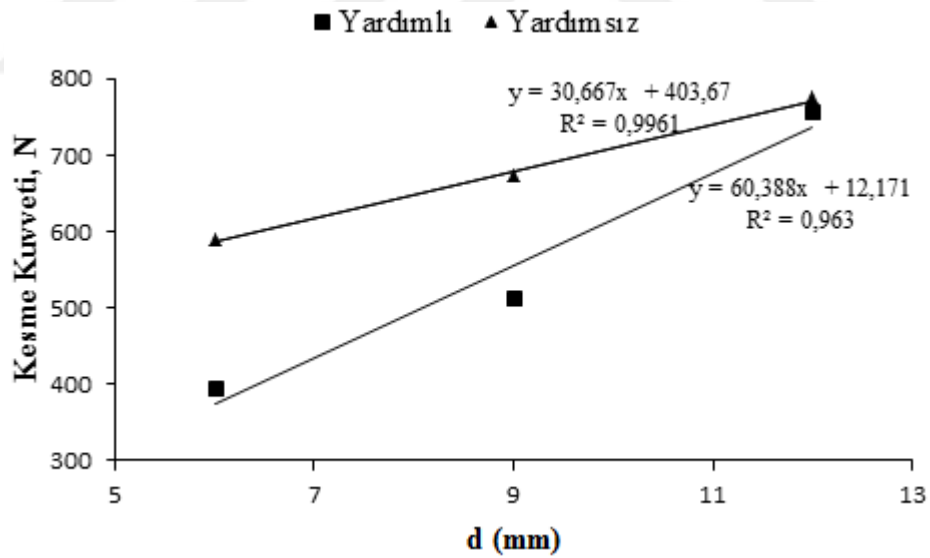
İlgili grafiklere bakıldığında Sulusaray 3 numunesi için optimum s / d 12 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmüştür. Yardımlı ve yardımsız deneylerde spesifik enerjinin optimum olduğu kesme derinliği de s / d oranındaki gibi 12 mm'dir. Burada hem optimum spesifik enerji hem de optimum s / d oranı aynı kesme derinliğinde elde edilmiştir.

4.3.2.4 Aktaş 3 KOY yapılan kaya kesme deneyleri

Niğde bölgesinde Aktaş ilçesinde bulunan KOY da yardımcı ve yardımcı olmayan olmak üzere 2 ayrı deney yapılmıştır. Deneye ait kesme derinliği, keskinler arası mesafe, uygulanan kuvvet ve spesifik enerji değerleri Çizelge 4.9’ da verilmiştir. Ayrıca yapılan yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keskinler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösteren grafikler Şekil 4.22’ te verilmiştir.

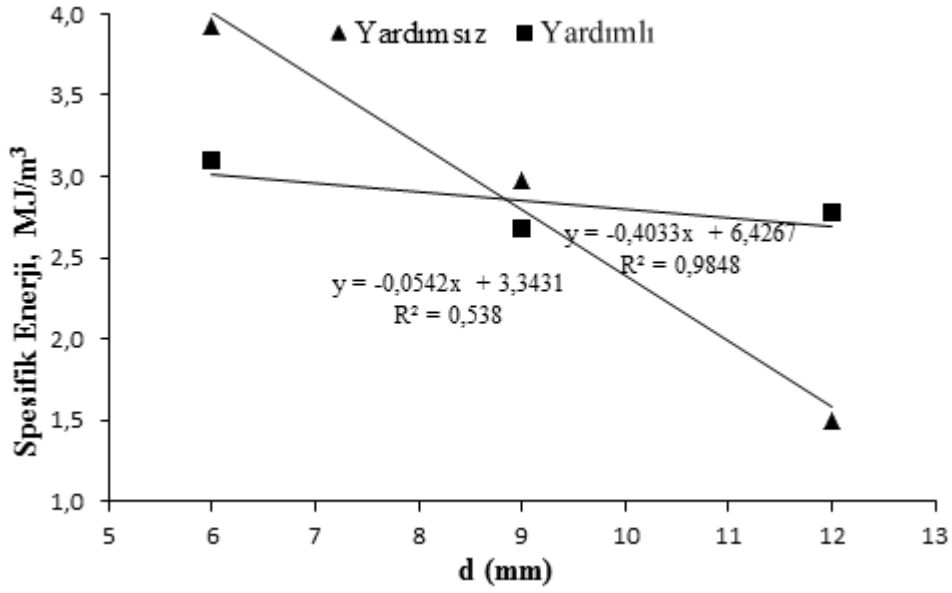
Çizelge 4.9. Aktaş 3 KOY yapılan çalışma ait değerler

Proje Sahası	Yoğunluk	Kesme Derinliği (mm)	s	s/d	Yardımsız		Yardımlı	
					Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)
Aktaş 3	1,37	6	20	3,33	591,00	3,92	395,00	3,11
		9	20	2,22	673,00	2,97	514,67	2,68
		12	20	1,67	775,00	1,50	757,33	2,78

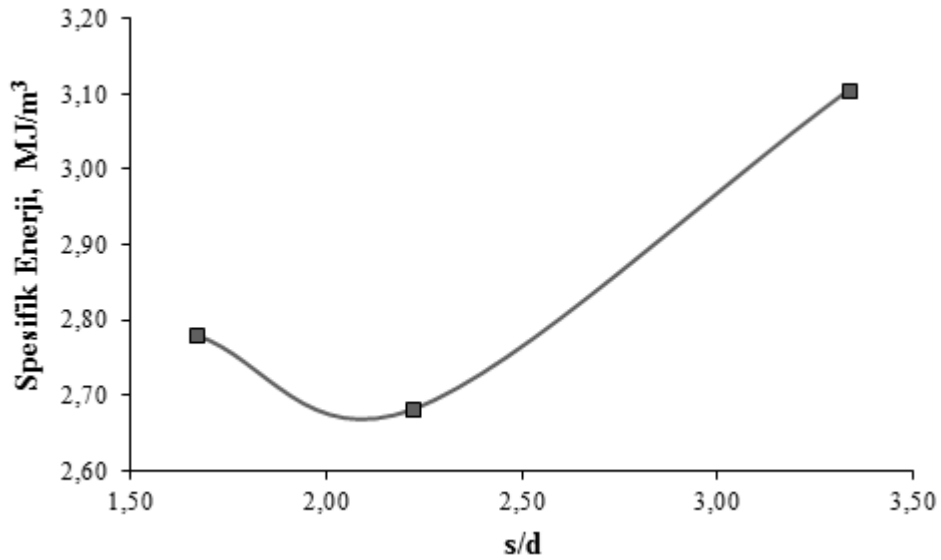


Şekil 4.22. Aktaş 3 projesi için kesme derinliği ile kuvvetler arasındaki ilişki

Yardımlı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneylerinin sonucunda kesme derinliğine bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.23’ te verilmiştir.



Şekil 4.23. Aktaş 3 projesi için kesme derinliği ile SE arasındaki ilişki



Şekil 4.24. Aktaş 3 projesi için s/d oranı ile SE arasındaki ilişki

Kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak yardımsız ve yardımcı kesme deneyleri için s/d' ye bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafikler Şekil 4.24' da verilmiştir.

İlgili grafiklere bakıldığında Aktaş 3 projesi için optimum s / d' nin 12 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmüştür. Yardımlı ve yardımsız deneylerde spesifik enerjinin optimum olduğu kesme derinliği de s / d oranındaki gibi 12 mm'dir. Burada

hem optimum spesifik enerji hem de optimum s / d oranı aynı kesme derinliğinde elde edilmiştir.

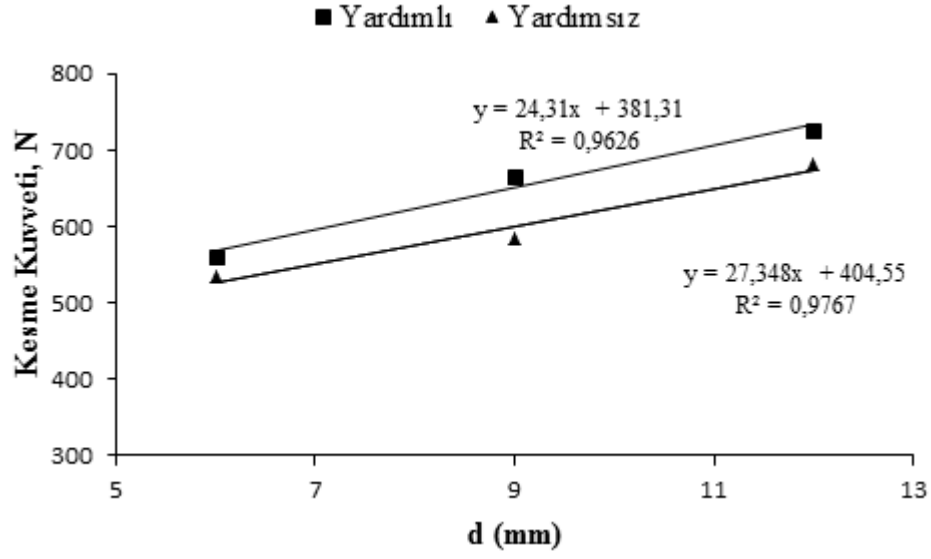
4.3.2.5 Aktaş 4 KOY yapılan kaya kesme deneyleri

Niğde bölgesinde Aktaş ilçesinde bulunan KOY da yardımcı ve yardımcı olmayan olmak üzere 2 ayrı deney yapılmıştır. Deneye ait kesme derinliği, keskinler arası mesafe, uygulanan kuvvet ve spesifik enerji değerleri Çizelge 4.10' da verilmiştir. Ayrıca yapılan yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keskinler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösteren grafikler Şekil 4.25' de verilmiştir.

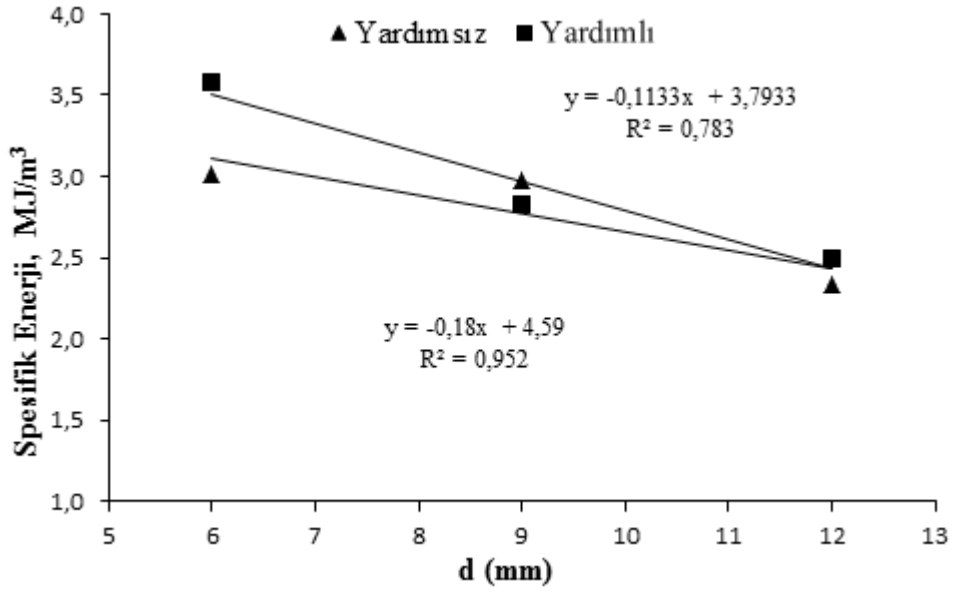
Çizelge 4.10. Aktaş 4 KOY yapılan çalışma ait değerler

Proje Sahası	Yoğunluk	Kesme Derinliği (mm)	s	s/d	Yardımsız		Yardımlı	
					Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)
Aktaş 2	1,29	6	20	3,33	535,47	3,01	561,32	3,58
		9	20	2,22	583,51	2,98	665,33	2,83
		12	20	1,67	681,33	2,33	725,41	2,50

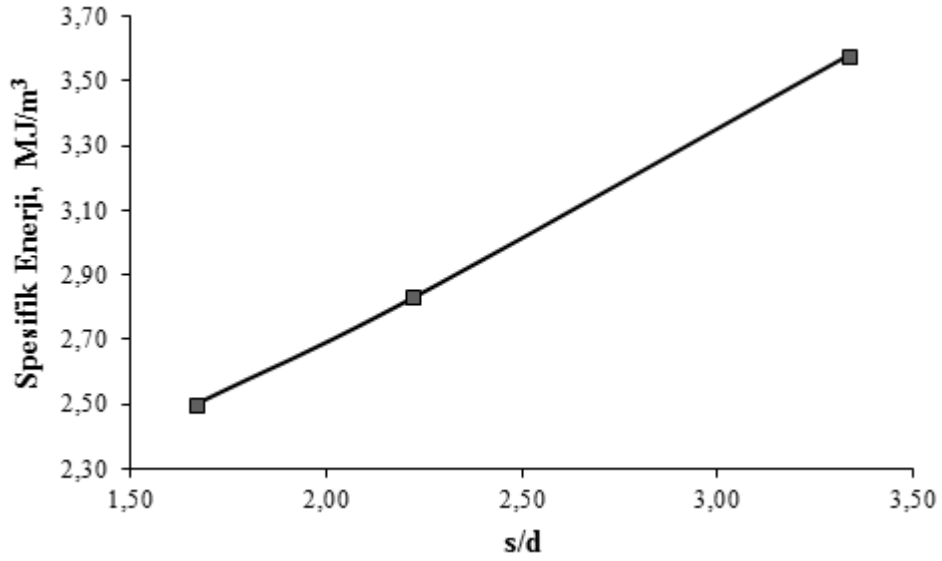
Yardımlı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneylerinin sonucunda kesme derinliğine bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.26' de verilmiştir. Kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak yardımcı ve yardımcı olmayan kesme deneyleri için s/d' ye bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafikler Şekil 4.27' da verilmiştir.



Şekil 4.25. Aktaş 4 projesi için kesme derinliği ve kuvvetler arasındaki ilişki



Şekil 4.26. Aktaş 4 projesi için kesme derinliği ve SE arasındaki ilişki



Şekil 4.27. Aktaş 4 projesi için s/d ve SE arasındaki ilişki

İlgili grafiklere bakıldığında Aktaş 2 numunesi için optimum s / d 12 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmüştür. Yardımlı ve yardımsız deneylerde spesifik enerjinin optimum olduğu kesme derinliği de s / d oranındaki gibi 12 mm'dir. Burada hem optimum spesifik enerji hem de optimum s / d oranı aynı kesme derinliğinde elde edilmiştir.

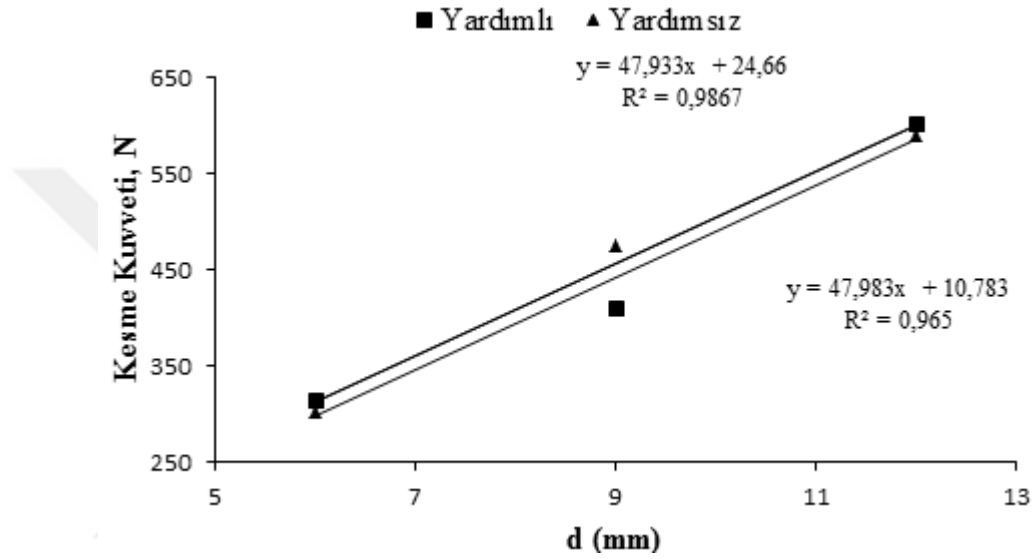
4.3.2.6 Kayhan 2 KOY yapılan kaya kesme deneyleri

Nevşehir bölgesinde Kayhan 2 ilçesinde bulunan KOY da yardımcı ve yardımsız olmak üzere 2 ayrı deney yapılmıştır. Deneye ait kesme derinliği, kesmeler arası mesafe, uygulanan kuvvet ve spesifik enerji değerleri Çizelge 4.11' de verilmiştir. Ayrıca yapılan yardımcı ve yardımsız kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak kesmeler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösteren grafik Şekil 4.28' de verilmiştir.

Yardımsız ve yardımcı kaya kesme deneylerinin sonucunda kesme derinliğine bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.29' de verilmiştir.

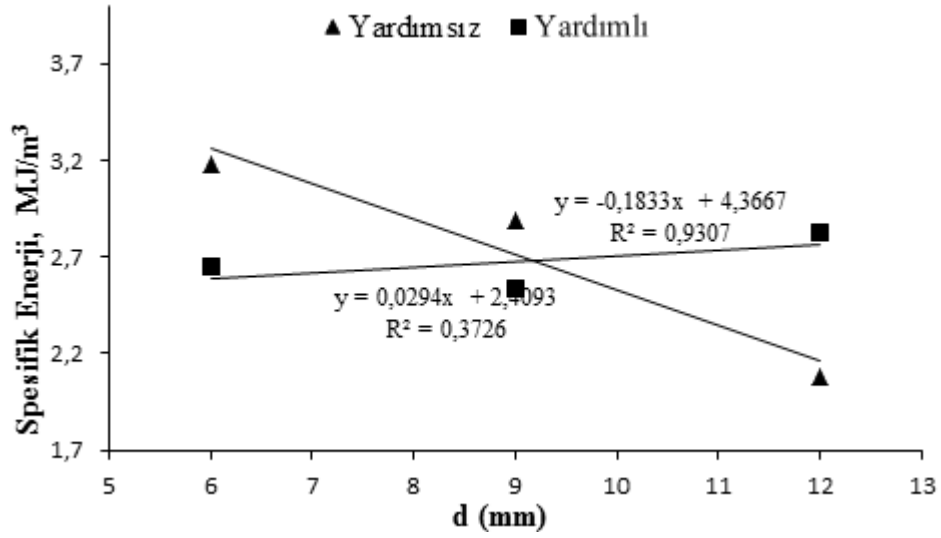
Çizelge 4.11. Kayhan 2 KOY yapılan çalışma ait değerler

Proje Sahası	Yoğunluk	Kesme Derinliği (mm)	s	s/d	Yardımsız		Yardımlı	
					Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)
Kayhan 2	1,40	6	20	3,33	303,00	3,18	314,50	2,65
		9	20	2,22	452,00	2,89	411,00	2,54
		12	20	1,67	596,00	2,08	602,40	2,83

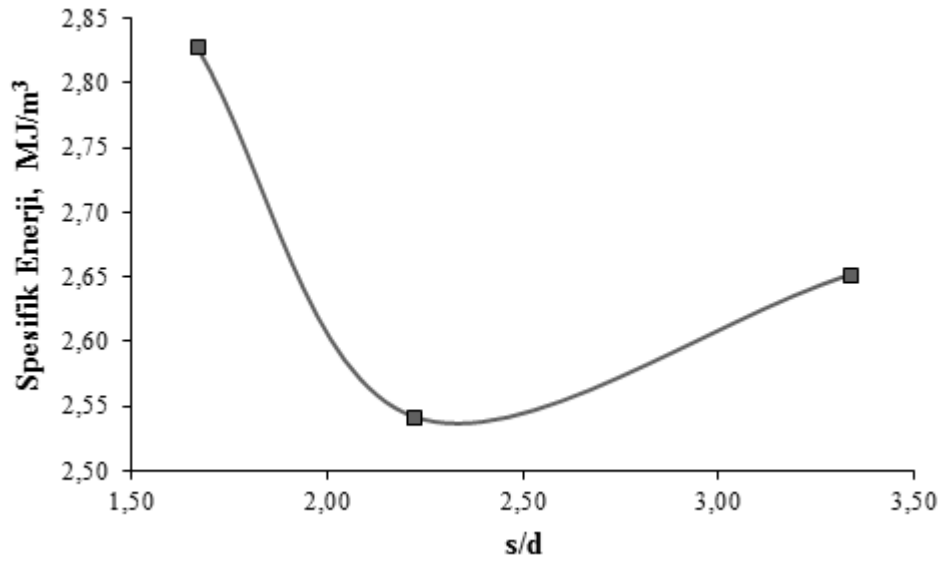


Şekil 4.28. Kayhan 2 projesi için kesme derinliği ile kuvvetler arasındaki ilişki

Kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak yardımsız ve yardımcı kesme deneyleri için s/d' ye bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösterir grafik Şekil 4.30' de verilmiştir.



Şekil 4.29. Kayhan 2 projesi için kesme derinliği ile SE arasındaki ilişki



Şekil 4.30. Kayhan 2 projesi için s/d ile SE arasındaki ilişki

İlgili grafiklere bakıldığında Kayhan numunesi için optimum s / d 12 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmüştür. Yardımlı ve yardımsız deneylerde spesifik enerjinin optimum olduğu kesme derinliği de s / d oranındaki gibi 12 mm'dir. Burada hem optimum spesifik enerji hem de optimum s / d oranı aynı kesme derinliğinde elde edilmiştir.

4.3.2.7 Çardak 2 KOY yapılan kaya kesme deneyleri

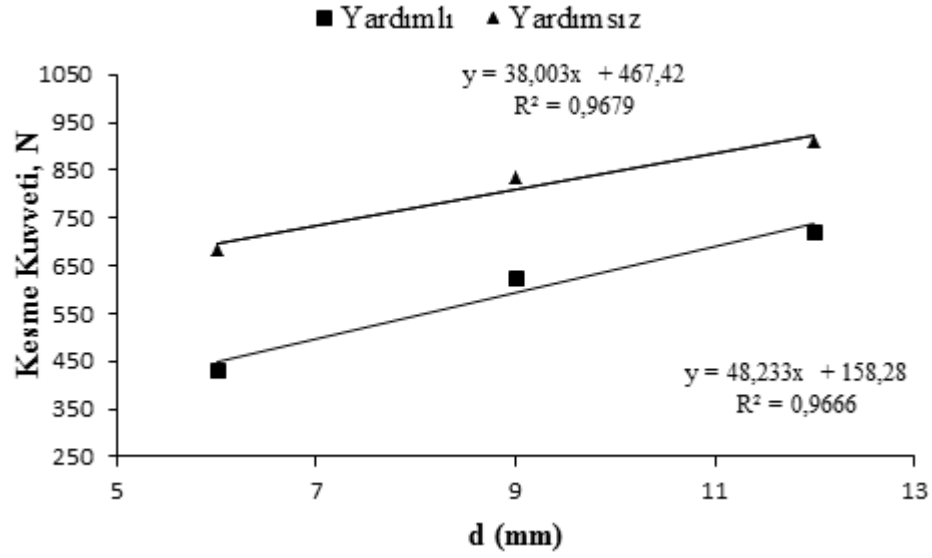
Nevşehir bölgesinde Çardak ilçesinde bulunan KOY da yardımcı ve yardımcı olmayan üzere 2 ayrı deney yapılmıştır. Deneye ait kesme derinliği, kesmeler arası mesafe, uygulanan kuvvet ve spesifik enerji değerleri Çizelge 4.12’ de verilmiştir. Ayrıca yapılan yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak kesmeler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösterir grafik Şekil 4.31’ te verilmiştir.

Çizelge 4.12. Çardak 2 KOY yapılan çalışma ait değerler

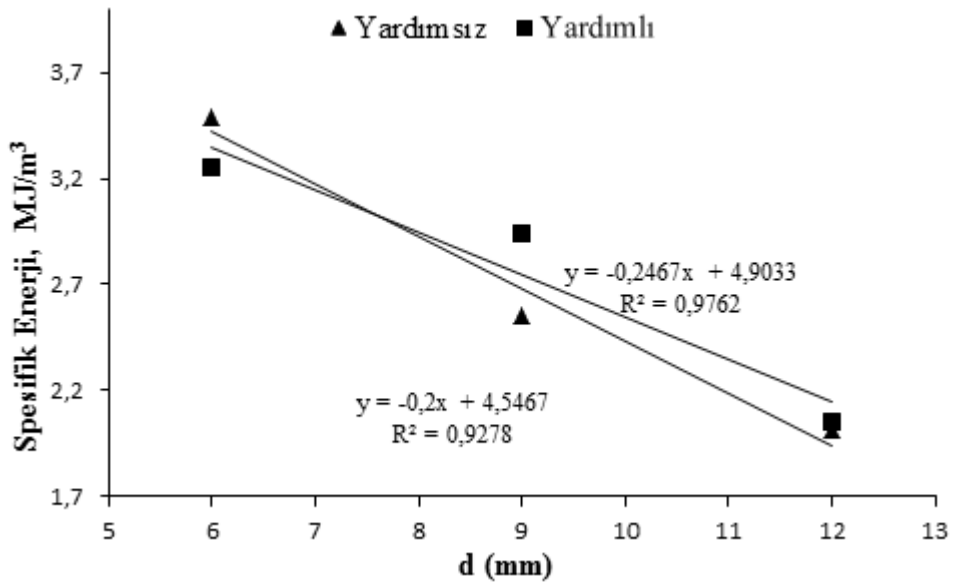
Proje Sahası	Yoğunluk	Kesme Derinliği (mm)	s	s/d	Yardımsız		Yardımlı	
					Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)
Çardak 2	1,17	6	20	3,33	683,45	3,49	432,15	3,25
		9	20	2,22	833,43	2,55	623,43	2,94
		12	20	1,67	911,47	2,01	721,55	2,05

Yardımlı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneylerinin sonucunda kesme derinliğine bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.32’ te verilmiştir. Kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak yardımcı ve yardımcı olmayan kesme deneyleri için kesmeler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafik Şekil 4.33’ te verilmiştir.

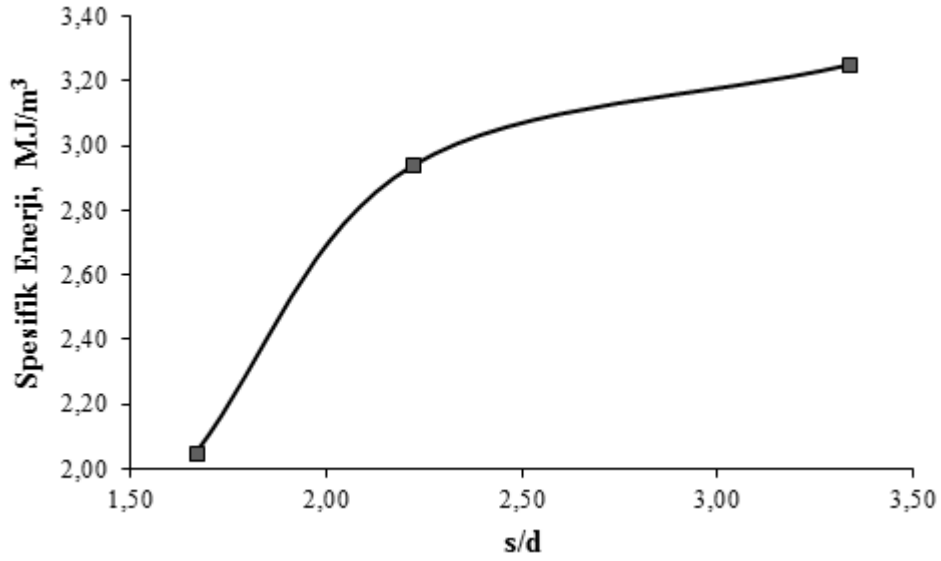
İlgili grafiklere bakıldığında Çardak 2 numunesi için optimum s / d 12 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmüştür. Yardımlı ve yardımcı olmayan deneylerde spesifik enerjinin optimum olduğu kesme derinliği de s / d oranındaki gibi 12 mm’dir. Burada hem optimum spesifik enerji hem de optimum s / d oranı aynı kesme derinliğinde elde edilmiştir.



Şekil 4.31. Çardak 2 projesi için kesme derinliği ve kuvvetler arasındaki ilişki



Şekil 4.32. Çardak 2 projesi için kesme derinliği ve SE arasındaki ilişki



Şekil 4.33. Çardak 2 projesi için s/d ve SE arasındaki ilişki

4.3.2.8 Kavak 2 KOY yapılan kaya kesme deneyleri

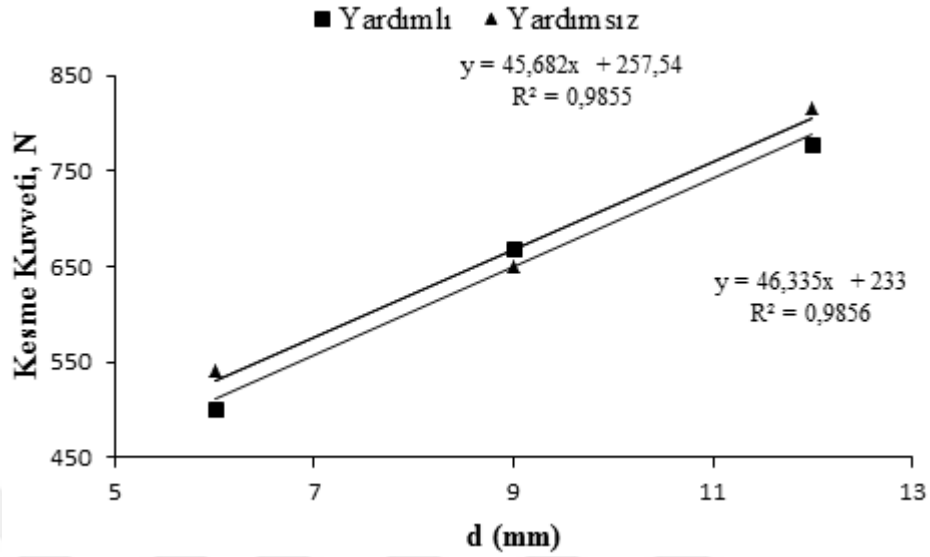
Nevşehir bölgesinde Kavak ilçesinde bulunan KOY da yardımcı ve yardımcı olmayan üzere 2 ayrı deney yapılmıştır. Deneye ait kesme derinliği, keskinler arası mesafe, uygulanan kuvvet ve spesifik enerji değerleri Çizelge 4.13’ te verilmiştir. Ayrıca yapılan yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keskinler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösterir grafik Şekil 4.34’ da verilmiştir.

Çizelge 4.13. Kavak 2 KOY yapılan çalışma ait değerler

Proje Sahası	Yoğunluk	Kesme Derinliği (mm)	s	s/d	Yardımsız		Yardımlı	
					Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Kuvvet (N)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)
Kavak 2	1,23	6	20	3,33	541,23	3,42	501,32	3,64
		9	20	2,22	649,47	2,70	669,41	2,97
		12	20	1,67	815,32	2,25	779,33	2,52

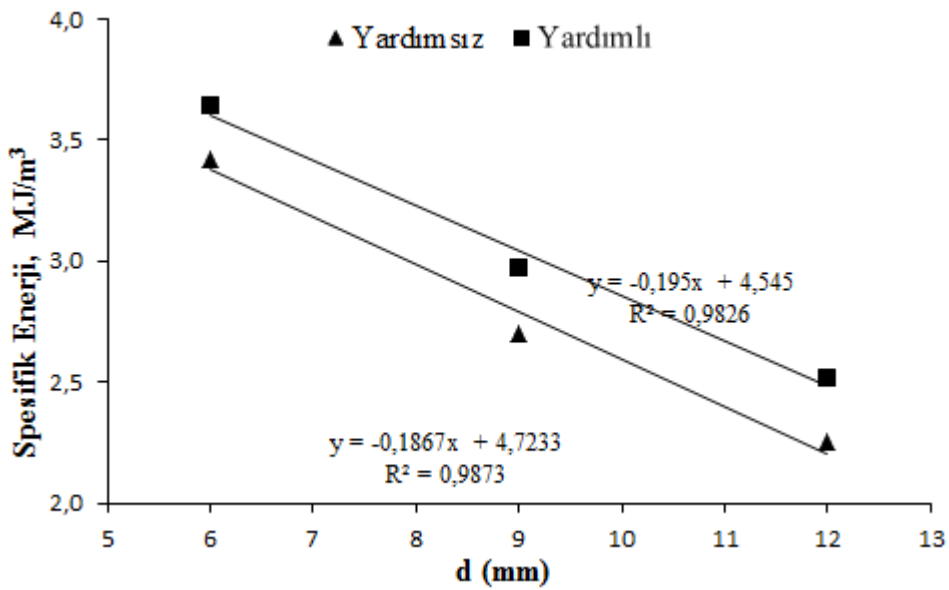
Yardımlı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneylerinin sonucunda kesme derinliğine bağlı olarak SE değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.35’ de verilmiştir. Kaya kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak yardımcı ve yardımcı olmayan kesme

denepleri için s/d ' ye bağı olarak SE değerlerinin değişimini gösterir grafik Şekil 4.36' de verilmiştir.

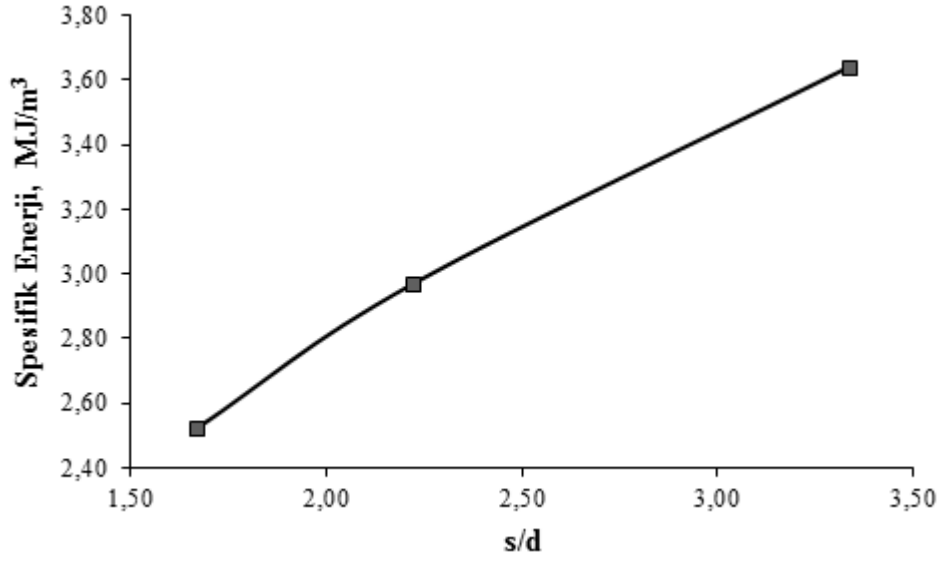


Şekil 4.34. Kavak 2 projesi için kesme derinliği ve kuvvetler arasındaki ilişki

İlgili grafiklere bakıldığında Kavak 2 numunesi için optimum s / d 12 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmüştür. Yardımlı ve yardımsız deneylerde spesifik enerjinin optimum olduğu kesme derinliği de s / d oranındaki gibi 12 mm'dir. Burada hem optimum spesifik enerji hem de optimum s / d oranı aynı kesme derinliğinde elde edilmiştir.



Şekil 4.35. Kavak 2 projesi için kesme derinliği ile SE arasındaki ilişki



Şekil 4.36. Kavak 2 projesi için s/d ile SE arasındaki ilişki

4.4 Teorik Hesaplamalar

4.4.1 Kollu galeri açma makinelerinin performans tahmini

Bu bölümde Kapadokya bölgesinde bulunan Nevşehir ve Niğde illerinden alınan 8 adet numune üzerine yapılan fiziksel ve mekanik deneyler sonucunda kollu galeri açma makinelerinin performansı değerlendirilmiştir. Mekanize kazı performans tahmini için bir çok model geliştirilmiştir. Burada Bölüm 2’ de bahsetmiş olduğumuz performans tahmin modelleri kullanılmıştır. Kullanılan modeller ve bu modelleri öneren araştırmacılara ait bilgiler aşağıda verilmiştir. Niğde bölgesinde bulunan Aktaş 3 KOY yapılan performans tahmin işlemleri aşağıdaki gibidir. Proje sahalarının performans tahmin işlemleri sonuçları Çizelge 4.14’te verilmiştir.

Gehring’ in önerdiği formüle göre;

$$ICR = 1739 / UCS^{1.13} \quad (\text{Arına paralel}) \quad (4.1)$$

$$ICR = 719 / UCS^{0.78} \quad (\text{Arına dik}) \quad (4.2)$$

Burada;

UCS (Tek eksenli basınç direnci) = 13,17 (MPa)

Değerler formüllerde yerine yazılırsa;

Arına paralel : $ICR = 1739 / 13,17^{1.13} = 82,17 \text{ m}^3 / \text{h}$

Arına dik: $ICR = 719 / 13,17^{0.78} = 77,01 \text{ m}^3 / \text{h}$

Thuro' nun önerdiği formüle göre;

$$ICR = 75.7 - 14.3 \times \ln(UCS) \quad (4.3)$$

Burada;

UCS (Tek eksenli basınç direnci) = 13,17 (MPa)

Değerler formülde yerine yazılırsa;

$$ICR = 75.7 - 14.3 \times \ln(13,17) = 58,84 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Bilgin ve diğ.' nin önerdiği formüle göre;

$$RMCI = UCS * \left(\frac{RQD}{100} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (4.4)$$

$$ICR = 0.28 * P * (0.974)^{RMCI} \quad (4.5)$$

Burada;

UCS (Tek eksenli basınç direnci) = 13,17 (MPa)

Değerler formülde yerine yazılırsa;

$$RMCI = 13,17 * \left(\frac{50}{100} \right)^{\frac{2}{3}} = 8,296 \text{ MPa}$$

$$ICR = 0.28 * 200 * (0.974)^{8,296} = 60,31 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Burada ;

$$P= 200\text{kW}$$

$$\text{RMCI}= 8,296 \text{ MPa}$$

Balcı' nın önerdiği formüle göre;

$$\text{ICR}=k * \frac{P}{0.37 * \text{UCS}^{0.86}} \quad (4.6)$$

Burada;

$$\text{UCS (Tek eksenli basınç direnci)} = 13,17 \text{ (MPa)}$$

$$P= 200\text{kW}$$

$$k= 0,4$$

Değerler formüllerde yerine yazılırsa;

$$\text{Arına dik :ICR}=0,4 * \frac{200}{0.37 * 13,17^{0.86}} = 23,55 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{Arına paralel : ICR}=0,45 * \frac{200}{0.37 * 6,58^{0.86}} = 39,02 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Tumaç' ın önerdiği formüle göre;

$$\text{ICR}=109,25 \times \text{UCS}^{-0.72} \quad (4.7)$$

$$\text{ICR}=81.21 * \text{SH}^{-0.78} \quad (4.8)$$

$$\text{UCS (Tek eksenli basınç direnci)} = 13,17 \text{ (MPa)}$$

$$\text{SH (kayaçların shore sertliği)} = 19,60$$

Değerler formüllerde yerine yazılırsa;

$$\text{ICR}=109,25 \times 13,17^{-0.72} = 17,07 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{ICR}=81.21 * 19,60^{-0.78} = 9,532 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Rostami' nin önerdiği formüle göre;

$$V_{ph} = \frac{HP \cdot \eta}{SE}$$

Burada,

HP : Kesici kafa gücü (kW veya HP)

η : Toplam sistem verimliliği (kollu kazıcılar için genelde 0.45 - 0.55 alınır) 0,45

V_{ph} : Üretim miktarı (m^3 / h)

SE : Spesifik enerji (kWh/m^3)

Değerler formüllerde yerine yazılırsa;

$$V_{ph} = \frac{200 \times 0,45}{0,77} = 116,88 \text{ m}^3 / \text{h (yardımlı)}$$

HP = 200 kW/h

N= 0,45

Çizelge 4.14. Performans tahmin işlemleri sonuçları

Proje Adı	Gehring	Thuro	Tumac	Balcı	Bilgin	
					RMCI	ICR
Nar 2	268,39	81,54	36,3	78,73	2,91	69,5
Sulusaray 2	115,28	65,33	21,18	47,7	6,15	63,82
Sulusaray 3	145,14	69,75	24,53	54,68	5,01	65,75
Aktaş 3	82,17	58,84	17,07	39,02	8,3	60,31
Aktaş 4	151,8	70,61	25,25	56,16	4,82	66,09
Kayhan 2	415,23	89,91	47,93	101,98	1,98	71,23
Çardak 2	191,79	75,1	29,3	64,51	3,92	67,68
Kavak 2	179,98	73,88	28,14	62,12	4,15	67,28

4.4.2 Kesici uç tüketimi tahmin modelleri

Kesici uç tüketimi mekanize kazıda önemli gider maliyetlerinden birisidir. Kesici uç tüketimi ile ilgili bazı tahmin modelleri vardır. Bu modeller Cerchar aşınma indeksine

dayanarak oluşturulmuştur. Aktaş 3 numunesi için uygulanan tahmin modelleri aşağıda verilmiştir.

Johnson ve Fowell Modeli;

$$CC = 0.125CAI - 0.07 \quad (4.9)$$

CC: kesici uç tüketimi (keski/m³)

CAI: Cerchar aşınma indeksi

Değerleri formülde yerine yazarsak;

$$CC = 0,125 * 1,22 - 0,07 = 0,0825 \text{ keski/m}^3$$

Özdemir Modeli;

$$CCI = K_1 \cdot K_2 \cdot (CAI / 4) \quad (4.10)$$

CCI: Kesici uç tüketim indeksi (keski/m³)

CAI: Cerchar aşınma indeksi

K₁: kesici uç katsayısı (kesici uç dönme hızına bağlı olarak 1- 1.2 arasında değişen katsayı)

K₂: Su kullanım katsayısı (0,85 ile 1 arasında değişir)

Değerleri formülde yerine yazarsak;

$$CCI = 1 * 1 * (1,22 / 4) = 0,305 \text{ keski/m}^3$$

Çopur ve diğ. Modeli;

$$BCR = 897.06 (CCI)^2 + 6.1769(CCI) \quad (4.11)$$

$$CCI = UCS / (P.W.CHD) \quad (4.12)$$

BCR: Uç tüketim oranı (keski/m³)

CCI: Kesici uç tüketim indeksi (MPa/(kW × tons × m)),

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

CHD: Kesici kafa çapı (m)

W: Ağırlık (ton)

Değerleri formülde yerine yazarsak,;

$$CCI = 13,17 / (200*75*1,3) = 0,007$$

$$BCR = 897,06 * (0,007)^2 + 6,1769 * (0,007) = 0,0046 \text{ keski/m}^3$$



BÖLÜM V

BULGULAR VE TARTIŞMA

Proje kapsamında yapılan arazi çalışmaları ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek KOY proje kazılarında kullanılan KGAM' ların kazı performansları üzerinde etkili parametrelerin belirlenmesi ve kazı performanslarının artırılabilmesi için yapılabilecekler belirlenmiştir. Laboratuvar ve arazi çalışmalarından elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilirken basit regresyon yöntemi kullanılmıştır. Proje öneri aşamasında Gene-X Pro Tools programının kullanılması hedeflenmiştir. Ancak sonuçlar değerlendirilirken ilgili programın demosu kullanılarak modellemeler yapılmaya çalışılmış ancak beklenen sonuçlar elde edilememiştir. Bundan dolayı proje kapsamında ilgili program alınmamış ve istatistiksel analizlerde kullanılmamıştır. Bu kapsamda sonuçların değerlendirmesi 2 ana başlık altında yapılmıştır.

5.1 KGAM Kazı Performansının Değerlendirilmesi

5.1.1 KGAM arazi anlık kazı hızının önceki modeller ile karşılaştırılması

KOY projelerinin kazısı tünel ve madencilik faaliyetlerine göre bazı farklılıklar içermektedir. Kapadokya bölgesindeki KOY kazıları genellikle çok fazla süreksizlik içermeyen, düşük dayanımlı ve kolay kazılabilen tüflerde yapılmaktadır. Ayrıca KOY kazıları sırasında drenaj probleminden dolayı kazı esnasında su kullanılmamakta ve kazı sonrasında tahkimat işlemi yapılmamaktadır.

Araştırmacılar tarafından daha önce geliştirilen ve Bölüm 2.7' de belirtilen performans tahmin modelleri ise tünel ve maden kazılarında kullanılan KGAM net kazı hızının tahmini için geliştirilmişlerdir. Bu bölümde daha önce geliştirilen bu modellerin KOY kazı proje sahalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda 8 farklı KOY proje sahası için kazılan formasyonların laboratuvar deney sonuçları kullanılarak Bölüm 2.7' de verilen modellere göre KGAM kazı performansları teorik olarak hesaplanmıştır. Teorik hesaplamalar KOY kazılarında kullanılan 75 ton ağırlığa ve 200 kW kesici kafa gücüne sahip eksenel tip KGAM için yapılmıştır. Ayrıca hesaplamalarda 8 farklı KOY

proje sahasının tamamının çok fazla süreksizlik içermemesine rağmen kazılan formasyonun çok düşük dayanıma sahip olmasından dolayı tüm proje sahaları için RQD değeri 50 olarak alınmıştır.

Bölgede daha önce yapılan çalışmalarda alınan bu RQD değerinin doğruluğunu desteklemektedir (Sarı ve Çömlekçiler, 2007; Aydan ve Ulusay, 2018). Teorik modeller kullanılarak yapılan hesaplamalardan elde edilen değerler Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Hesaplanan bu değerler KGAM arazi performans değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1. Önceki modeller kullanılarak teorik olarak hesaplanan KGAM anlık kazı hızı değerleri ve arazi verileriyle karşılaştırılması

Proje adı	Arazi Anlık Kazı hızı, (m ³ /saat)	Teorik KGAM anlık kazı hızları, (m ³ /saat)						
		Gehring, (1989)	Bilgin vd. (1990)	Thuro ve Plinninger, (1999)	Balcı vd. (2004)	Tumaç vd. (2007)	Rostami vd. (1994)	
							Kama	Konik
Kavak - 2	46,28	179,98	67,28	73,88	62,12	28,14	100,30	142,86
Çardak - 2	44,80	191,79	67,68	75,10	64,51	29,30	96,31	175,61
Aktaş - 3	41,94	82,17	60,31	58,84	39,02	17,07	81,30	129,50
Aktaş - 4	45,40	151,80	66,09	70,61	56,16	25,25	91,60	144,00
Sulusaray2	44,15	115,28	63,82	65,33	47,70	21,18	80,43	114,47
Sulusaray3	44,23	145,14	65,75	69,75	54,68	24,53	88,24	149,38
Nar - 2	50,04	268,39	69,50	81,54	78,73	36,30	98,52	147,54
Kayhan - 2	51,23	415,23	71,23	89,91	101,98	47,93	98,85	141,64

Çizelge 5.1’ de görüldüğü gibi Gehring (1989) tarafından önerilen modelden elde edilen sonuçlarda arazi verilerinden oldukça farklıdır. Tumaç vd. (2007) tarafından geliştirilen modelden elde edilen değerlerin de arazi verilerinden daha düşük değerler verdiği görülmüştür. Buna karşın Thuro ve Plinninger (1999) ve Bilgin vd. (1990) tarafından önerilen modellerden elde edilen değerlerin ise arazi verilerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Balcı vd. (2004) tarafından önerilen modelden elde edilen değerlerin özellikle bazı KOY kazı projelerinde arazi verilerine yakın olduğu görülmüştür. Bununla birlikte Ebrahimabadi vd. (2011) ve Kahraman ve Kahraman (2016) tarafından önerilen

modellerin KOY kazıları için hiç uygun olmadığı yapılan hesaplamalar sonucunda belirlendiğinden dolayı Çizelge 5.1' de bu değerler eklenmemiştir.

Genel olarak kayaçların fiziksel – mekanik ve kaya kütle özellikleri kullanılarak tünel ve maden kazıları için geliştirilen önceki modellerin KOY kazı projelerinde KGAM performans tahmini için kullanılmayacağı söylenebilir. Kaya kesme deney sonuçları kullanılarak yapılan performans tahminlerinde ise Rostami vd. (1994) tarafından önerilen model kullanılmıştır. Bu model kullanılırken hem 5 mm kesme derinliğinde kama uçlu keski kullanılarak elde edilen spesifik enerji değerleri hem de konik uçlu keski için yardımcı kaya kesme deneylerinde elde edilen optimum spesifik enerji değerleri için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır.

Rostami vd. (1994) tarafından önerilen modelde yer alan enerji transfer katsayısı (k) değeri hesaplamalarda 0,5 olarak alınmıştır. Ayrıca ilgili model tam boyutlu kaya kesme deney setinden (FLCM) konik uçlu keski için elde edilen sonuçlar kullanılarak geliştirilmiştir. Buna karşılık bu çalışmada elde edilen kaya kesme deney sonuçları küçük boyutlu setinden ve kama uçlu keski kullanılarak elde edilmiş olduğundan deney sonuçları Balcı ve Bilgin (2007) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak FLCM için normalize edilmiştir.

Benzer işlem Çomaklı vd. (2004) tarafından yapılan çalışmada da yapılmıştır. Bu işlemden sonra elde edilen kama uçlu keski için yapılan hesaplamalarda normalize edilen yeni değerler kullanılmış olup konik uçlu keski için optimum spesifik enerji değeri kullanılmıştır. Spesifik enerji değerleri kullanılarak elde edilen performans değerleri Çizelge 5.1' de ayrı ayrı verilmiştir.

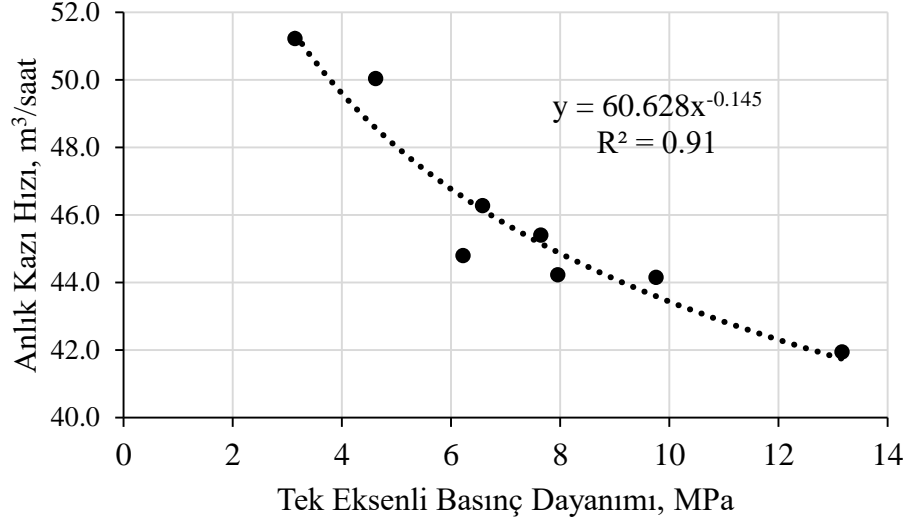
İlgili Çizelgede görüldüğü gibi hem kama uçlu keski hem de konik uçlu keski kullanılarak yapılan deney sonuçlarından elde edilen teorik değerler arazi performans değerlerinden farklı değerler vermiştir. Mekanize kazıcıların kazı hızlarının tahmininde yaygın olarak kullanılan spesifik enerji değeri kullanılarak yapılan teorik hesaplamaların KOY kazıları için arazi performans değerlerinde oldukça farklı sonuç vermiş olması KOY kazılarında KGAM kullanımının uygun şekilde yapılmadığı sonucunu göstermektedir.

5.1.2 KOY kazıları için KGAM performans tahmin modellerinin geliştirilmesi

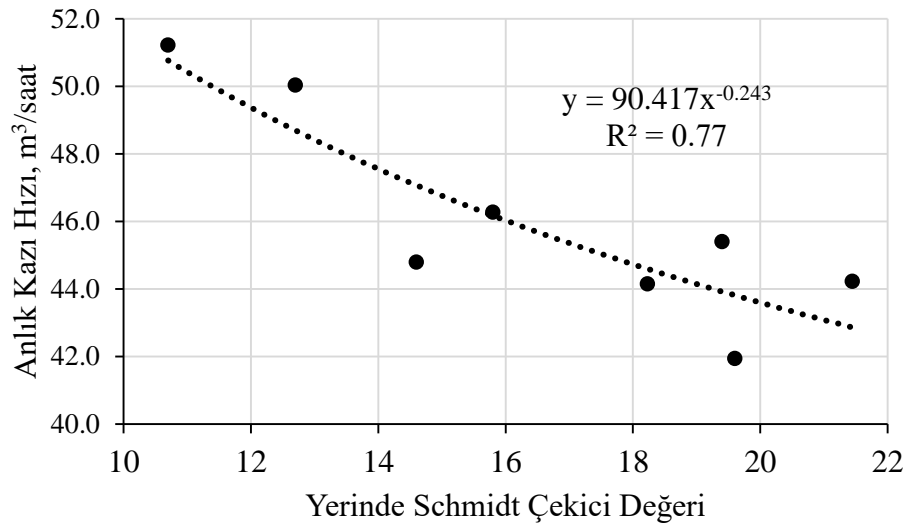
Bu bölümde 8 farklı KOY projesi kapsamında kazılan formasyonların öncelikle fiziksel – mekanik özelliklerine bağlı olarak KGAM kazı performans tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller ile basit deneysel çalışmalar ile belirlenecek formasyon özelliklerine bağlı olarak KOY kazılarında KGAM anlık kazı hızının tahmin edilebilmesi hedeflenmiştir.

Laboratuvar deneylerinden elde edilen kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerine ait değerler KGAM arazi anlık kazı hızı değerleri ile ayrı ayrı basit regresyon analizi yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Şekil 5.1’de yapılan değerlendirmeler sonucunda en anlamlı ilişki anlık kazı hızı değeri ile tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasında elde edilmiştir. Bununla birlikte Şekil 5.2’de yerinde yapılan Schmidt sertlik deneylerinden elde edilen sonuçlar ile de KGAM anlık kazı hızı değerleri arasında anlamlı bir ilişki elde edilmiştir.

Genel olarak kayaçların Schmidt sertlik değeri ile tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasında anlamlı bir ilişki olması Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’ de elde edilen ilişkilerin benzer olmasını açıklayabilmektedir. Benzer şekilde Şekil 5.3’te görüldüğü gibi negatif üssel bir ilişki kayaçların dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı değerleri ile KGAM anlık kazı hızı değerleri arasında elde edilmiştir. Elde edilen ilişkilere ait eşitlikler Eşitlik 5.1 – 5.3’ te verilmiştir. Bu eşitlikler KOY kazı projelerinde KGAM anlık kazı hızının kolay bir şekilde tahmin edilebilmesinde kullanılabilir.



Şekil 5.1. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişki



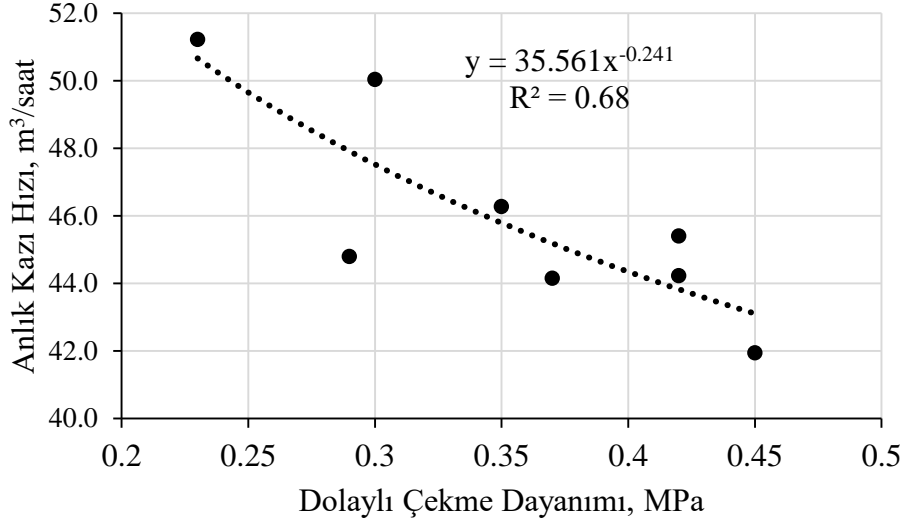
Şekil 5.2. KGAM anlık kazı hızı değeri ile formasyonun yerinde Schmidt sertlik değerleri arasındaki ilişki

$$ICR = 60.628x UCS^{-0.145} \quad (R^2 = 0,91) \quad (5.1)$$

$$ICR = 90.417x SHH_{Yerinde}^{-0.243} \quad (R^2 = 0,77) \quad (5.2)$$

$$ICR = 35.561x BTS^{-0.241} \quad (R^2 = 0,77) \quad (5.3)$$

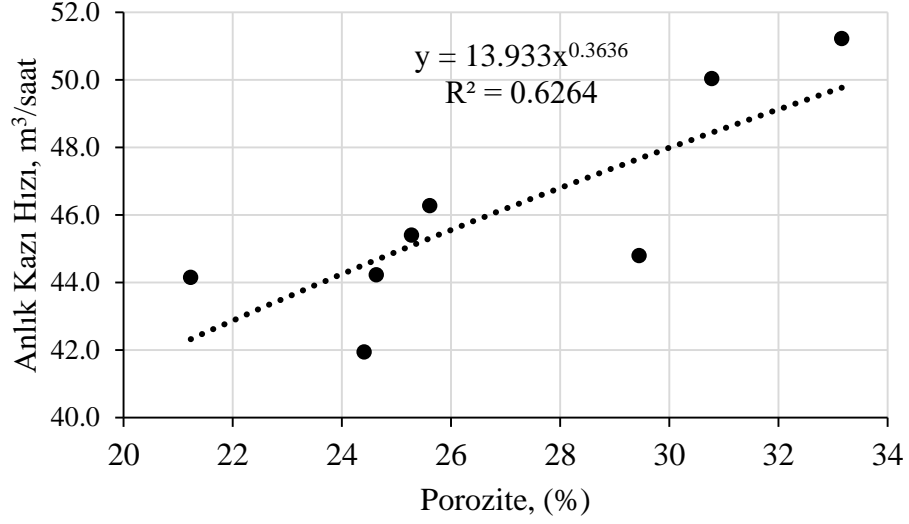
KGAM' lar için geliştirilen önceki modellere bakıldığında kayaçların dayanım özellikleri ile KGAM anlık kazı hızı değerlerinin bu projede elde edilen ilişkilere benzer olduğu görülmektedir (Balcı vd. 2004; Tumaç vd. 2007; Ocak ve Bilgin, 2010).



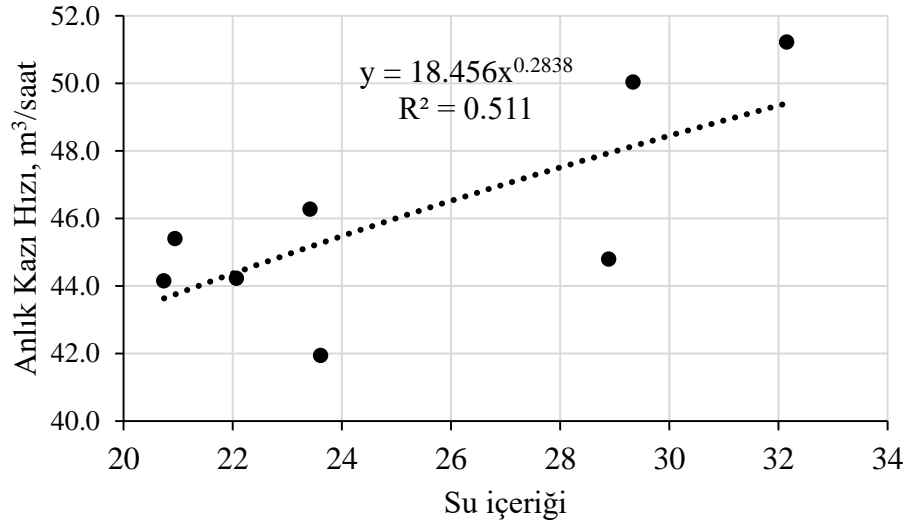
Şekil 5.3. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişki

Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinden olan su içeriği ve porozite ile KGAM anlık kazı hızı değerleri arasında çok anlamlı olmamakla birlikte bir ilişki bulunmuştur. Şekil 5.4' te su içeriği ve Şekil 5.5' te porozite ile KGAM anlık kazı hızı değerleri arasındaki ilişki verilmiştir. Bununla birlikte porozite ve su içeriği arttıkça anlık kazı da artmaktadır. Elde edilen ilişkilere ait eşitlikler Eşitlik 5.4 – 5.5' te verilmiştir.

Ancak önceki modeller genellikle tünel ve maden kazıları için geliştirildiğinden KOY proje kazılarına uygun olmadıkları Bölüm 5.1.1' de belirlenmiştir. Kapadokya bölgesindeki KOY kazılarında kazılan formasyonlar düşük dayanımlı tüfler olduğu için ve KGAM kullanımında tünel ve maden projelerinden farklı uygulamalar olduğu için önceki modeller KOY projelerine uygun değildir. Ancak yine de önceki modellere benzer şekilde KOY kazılarında kayaçların dayanım özelliklerinin artmasıyla KGAM kazı hızının düştüğü görülmüştür. Bununla birlikte yoğunluk ve nokta yük dayanımı gibi kayaçların diğer fiziksel – mekanik özellikleri ile KGAM anlık kazı hızı değerleri arasında anlamlı ilişki elde edilememiştir.



Şekil 5.4. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kayaların porozite değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.5. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kayaların su içeriği değerleri arasındaki ilişki

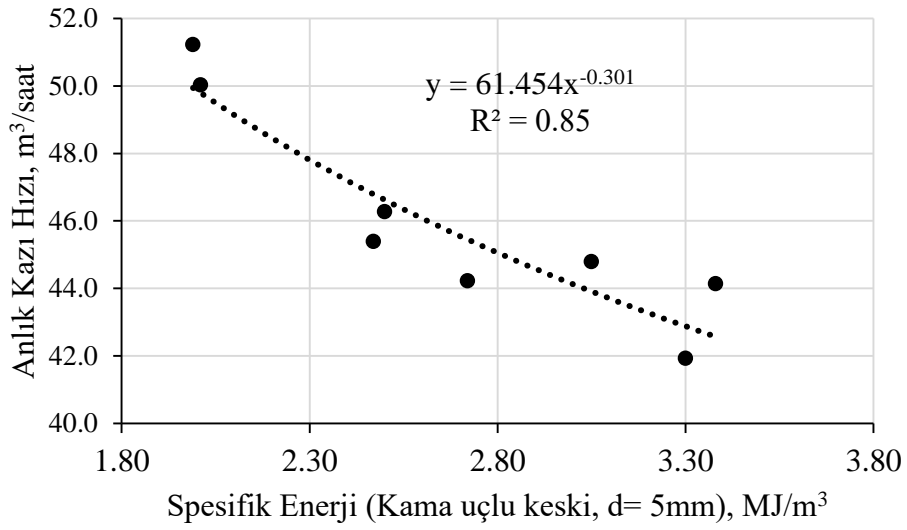
$$ICR = 13.933x n^{-0.3636} \quad (R^2 = 0,63) \quad (5.4)$$

$$ICR = 18.456x \omega^{-0.2838} \quad (R^2 = 0,51) \quad (5.5)$$

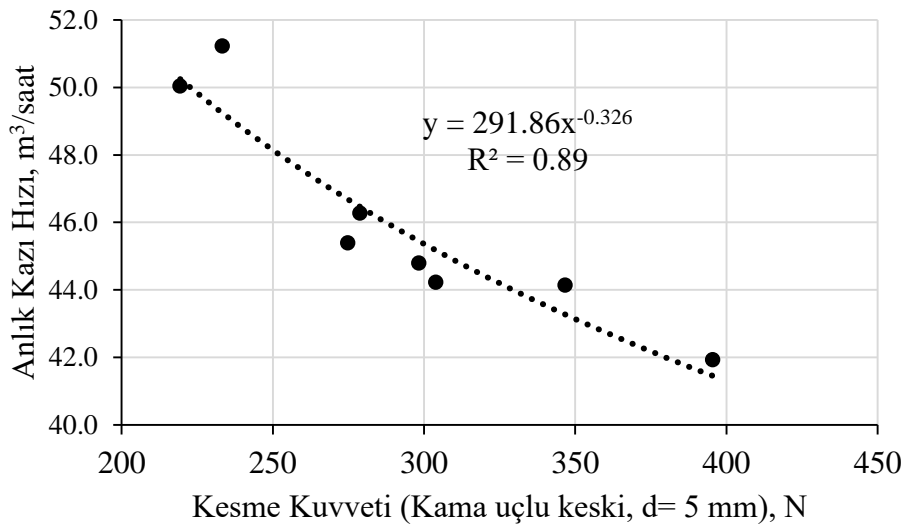
Bir sonraki aşamada KGAM kazı hızı değeri ile kaya kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiler basit regresyon analizi yöntemi ile araştırılmıştır. Kama ve konik uçlu keski için ayrı ayrı değerlendirmeler yapılmış olup her iki keski için

kesme kuvvetleri ve spesifik enerji değerleri KGAM anlık kazı hızı değerleri ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’te görüldüğü üzere kama uçlu keski için 5 mm kesme derinliğinde elde edilen kesme kuvveti ve spesifik enerji değerleri ile anlık kazı hızı değerleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Elde edilen ilişkilere ait eşitlikler Eşitlik 4.4 – 4.5’ te verilmiş olup artan spesifik enerji ve kesme kuvveti değerleri ile KGAM anlık kazı hızı değerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.6. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kama uçlu keski için spesifik enerji değeri arasındaki ilişki



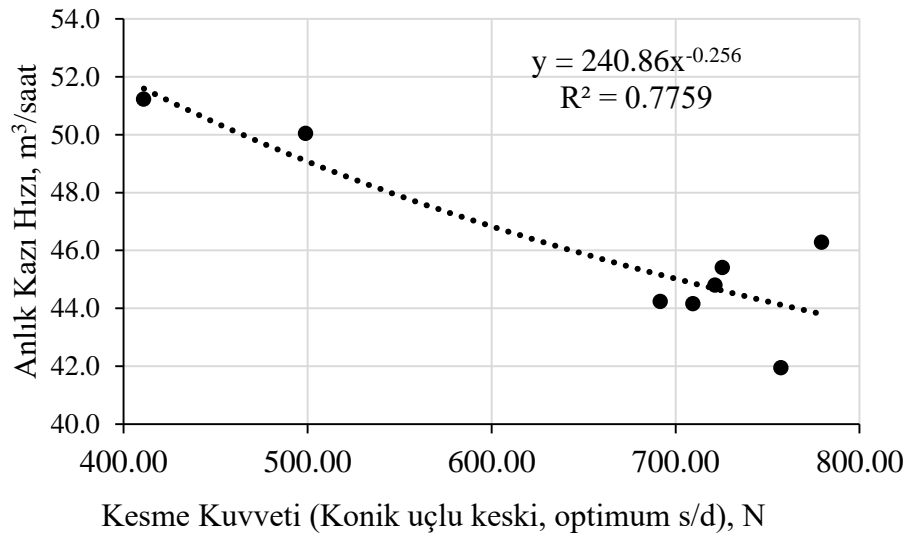
Şekil 5.7. KGAM anlık kazı hızı değeri ile kama uçlu keski için kesme kuvveti arasındaki ilişki

$$ICR = 61.454x SE_{Kama(5mm)}^{-0.301} \quad (R^2 = 0,85) \quad (5.4)$$

$$ICR = 291.86x FC_{Kama(5mm)}^{-0.326} \quad (R^2 = 0,89) \quad (5.5)$$

Konik uçlu keski için ise 6, 9 ve 12 mm kesme derinliklerinde yapılan yardımcı ve yardımcı olmayan tüm kaya kesme deneyleri için kesme kuvveti ve spesifik enerji değerleri ile KGAM anlık kazı hızları arasındaki ilişkiler sırasıyla analiz edilmiştir. Yapılan bu istatistiksel analizler sonucunda sadece yardımcı deneyler sonucunda optimum keski arası mesafe (s) / kesme derinliği değerlerinde elde edilen kesme kuvvetleri ile KGAM anlık kazı hızı değerleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu ilişkiyi gösteren grafik Şekil 5.8’ de verilmiştir. İlgili ilişkiye ait eşitlik ise Eşitlik – 5.6’ te verilmiştir. Bunun haricinde diğer kesme derinlikleri için herhangi bir anlamlı ilişki elde edilememiştir.

$$ICR = 240.86x FC_{Konik(Opt.s/d)}^{-0.256} \quad (R^2 = 0,78) \quad (5.6)$$



Şekil 5.8. KGAM anlık kazı hızı değeri ile konik uçlu keski için optimum s/d değerinde elde edilen kesme kuvveti arasındaki ilişki

5.1.3 KGAM arazi kesici uç tüketiminin önceki modeller ile karşılaştırılması

Bu bölümde de yine madencilik ve tünel projeleri için geliştirilen önceki KGAM kesici uç tüketimi tahmin modelleri kullanılarak KOY kazıları için kesici uç tüketimi teorik olarak hesaplanmış ve arazi verileriyle karşılaştırılmıştır. Burada amaç önceki

modellerin KOY kazılarında çalışan KGAM' ların kesici uç tüketim değerlerinin tahminin de kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

Bu kapsamda Bölüm 2.8' de verilen 3 farklı teorik model kullanılarak 8 farklı KOY kazı projesi için KGAM kesici uç tüketim değerleri hesaplanmış ve arazi değerleri ile Çizelge karşılaştırılmıştır. Çizelge 5.2' de görüldüğü gibi Özdemir (1998) ve Çopur vd. (1997) tarafından önerilen modellerden elde edilen sonuçlar arazi verilerinden oldukça farklıdır. Bununla birlikte Johnson ve Fowell (1986) tarafından önerilen modelden elde edilen değerlerin arazi verilerine nispeten daha yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Ancak yine de geliştirilen önceki modellerin KOY kazı projelerinde KGAM kesici uç tüketim değerinin tahmininde çok doğru sonuçlar vermeyeceği görülmüştür.

Bunun öncelikle Kapadokya bölgesindeki KOY projelerinde kazılan formasyonların özelliklerinden kaynaklandığı düşünülebilir. Bunun yanında ise KOY kazılarında kullanılan KGAM' ların bu projeler için özel olarak tasarlanmamış olması ve buna bağlı olarak kullanılan kesici uçların da doğru seçilmemiş olması kesici uç tüketiminin geliştirilen önceki modeller kullanılarak tahmin edilmesini zorlaştırmaktadır.

Çizelge 5.2. Önceki modeller kullanılarak teorik olarak hesaplanan KGAM kesici uç tüketim değerleri ve arazi verileriyle karşılaştırılması

Proje Adı	Arazi	Teorik kesici uç tüketim değerleri (adet/m ³)		
		Johnson ve Fowell, 1986	Özdemir, 1998	Çopur vd., 1997
Kavak - 2	0,063	0,090	0,320	0,002
Çardak - 2	0,072	0,010	0,340	0,002
Aktaş - 3	0,060	0,083	0,305	0,005
Aktaş - 4	0,052	0,091	0,323	0,003
Sulusaray2	0,046	0,079	0,298	0,003
Sulusaray3	0,047	0,078	0,295	0,003
Nar - 2	0,062	0,098	0,335	0,001
Kayhan - 2	0,085	0,100	0,340	0,001

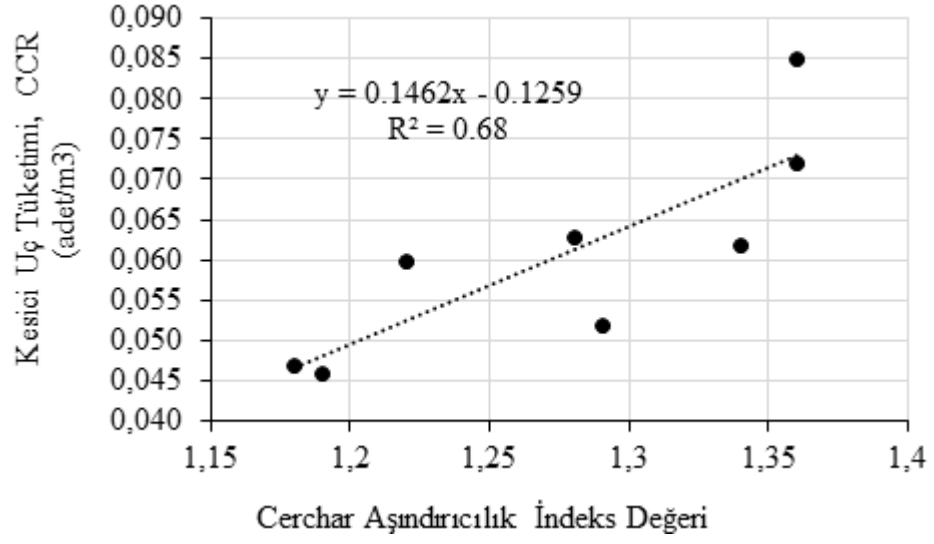
5.1.4 KOY kazılarında kayaç özelliklerinin KGAM kesici uç tüketime etkisinin araştırılması

5.1.4.1 KOY kazıları için KGAM kesici uç tüketim oranı tahmin modeli geliştirilmesi

Bu bölümde KOY kazılarında kazılan formasyonun aşındırıcılık özelliklerine bağlı olarak yeni bir KGAM kesici uç tüketim modeli geliştirilmiştir. Kayaçların aşındırıcılık özellikleri yapılan Cerchar aşındırıcılık indeks deneyleri yardımıyla belirlenmiştir ve belirlenen bu değerler ile KGAM arazi kesici uç tüketim değerleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Basit regresyon analizi yöntemi kullanılarak yapılan işlem sonucunda Şekil 5.9' deki grafik elde edilmiştir. İlgili grafikte kazılan formasyonun artan Cerchar aşındırıcılık indeks değerine bağlı olarak kesici uç tüketiminin de arttığı görülmektedir. Grafikten elde edilen ilişkiye ait eşitlik Eşitlik – 5.7' de verilmiştir. İlgili grafikte görüldüğü gibi kayaçların Cerchar aşındırıcılık indeks değerleri ile KGAM kesici uç tüketimi değerleri arasında çok doğrusal bir ilişki vardır ancak korelasyon katsayısı değeri (R^2) çok yüksek değildir. Bunun genel olarak KOY kazılarında KGAM kullanımının kazılan formasyona uygun olarak yapılmamasından kaynaklandığı söylenebilir.

Şöyle ki, KOY kazılarının yapıldığı formasyonlar düşük dayanımlı tüfler olduğu için kazı işlemi çok fazla kesme derinliğinde yapılmaktadır. Kesme derinliğinin artırılması ile kazı işlemi sırasında konik keski ucundaki tungsten-karbür malzeme ile birlikte kesici ucun gövdesi de kayaç ile temas etmekte ve kesici uçların gövdesinden aşınmasına sebep olmaktadır. Gövdesinden aşınan kesici uçlar yenisiyle değiştirilmeyip aşınan kısımları özel bir malzeme ile ısıl işlem ile birlikte kaynak yapılarak doldurulmaktadır. Bu doldurma işleminde ise kesici uçların kesme açısı ve uç açısı gibi tasarım parametreleri değişmekte ve bu durumda aşınmayı artırmaktadır.



Şekil 5.9. KOY kazıları için KGAM kesici uç tüketimi değeri ile Cerchar aşındırıcılık indeks değeri arasındaki ilişki

$$CCR = 0.1462x \text{ CAI} - 0.1259 \quad (R^2 = 0,68) \quad (5.7)$$

BÖLÜM VI

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Kapadokya bölgesinde bulunan ve soğuk hava deposu olarak tasarımılandırılan 8 farklı kayadan oyma yapı (KOY) proje sahasında aynı teknik özelliklere sahip iki farklı kollu galeri açma makinesinin (KGAM) arazi kazı performans parametreleri belirli süreler için kaydedilmiş ve hesaplanmıştır. Bununla birlikte proje sahalarından alınan blok numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılarak kazılan formasyonların fiziksel – mekanik ve kaya kesme özellikleri belirlenmiştir. Kayaçların mineralojik içerikleri de incelenerek kayaçların dokusal özelliklerinin sayısal olarak tanımlanması için doku katsayısı yaklaşımı kullanılmıştır. Tüm bu işlemler sonunda elde edilen veriler kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiş ve bu analiz sonuçları ile yerinde yapılan çalışmaların neticesinde bu proje kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Kapadokya bölgesindeki KOY kazıları genel olarak çok fazla süreksizlik içermeyen, homojen yapılı ve düşük dayanımlı piroklastik kayaçalarda (tüf) yapılmaktadır. Bu durumda KOY kazılarda KGAM kullanımının tünel ve madencilik kazılarından farklılık göstermesine sebep olmaktadır. Proje kapsamında hem bu farklılığın gösterilmesi ve hem de tünel ve maden kazıları için geliştirilen önceki modellerin KOY kazıları için uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla 8 farklı KOY kazısı için KGAM anlık kazı hızı değeri farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen 6 farklı performans tahmin modeli kullanılarak teorik olarak hesaplanmış ve bu değerler KGAM arazi anlık kazı hızı değeri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar neticesinde arazi performans değerlerinin genel olarak önceki modellerden elde edilen teorik değerlerden düşük değerlerde olduğu görülmüştür. KOY kazılarının yapıldığı formasyon özelliklerinin ve kazı sonrası tahkimat işlemlerinin yapılmaması durumları göz önüne alındığında bu durumun beklentinin aksine olduğu görülmüştür. Bu durumun genel olarak sebepleri ve uygulanabilecek çözüm önerileri bu proje kapsamında elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- KOY kazılarının yapıldığı KGAM' lar madencilik ve tünel projeleri için tasarlanmış ve daha önce bu projelerde kullanılmış makinelerdir. Bu makinelerin farklı formasyonlar için tasarlanması KOY kazılarında verimsiz kazı yapılmasına sebep olmaktadır. Örneğin kullanılan KGAM' ların kesici kafa gücü ve ağırlıkları düşük dayanımlı tüflerin kazıları için hiç uygun değildir. Bununla birlikte KGAM' ların kesici kafaları KOY projelerinin kazısı için tasarlanmadığından gereksiz kazı yapıldığı ve bunun da fazladan enerji sarfiyatına ve düşük ilerleme hızına sebep olduğu görülmüştür. Örnek olarak bu proje kapsamında yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda keskiiler arası mesafe / kesme derinliği oranının KOY kazılarında kullanılan KGAM' lar için çok farklı olduğu görülmüştür. Düşük dayanımlı tüflerin kazısı için yapılacak KGAM tasarımı ile kazı performansının artacağı kesindir.
- KGAM tasarımı kadar kesici uç seçimi de kazı performansı için önemlidir. KOY kazılarında kazılan düşük dayanımlı tüflerin kazısında konik uçlu keskiiler kullanılmaktadır. KGAM' ların KOY projeleri için uygun tasarlanmamış olmasından dolayı kazı işlemi sırasında konik uçlar formasyona çok fazla gömülmekte ve gövde kısmından aşınmaktadır. Aşınma sonrası yapılan kaynak işlemleriyle uçların temizleme açısı kesme açısı gibi taraşım parametreleri değiştirilmekte bu durumda kazı hızını olumsuz etkilemektedir. Bu doğrultuda KOY kazıları için daha doğru keskiiler seçilmesi ve keskiilerin yapısı/tasarımı değiştirilmeden yapılacak kazı ile birlikte kazı hızının artması sağlanabilecektir.
- KOY kazılarında kazı hızını olumsuz etkileyen önemli parametrelerden birisi de özellikle kazı sonrasında soğuk hava depolarının köşeleri veya kenarlarının daha düzgün olabilmesi için yapılan düzeltme kazılarına ve koordinat belirlemek için yapılan arazi ölçümlerine ayrılan sürelerin oldukça fazla olmasıdır. Çizelge 3.2' ye bakıldığında bu sürenin ortalama 3.5 – 4 saat sürdüğü görülmektedir. Bu sürelerin kısaltılması kazı hızını artıracaktır.

2. Tamamlanan bu proje kapsamında hali hazırda sürdürülen kazı şekline göre KOY kazılarında KGAM anlık kazı hızının tahmin edilebilmesi için yeni performans tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller kazılan formasyonların tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve yerinde Schmidt sertlik değerlerine bağlı olarak elde edilmiş olup ilgili modellere ait eşitlikler aşağıda sırasıyla verilmiştir. Geliştirilen bu modeller Kapadokya bölgesindeki KOY kazıları için basit laboratuvar deneyleri yardımıyla KGAM kazı hızının tahmin edilebilmesine olanak sağlayacaktır.

$$ICR = 60.28x UCS^{-0.145} \quad (R^2 = 0,91) \quad (6.1)$$

$$ICR = 35.561x BTS^{-0.241} \quad (R^2 = 0,77) \quad (6.2)$$

$$ICR = 90.417x SHH_{Yerinde}^{-0.243} \quad (R^2 = 0,77) \quad (6.3)$$

3. Benzer şekilde kaya kesme deneylerinden elde edilen kesme kuvveti ve spesifik enerji değerlerine bağlı olarak KGAM anlık kazı hızı değerinin tahmini için yeni modeller geliştirilmiştir. Kaya kesme deneyleri kama ve konik uçlu keskiçiler için ayrı ayrı yapılmıştır. Kama uçlu keskiçiler ile 5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerden elde edilen spesifik enerji ve kesme kuvveti değerleri ile KGAM arazi kazı hızı değerleri arasında aşağıdaki eşitlikler bulunmuştur.

$$ICR = 61.454x SE_{Kama(5mm)}^{-0.301} \quad (R^2 = 0,85) \quad (6.4)$$

$$ICR = 291.86x FC_{Kama(5mm)}^{-0.326} \quad (R^2 = 0,89) \quad (6.5)$$

Konik uçlu keskiçiler için 6, 9, 12 mm kesme derinliğinde yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yardımcı olmayan kaya kesme deneylerinde keskiçiler arası mesafe 20 mm olarak ayarlanmıştır ve deneyler sonunda optimum keskiçiler arası mesafe / kesme derinliği oranı belirlenmiştir. Tüm kesme derinlikleri ve optimum s/d oranları için elde edilen kesme kuvveti ve spesifik enerji değerleri yine KGAM arazi anlık kazı hızı değerleri ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ancak sadece optimum s/d değerlerinde elde edilen spesifik enerji

değeri ile kazı hızı arasında anlamlı bir ilişki elde edilmiş ve bu ilişkiye ait eşitlikte aşağıda verilmiştir.

$$ICR= 240.86x FC_{Konik(Opt.s/d)}^{-0.256} \quad (R^2 = 0,78) \quad (6.6)$$

4. KGAM kullanımından önce proje aşamasında doğru maliyet hesaplaması için önceden tahmin edilmesi gereken önemli bir parametrede kesici uç tüketim oranıdır. Bu kapsamda tamamlanan bu proje kapsamında 8 farklı KOY projesi için KGAM kesici uç tüketim değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler öncelikle daha önce geliştirilmiş KGAM kesici uç tüketim oranı tahmin modelleri kullanılarak hesaplanan teorik değerler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma ile önceki modellerin KOY kazısı projeleri için uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda önceki modellerin KOY kazıları için genel olarak uygun olmadığı ancak arazi değerlerine en yakın sonuçların Johnson ve Fowell (1986) tarafından önerilen modelden elde edildiği görülmüştür.
5. KOY proje sahalarından alınan numuneler üzerinde yapılan Cerchar aşınma indeks (CAI) deneylerine bağlı olarak KOY kazıları için KGAM kesici uç tüketim tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modele ait eşitlik aşağıda verilmiştir. Kapadokya bölgesindeki KOY kazılarında kazılan malzemelerin kesici uç ve tutucu (holder) arasına girmesi ve artan nem/su içeriği ile birlikte kazılan malzemelerin kesicilere yapışması/sıvanması sonucunda kesicilerin bloke olduğu ve serbest dönemediği gözlemlenmiştir. Bu sebeplerden dolayı arazi kesici uç tüketim değerleri (CCR) ile kayaçların Cerchar aşındırıcılık indeks değerleri arasında yüksek korelasyon katsayısına (R^2) sahip bir ilişki bulunamamıştır. Ancak yine de geliştirilen bu modelin kullanımının KOY projeleri için daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

$$CCR= 0.1462x CAI- 0.1259 \quad (R^2 = 0,68) \quad (6.7)$$

6. Proje kapsamında yapılan çalışmalardan birisi de KOY kazıları kapsamında kazılan kayaçların dokusal özelliklerinin kesici uç tüketimine etkisinin araştırılması olmuştur. Bu kapsamda doku katsayısı (TC) yaklaşımı kullanılmış ve kayaçlardan elde edilen ince kesit görüntüleri üzerinden doku katsayısı değeri

hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler ile birlikte incelenen minerallerin toplam alanının /toplam ince kesit görüntüsü alanına oranı şeklinde tanımlanan mineral tane oranı (AW) değerleri KGAM arazi kesici uç tüketim oranı değerleri ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca kayaçların aşındırıcılıkları ile dokusal özellikleri arasındaki ilişkiyi laboratuvar ortamında anlamak için de Cerchar aşınma indeks değerleri ile TC ve AW arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda özellikle AW ile hem CCR hem de CAI arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. TC değeri ile CAI değeri arasında elde edilen ilişkinin ise TC ile CCR arasında elde edilen ilişkidən daha anlamlı sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi de yine arazi şartlarında kazılan formasyonun kesicilerin serbest dönüşünü engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen ilişkilere ait eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\text{CCR} = 0.0394x \text{ TC} - 0.0008 \quad (R^2 = 0,54) \quad (6.8)$$

$$\text{CAI} = 0.2494x \text{ TC} + 0.8876 \quad (R^2 = 0,68) \quad (6.9)$$

$$\text{CCR} = 0.1374x \text{ AW} - 0.019 \quad (R^2 = 0,82) \quad (6.10)$$

$$\text{CAI} = 0.7721x \text{ AW} + 0.8287 \quad (R^2 = 0,82) \quad (6.11)$$

Sonuç olarak tamamlanan bu proje kapsamında sürdürülen laboratuvar ve arazi çalışmaları ile Kapadokya bölgesindeki KOY kazılarında etkili parametreler incelenmiştir. Genel olarak en önemli problemin KOY kazılarında formasyona uygun olmayan KGAM ve kesici kullanımı olduğu belirlenmiştir.

Bu sebeplerden dolayı da KOY kazılarında KGAM kazı performansları beklenilenden düşük ve kesici uç tüketim maliyetleri de oldukça fazladır. Yine de yapılan bu çalışma ile birlikte hali hazırda firmaların kullandıkları KGAM' lar için kazı hızının ve kesici uç tüketiminin tahmini için yeni modeller geliştirilmiştir. Ayrıca bu projede belirtilen önemli hususlar özellikle arazi çalışmaları kapsamında görüşülen firma yetkilileri ile de paylaşılmış olup onların da bu hususlara dikkatleri çekilmiştir. Yapılacak sonraki çalışmalar/projeler ile tespit edilen bu problemlerin firmalar ile birlikte aşılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Arı, H. “Kazılabilirlik tayininde aşınma ve aşınma indeksleri”, *Madencilik* 29 (4), 11-17, 1990.

ASTM, “Standard test method for determination of the point load strength index of rock”, *American Society for Testing and Materials*, D5731, 2005.

Aydan, Ö. and Ulusay, R., “Geotechnical and geoenvironmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia, Turkey”, *Engineering Geology* 69 (3-4), 245-272, 2003.

Balcı, C. and Bilgin, N., “Correlative study of linear small and full-scale rock cutting tests to select mechanized excavation machines”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 44, 468–476, 2007.

Balcı, C., Demircin, M.A., Çopur, H. and Tunçdemir, H., “Estimation of optimum specific energy based on rock properties for assessment of roadheader performance”, *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy* 104, 633–641, 2004.

Bilgin, N., Seyrek, T., Erding, E. and Shahriar, K., “Roadheaders glean valuable tips for Istanbul Metro”, *Tunnels and Tunnelling International* 22, 29–32, 1990.

Bilim, N. “Çayırhan yer altı kömür ocağında kazı makinelerinin performanslarının araştırılması ve kayaç özellikleri ile ilişkilendirilmesi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2007.

Çomaklı, R. “Niğde ve Kayseri yöresindeki metalik cevherlerin makine ile kazılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 2010.

Çopur, H., Rostami, J., Özdemir, L. and Bilgin, N., “Studies on performance prediction of roadheaders”, in: *Proceedings of the 4th International Symposium on Mine Mechanization and Automation. Brisbane, Queensland, Australia*, p. 4A1–4A7, 1997.

Çopur, H., Özdemir, L. and Rostami, J., “Roadheader applications in mining and tunneling”, *Mining Engineering*, 1998.

Deketh, H. J. R., “Wear of rock cutting tools; laboratory experiments on the abrasivity of rock”, *AA Balkema*, Rotterdam ISBN: 9054106204, 1995.

Ebrahimabadi, A., Goshtasbi, K., Shahriar, K. and Cheraghi Seifabad, M., “A model to predict the performance of roadheaders based on the Rock Mass Brittleness Index”, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 111, 355–364, 2011.

Fowell, R. J., Richardson, G. and Gollick M. J., “Prediction of boom tunnelling machine excavation rates”, in: *1st North American Rock Mechanics Symposium, Rock Mechanics, Models, and Measurement Challenges from Industry*. Austin, USA, p. 243–251, 1994.

Gehring, K. H., “A cutting comparison”, *Tunnels Tunnell*. 27–30, 1989.

Hekimoğlu, O. Z., Ayhan, M. and Tiryaki, B. “*An appraisal of mechanically rock and coal excavating machines employed in Turkey*”, 1998.

Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquarè, G., Radicati Di Brozolo, F. and Villari, L., “The Neogene calcalkaline volcanism of Central Anatolia: geochronological data on Kayseri—Nigde area”, *Geological Magazine* 112, 349, 1975.

ISRM, In: Ulusay, R., Hudson, J.A. (Eds.), “The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring”, 1974–2006. *Ankara*, Turkey, 2007.

Kahraman, E., “Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesinde Kollu Galeri Açma Makineleri İçin Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 2012.

Kahraman, E. and Kahraman, S., “The performance prediction of roadheaders from easy testing methods”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 75, 1585–1596, 2016.

Korkaç, M., Tuğrul, A., Savran, A. and Ozgur, F. Z., “Structural–geological problems in Gümüşler archeological site and monastery”, *Environ Earth Sci.* 73, 4525–4540, 2015.

Le Pennec, J. L., Bourdier, J. L., Froger, J. L., Temel, A., Camus, G. and Gourgaud, A., “Gourgaud Neogene ignimbrites of Nevehir Plateau (central Turkey): Stratigraphy, distribution and source constraints”, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 63, 59–87, 1994.

McFeat-Smith, I. and Fowell, R.J., “Correlation of rock properties and the cutting performance of tunnelling machines, in: Proceedings of a Conference on Rock Engineering”, *The University of Newcastle Upon Tyne*, England, pp. 581–602, 1977.

McFeat Smith, I. and Fowell, R. J., “The selection and application of roadheaders for rock tunnelling”, in: *Proceedings of the Rapid Excavation and Tunnelling Conference (RETC 1979)*. Atlanta, USA, pp. 261–279, 1979.

Mues-Schumacher, U. and Schumacher, R., “Problems of stratigraphic correlation and new K-Ar data for ignimbrites from Cappadocia”, *Central Turkey. Int Geol Rev* 38, 737–746, 1996.

Ocak, I. and Bilgin, N., “Comparative studies on the performance of a roadheader, impact hammer and drilling and blasting method in the excavation of metro station tunnels in Istanbul”, *Tunnelling and Underground Space Technology* 25, 181–187, 2010.

Özdemir, L., “Mechanical Tunneling, Raise Boring and Shaft Drilling”, Short Course. **Golden**, Colorado, 1998.

Rostami, J., Özdemir, L. and Neil, D. M., “Performance prediction: a key issue in mechanical hard rock mining”, **Min. Eng.** 1263–1267, 1994.

Shepherd, R. and Withers, A.G. “Mechanised Cutting and Loading of Coal”, **Othams Press Ltd.**, London, 1960.

Thuro, K. and Plinninger, R.J., “Roadheader excavation performance – geological and geotechnical influences”, **The 9th ISRM Congress, Theme 3: Rock Dynamics and Tectonophysics/Rock Cutting and Drilling**. Paris, p. 1241–1244, 1999.

Tumaç, D. “Değişik kayaç ve disk keskinlerin kayaç kazılabilirliği üzerine etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 2010.

Tumaç, D., Bilgin, N., Feridunoğlu, C. and Ergin, H., “Estimation of rock cuttability from shore hardness and compressive strength properties”, **Rock Mech Rock Eng.** 40, 477–490, 2007.

Tunçdemir, H. “Kollu galeri açma makinelerinin veya benzer makinelerin cevher kazısında kullanımının araştırılması”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 2002.

Tunçdemir, H., Çopur, H., Feridunoğlu, C. and Bilgin, N., “Possibility of using mechanical miners in underground chromite mines’ ore productions and two different examples”, **Proc. 18th Int. Mining Congr.**, pp. 135–141, 2003.

Toprak, V., Keller, J. and Schumacher, R., “Volcanotectonic features of the Cappadocian Volcanic Province”, **Volcanological Cong. Ankara**, Turkey., p. 58, 1994.

Yaşar, S. and Yılmaz, A.O., “A Novel Mobile Testing Equipment for Rock Cuttability Assessment: Vertical Rock Cutting Rig (VRCR)”, *Rock Mech Rock Eng*, 50, 857–869, 2017.

Yaşar, S. and Yılmaz, A.O., “Vertical rock cutting rig (VRCR) suggested for performance prediction of roadheaders”, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* 33 (3), 149-168, 2019.



EKLER

EK 1: KGAM Arazi Performans Değerleri

EK 1.1: Kavak - 2 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri.

Hafta	Proje adı	Tarih	Toplam Çalışma (saat)	Kazı (saat)	Düzeltilme Kazıları (saat)	Arazi Ölçüm (saat)	Makine Bakım Onarım (saat)	Yemek Araları (saat)	Kesici Uç Tüketimi (keski/gün)	Net Kazı Miktarı (m ³)	Makine kullanım oranı (%)	Günlük İlerleme (m)	Anlık Kazı Hızı (m ³ /saat)	Keski Tüketimi (keski/m ³)	
1	KAVAK-2	6.08.2018	14,00	6,50	1,80	1,80	1,85	2,05	18,60	298,35	46,43	8,29	45,90	0,062	
		7.08.2018	14,00	6,50	1,75	1,95	1,95	1,85	15,75	300,45	46,43	8,35	46,22	0,052	
		8.08.2018	14,00	6,50	1,90	1,70	1,95	1,95	1,95	17,60	335,45	46,43	9,32	51,61	0,052
		9.08.2018	14,00	6,75	2,10	1,90	2,00	1,25	17,85	285,66	48,21	7,94	42,32	0,062	
		10.08.2018	14,00	6,50	2,10	2,00	1,90	1,50	21,30	315,25	46,43	8,76	48,50	0,068	
		11.08.2018	14,00	6,50	1,95	2,20	1,70	1,65	21,50	310,2	46,43	8,62	47,72	0,069	
	Ortalama		14,00	6,54	1,93	1,93	1,89	1,71	18,77	307,56	46,73	8,54	47,05	0,061	
2	KAVAK-2	13.08.2018	14,00	6,50	2,20	2,00	1,85	1,45	18,00	285,5	46,43	7,93	43,92	0,063	
		14.08.2018	14,00	6,75	1,80	2,10	2,15	1,20	18,50	270,25	48,21	7,51	40,04	0,068	
		15.08.2018	14,00	6,45	1,70	1,95	1,80	2,10	21,00	310,5	46,07	8,63	48,14	0,068	
		16.08.2018	14,00	6,35	2,10	2,30	2,20	1,05	20,50	320,75	45,36	8,91	50,51	0,064	
		17.08.2018	14,00	6,55	1,90	2,40	1,75	1,40	16,20	292,35	46,79	8,12	44,63	0,055	
		18.08.2018	14,00	6,40	1,95	2,00	1,85	1,80	21,20	293,6	45,71	8,16	45,88	0,072	
	Ortalama		14,00	6,50	1,94	2,13	1,93	1,50	19,23	295,49	46,43	8,21	45,52	0,07	
Genel ortalama			14,00	6,52	1,94	2,03	1,91	1,60	19,00	301,53	46,58	8,38	46,28	0,063	
Standart Sapma				0,1145	0,1529	0,1909	0,1431	0,3338	1,9520	17,1015	0,8178	0,4750	3,1622	0,0063	

EK 1.2: Çardak – 2 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri

Hafta	Proje adı	Tarih	Toplam Çalışma (saat)	Kazı (saat)	Düzeltilme Kazıları (saat)	Arazi Ölçüm (saat)	Makine Bakım Onarım (saat)	Yemek Araları (saat)	Kesici Uç Tüketimi (keski/gün)	Net Kazı Miktarı (m ³)	Makine kullnım oranı (%)	Günlük İlerleme (m)	Anlık Kazı Hızı (m ³ /saat)	Keski Tüketimi (keski/m ³)
1	ÇARDAK-2	17.09.2018	14,00	6,50	1,85	2,00	1,80	1,85	19,50	240,55	46,43	6,68	37,01	0,081
		18.09.2018	14,00	6,75	1,75	2,10	1,65	1,75	20,40	223,65	48,21	6,21	33,13	0,091
		19.09.2018	14,00	6,40	1,95	2,15	1,75	1,75	19,00	220,65	45,71	6,13	34,48	0,086
		20.09.2018	14,00	6,55	1,90	2,00	1,90	1,65	20,00	325,4	46,79	9,04	49,68	0,061
		21.09.2018	14,00	6,35	2,00	1,95	1,75	1,95	21,20	230,55	45,36	6,40	36,31	0,092
		22.09.2018	14,00	6,70	1,95	2,05	1,70	1,60	20,50	250,65	47,86	6,96	37,41	0,082
	Ortalama			14,00	6,54	1,90	2,04	1,76	1,76	20,10	248,58	46,73	6,90	38,00
2	ÇARDAK-2	24.09.2018	14,00	6,50	2,00	1,95	1,60	1,95	19,50	355,65	46,43	9,88	54,72	0,055
		25.09.2018	14,00	6,45	1,95	2,05	1,85	1,70	22,00	325,98	46,07	9,06	50,54	0,067
		26.09.2018	14,00	6,70	2,00	1,85	1,70	1,75	21,50	335,55	47,86	9,32	50,08	0,064
		27.09.2018	14,00	6,50	1,85	2,10	1,70	1,85	19,00	315,7	46,43	8,77	48,57	0,060
		28.09.2018	14,00	6,25	1,90	2,00	1,90	1,95	20,80	325,25	44,64	9,03	52,04	0,064
		29.09.2018	14,00	6,35	2,00	2,00	1,85	1,80	21,40	340,85	45,36	9,47	53,68	0,063
	Ortalama			14,00	6,46	1,95	1,99	1,77	1,83	20,70	333,16	46,13	9,25	51,60
Genel Ortalama			14,00	6,50	1,93	2,02	1,76	1,80	20,40	290,87	46,43	8,08	44,80	0,072
Standart Sapma				0,1486	0,0750	0,0773	0,0938	0,1127	0,9695	50,1264	1,0615	1,3924	7,9505	0,0127

EK 1.3: Aktaş - 3 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri

Hafta	Proje adı	Tarih	Toplam Çalışma (saat)	Kazı (saat)	Düzeltilme Kazıları (saat)	Arazi Ölçüm (saat)	Makine Bakım Onarım (saat)	Yemek Araları (saat)	Kesici Uç Tüketimi (keski/gün)	Net Kazı Miktarı (m ³)	Makine kullanım oranı (%)	Günlük İlerleme (m)	Anlık Kazı Hızı (m ³ /saat)	Keski Tüketimi (keski/m ³)
1	AKTAŞ 3	1.10.2018	14,00	6,50	1,50	2,00	2,20	1,80	16,80	255,6	46,43	7,10	39,32	0,066
		2.10.2018	14,00	6,20	1,70	1,75	2,50	1,85	16,10	280,5	44,29	7,79	45,24	0,057
		3.10.2018	14,00	6,45	1,55	1,75	2,50	1,75	16,50	275,5	46,07	7,65	42,71	0,060
		4.10.2018	14,00	6,60	1,75	1,85	2,00	1,80	16,40	250,1	47,14	6,95	37,89	0,066
		5.10.2018	14,00	6,70	1,60	2,00	1,95	1,75	17,00	251	47,86	6,97	37,46	0,068
		6.10.2018	14,00	6,75	1,50	1,70	2,20	1,85	16,00	265,5	48,21	7,38	39,33	0,060
	Ortalama			14,00	6,53	1,60	1,84	2,23	1,80	16,47	263,03	46,67	7,31	40,33
2	AKTAŞ 3	8.10.2018	14,00	6,50	1,75	1,75	2,25	1,75	17,10	290,55	46,43	8,07	44,70	0,059
		9.10.2018	14,00	6,35	1,85	1,85	2,25	1,70	16,30	278,42	45,36	7,73	43,85	0,059
		10.10.2018	14,00	6,45	1,80	1,80	2,25	1,70	16,10	285,75	46,07	7,94	44,30	0,056
		11.10.2018	14,00	6,75	1,75	1,85	1,95	1,70	17,00	292,45	48,21	8,12	43,33	0,058
		12.10.2018	14,00	6,60	1,95	1,75	1,95	1,75	15,95	283,85	47,14	7,88	43,01	0,056
		13.10.2018	14,00	6,55	1,85	1,70	2,15	1,75	16,40	275,63	46,79	7,66	42,08	0,060
	Ortalama			14,00	6,53	1,83	1,78	2,13	1,73	16,48	284,44	46,67	7,90	43,54
Genel Ortalama			14,00	6,53	1,71	1,81	2,18	1,76	16,47	273,74	46,67	7,60	41,94	0,060
Standart Sapma				0,1559	0,1401	0,0982	0,1854	0,0505	0,3950	14,2193	1,1136	0,3950	2,6056	0,0037

EK 1.4: Aktaş - 4 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri

Hafta	Proje adı	Tarih	Toplam Çalışma (saat)	Kazı (saat)	Düzeltilme Kazıları (saat)	Arazi Ölçüm (saat)	Makine Bakım Onarım (saat)	Yemek Araları (saat)	Kesici Uç Tüketimi (keski/gün)	Net Kazı Miktarı (m ³)	Makine kullnım oranı (%)	Günlük İlerleme (m)	Anlık Kazı Hızı (m ³ /saat)	Keski Tüketimi (keski/m ³)
1	AKTAŞ 2	1.10.2018	14,00	6,50	2,00	1,95	1,85	1,70	15,55	310,15	46,43	8,62	47,72	0,050
		2.10.2018	14,00	6,40	2,00	1,85	1,85	1,90	15,75	260,75	45,71	7,24	40,74	0,060
		3.10.2018	14,00	6,60	1,85	1,95	1,90	1,70	15,25	330,63	47,14	9,18	50,10	0,046
		4.10.2018	14,00	6,35	2,00	2,00	1,90	1,75	14,95	288,82	45,36	8,02	45,48	0,052
		5.10.2018	14,00	6,55	1,85	1,95	1,85	1,80	15,00	270,95	46,79	7,53	41,37	0,055
		6.10.2018	14,00	6,60	1,85	1,85	1,95	1,75	15,50	315,25	47,14	8,76	47,77	0,049
	Ortalama			14,00	6,50	1,93	1,93	1,88	1,77	15,33	296,09	46,43	8,22	45,53
2	AKTAŞ 2	8.10.2018	14,00	6,65	1,95	1,80	1,85	1,75	15,55	320,35	47,50	8,90	48,17	0,049
		9.10.2018	14,00	6,45	2,00	1,85	1,85	1,85	15,25	295,9	46,07	8,22	45,88	0,052
		10.10.2018	14,00	6,50	1,85	2,00	1,90	1,75	15,75	265,9	46,43	7,39	40,91	0,059
		11.10.2018	14,00	6,45	1,85	1,95	2,00	1,75	15,00	310,8	46,07	8,63	48,19	0,048
		12.10.2018	14,00	6,70	1,85	1,85	1,85	1,75	15,85	300,75	47,86	8,35	44,89	0,053
		13.10.2018	14,00	6,55	1,95	1,95	1,75	1,80	14,75	285,7	46,79	7,94	43,62	0,052
	Ortalama			14,00	6,55	1,91	1,90	1,87	1,78	15,36	296,57	46,79	8,24	45,27
Genel Ortalama			14,00	6,53	1,92	1,91	1,88	1,77	15,35	296,33	46,61	8,23	45,40	0,052
Standart Sapma				0,0990	0,0687	0,0650	0,0595	0,0557	0,3485	21,4806	0,7068	0,5967	3,0314	0,0042

EK 1.5: Sulusaray - 2 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri

Hafta	Proje adı	Tarih	Toplam Çalışma (saat)	Kazı (saat)	Düzeltilme Kazıları (saat)	Arazi Ölçüm (saat)	Makine Bakım Onarım (saat)	Yemek Araları (saat)	Kesici Uç Tüketimi (keski/gün)	Net Kazı Miktarı (m3)	Makine kullanım oranı (%)	Günlük İlerleme (m)	Anlık Kazı Hızı (m3/saat)	Keski Tüketimi (keski/m3)
1	SULUSARAY 2	15.10.2018	14,00	6,50	1,95	1,80	2,00	1,75	13,25	315,48	46,43	8,76	48,54	0,042
		16.10.2018	14,00	6,50	1,85	1,95	1,95	1,75	12,45	275,35	46,43	7,65	42,36	0,045
		17.10.2018	14,00	6,45	1,90	1,95	1,95	1,75	12,30	285,75	46,07	7,94	44,30	0,043
		18.10.2018	14,00	6,25	1,95	1,95	1,90	1,95	13,55	325,55	44,64	9,04	52,09	0,042
		19.10.2018	14,00	6,50	1,80	1,95	2,00	1,75	12,25	245,28	46,43	6,81	37,74	0,050
		20.10.2018	14,00	6,55	1,90	1,90	1,90	1,75	13,50	300,5	46,79	8,35	45,88	0,045
	Ortalama			14,00	6,46	1,89	1,92	1,95	1,78	12,88	291,32	46,13	8,09	45,15
2	SULUSARAY 2	22.10.2018	14,00	6,50	1,95	1,85	1,95	1,75	12,00	245,58	46,43	6,82	37,78	0,049
		23.10.2018	14,00	6,75	1,85	1,85	1,75	1,80	12,25	298,62	48,21	8,30	44,24	0,041
		24.10.2018	14,00	6,45	1,85	1,95	2,00	1,75	13,10	310,25	46,07	8,62	48,10	0,042
		25.10.2018	14,00	6,25	1,95	1,85	2,00	1,95	13,75	215,55	44,64	5,99	34,49	0,064
		26.10.2018	14,00	6,60	1,90	1,85	1,85	1,80	12,15	325,55	47,14	9,04	49,33	0,037
		27.10.2018	14,00	6,35	2,00	2,00	1,90	1,75	13,45	285,45	45,36	7,93	44,95	0,047
	Ortalama			14,00	6,48	1,92	1,89	1,91	1,80	12,78	280,17	46,31	7,78	43,15
Genel Ortalama			14,00	6,47	1,90	1,90	1,93	1,79	12,83	285,74	46,22	7,94	44,15	0,046
Standart Sapma				0,1346	0,0557	0,0594	0,0720	0,0731	0,6256	33,3206	0,9612	0,9256	5,0544	0,0065

EK 1.6: Sulusaray - 3 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri

Hafta	Proje adı	Tarih	Toplam Çalışma (saat)	Kazı (saat)	Düzeltilme Kazıları (saat)	Arazi Ölçüm (saat)	Makine Bakım Onarım (saat)	Yemek Araları (saat)	Kesici Uç Tüketimi (keski/gün)	Net Kazı Miktarı (m ³)	Makine kullanım oranı (%)	Günlük İlerleme (m)	Anlık Kazı Hızı (m ³ /saat)	Keski Tüketimi (keski/m ³)
1	SULUSARAY 3	5.11.2018	14,00	6,75	1,75	1,85	1,95	1,70	13,55	250,25	48,21	8,25	37,07	0,054
		6.11.2018	14,00	6,50	1,80	1,95	1,95	1,80	13,15	225,1	46,43	6,25	34,63	0,058
		7.11.2018	14,00	6,35	2,00	1,95	2,00	1,70	12,45	325,1	45,36	8,15	51,20	0,038
		8.11.2018	14,00	6,25	1,95	2,00	2,00	1,80	13,25	258,1	44,64	7,17	41,30	0,051
		9.11.2018	14,00	6,55	1,85	1,85	2,00	1,75	14,15	260,25	46,79	7,23	39,73	0,054
		10.11.2018	14,00	6,45	1,85	1,85	2,00	1,85	12,30	310,15	46,07	8,62	48,09	0,040
	Ortalama			14,00	6,48	1,87	1,91	1,98	1,77	13,14	271,49	46,25	7,61	42,00
2	SULUSARAY 3	12.11.2018	14,00	6,35	1,95	1,95	2,00	1,75	13,55	305,1	45,36	8,75	48,05	0,044
		13.11.2018	14,00	6,55	1,85	1,85	2,00	1,75	13,10	309,45	46,79	8,60	47,24	0,042
		14.11.2018	14,00	6,45	1,85	1,95	1,95	1,80	12,75	305,15	46,07	8,48	47,31	0,042
		15.11.2018	14,00	6,75	1,85	1,85	1,80	1,75	13,25	298,25	48,21	8,35	44,19	0,044
		16.11.2018	14,00	6,50	1,85	1,95	1,90	1,80	14,10	275,45	46,43	7,65	42,38	0,051
		17.11.2018	14,00	6,25	1,95	1,95	2,00	1,85	12,45	310,2	44,64	8,62	49,63	0,040
	Ortalama			14,00	6,48	1,88	1,92	1,94	1,78	13,20	300,60	46,25	8,41	46,47
Genel Ortalama			14,00	6,48	1,88	1,91	1,96	1,78	13,17	286,05	46,25	8,01	44,23	0,047
Standart Sapma				0,1575	0,0692	0,0545	0,0582	0,0479	0,5847	29,8172	1,1247	0,7398	5,0112	0,0065

EK 1.7: Nar – 2 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri

Hafta	Proje adı	Tarih	Toplam Çalışma (saat)	Kazı (saat)	Düzeltilme Kazıları (saat)	Arazi Ölçüm (saat)	Makine Bakım Onarım (saat)	Yemek Araları (saat)	Kesici Uç Tüketimi (keski/gün)	Net Kazı Miktarı (m ³)	Makine kullanım oranı (%)	Günlük İlerleme (m)	Anlık Kazı Hızı (m ³ /saat)	Keski Tüketimi (keski/m ³)
1	NAR 2	19.11.2018	14,00	6,75	1,85	1,85	1,85	1,70	20,15	285,6	48,21	7,93	42,31	0,071
		20.11.2018	14,00	6,50	1,90	1,85	2,00	1,75	20,35	324,55	46,43	9,02	49,93	0,063
		21.11.2018	14,00	6,45	2,00	1,70	2,00	1,85	20,75	320,4	46,07	8,90	49,67	0,065
		22.11.2018	14,00	6,35	1,85	1,95	2,00	1,85	20,15	295,75	45,36	8,22	46,57	0,068
		23.11.2018	14,00	6,55	1,70	1,75	2,00	2,00	19,95	325,6	46,79	9,04	49,71	0,061
		24.11.2018	14,00	6,65	1,70	1,90	1,90	1,85	20,15	325,5	47,50	9,04	48,95	0,062
	Ortalama	14,00	6,54	1,83	1,83	1,96	1,83	20,25	312,90	46,73	8,69	47,86	0,065	
2	NAR 2	3.12.2018	14,00	6,75	1,85	1,75	1,95	1,70	19,65	330,7	48,21	9,19	48,99	0,059
		4.12.2018	14,00	6,50	1,75	1,80	2,10	1,85	20,55	335,7	46,43	9,33	51,65	0,061
		5.12.2018	14,00	6,35	1,95	1,95	2,00	1,75	19,35	345,12	45,36	9,59	54,35	0,056
		6.12.2018	14,00	6,60	1,75	1,75	2,00	1,90	20,50	350,7	47,14	9,74	53,14	0,058
		7.12.2018	14,00	6,50	1,80	1,85	2,00	1,85	19,50	325,45	46,43	9,04	50,07	0,060
		8.12.2018	14,00	6,45	1,90	1,85	1,95	1,85	20,35	355,7	46,07	9,88	55,15	0,057
	Ortalama	14,00	6,53	1,83	1,83	2,00	1,82	19,98	340,56	46,61	9,46	52,22	0,059	
Genel Ortalama			14,00	6,53	1,83	1,83	1,98	1,83	20,12	326,73	46,67	9,08	50,04	0,062
Standart Sapma				0,1280	0,0920	0,0776	0,0594	0,0829	0,4145	19,4699	0,9144	0,5408	3,3055	0,0041

EK 1.8: Kayhan – 2 KOY projesine ait detaylı KGAM arazi performans verileri

Hafta	Proje adı	Tarih	Toplam Çalışma (saat)	Kazı (saat)	Düzeltilme Kazıları (saat)	Arazi Ölçüm (saat)	Makine Bakım Onarım (saat)	Yemek Araları (saat)	Kesici Uç Tüketimi (keski/gün)	Net Kazı Miktarı (m ³)	Makine kullanım oranı (%)	Günlük İlerleme (m)	Anlık Kazı Hızı (m ³ /saat)	Keski Tüketimi (keski/m ³)
1	KAYHAN 2	10.12.2018	14,00	6,50	1,95	1,95	1,85	1,75	27,85	345,95	46,43	9,61	53,22	0,081
		11.12.2018	14,00	6,35	1,85	1,95	1,65	2,20	28,30	315,85	45,36	8,77	49,74	0,090
		12.12.2018	14,00	6,75	1,85	1,85	1,80	1,75	27,55	325,64	48,21	9,05	48,24	0,085
		13.12.2018	14,00	6,45	2,10	1,90	1,70	1,85	28,65	330,85	46,07	9,19	51,29	0,087
		14.12.2018	14,00	6,50	1,95	1,75	1,95	1,85	28,75	340,75	46,43	9,47	52,42	0,084
		15.12.2018	14,00	6,60	1,85	1,90	1,92	1,92	27,95	350,45	46,51	9,73	53,10	0,080
	Ortalama			14,00	6,53	1,93	1,88	1,81	1,89	28,18	334,92	46,50	9,30	51,34
2	KAYHAN 2	17.12.2018	14,00	6,70	1,75	1,85	1,95	1,75	27,85	345,65	47,86	9,60	51,59	0,081
		18.12.2018	14,00	6,35	1,85	1,95	2,00	1,85	28,75	317,75	45,36	8,83	50,04	0,090
		19.12.2018	14,00	6,50	1,90	1,85	2,00	1,75	27,75	320,85	46,43	8,91	49,36	0,086
		20.12.2018	14,00	6,25	2,00	1,85	1,95	1,95	27,95	325,8	44,64	9,05	52,13	0,086
		21.12.2018	14,00	6,50	1,90	2,00	1,85	1,75	28,55	350,55	46,43	9,74	53,93	0,081
		22.12.2018	14,00	6,45	1,85	1,90	1,95	1,85	28,45	320,75	46,07	8,91	49,73	0,089
	Ortalama			14,00	6,46	1,88	1,90	1,95	1,82	28,22	330,23	46,13	9,17	51,13
Genel Ortalama			14,00	6,49	1,90	1,89	1,88	1,85	28,20	332,57	46,32	9,24	51,23	0,085
Standart Sapma				0,1367	0,0866	0,0640	0,1094	0,1250	0,4080	12,6921	0,9498	0,3526	1,7182	0,0035

ÖZ GEÇMİŞ

Hüsna Çelikörs 13.08.1990 tarihinde Mersin’de doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Mersin’de tamamladı. 2008 yılında üniversite eğitimine başladığı Zonguldak Karaelmas Üniversitesi’nden Mart 2014’te mezun oldu. 2015-2016 yılları arasında Niğtaş A.Ş.’de maden mühendisi olarak çalıştı. 2016 yılında Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesinde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2017-2018 yılları arasında Solar Patlayıcı Maddeler San. A.Ş.’de satış ve pazarlama sorumlusu olarak çalıştı. 2019 yılında Ankara Niğde Otoyolu Projesinde, Gün Al Madencilik İnş. Nak. Tic. ve San. A.Ş. maden mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen Gün Al Madencilik’te çalışmaya devam etmektedir.

