



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

PİROKLASTİK KAYAÇLARIN KAZISI SIRASINDA SUYA DOYGUNLUĞUN
KGAM KAZI PERFORMANSINA ETKİSİ

ALİ TOLGA SÖNMEZ

Ocak 2024

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

PİROKLASTİK KAYAÇLARIN KAZISI SIRASINDA SUYA DOYGUNLUĞUN
KGAM KAZI PERFORMANSINA ETKİSİ

Ali Tolga SÖNMEZ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Doç. Dr. Ramazan ÇOMAKLI

Ocak 2024

Ali Tolga SÖNMEZ tarafından **Doç. Dr. Ramazan ÇOMAKLI** danışmanlığında hazırlanan “**PİROKLASTİK KAYAÇLARIN KAZISI SIRASINDA SUYA DOYGUNLUĞUN KGAM KAZI PERFORMANSINA ETKİSİ**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Sair KAHRAMAN, Hacettepe Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Ümit ATICI, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Ramazan ÇOMAKLI, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

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...

Prof. Dr. Mustafa KARATEPE
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

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

Ali Tolga SÖNMEZ

ÖZET

PİROKLASTİK KAYAÇLARIN KAZISI SIRASINDA SUYA DOYGUNLUĞUN KGAM KAZI PERFORMANSINA ETKİSİ

SÖNMEZ, Ali Tolga

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

: Doç. Dr. Ramazan ÇOMAKLI

Ocak 2024, 82 sayfa

Kapadokya bölgesinde bulunan piroklastik kayalar kolay kazılabilen ve düşük dayanımlı yapılarından dolayı yeraltı soğuk hava deposu, otel ve restoran amaçlı projeler kapsamında kollu galeri açma makineleri (KGAM) tarafından kazılmaktadır. Kazılan piroklastik kayaların su içerikleri yeraltı su gelirine ve iklimsel nedenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmekte ve meydana gelen bu değişiklikler KGAM'ların kazı performansını olumsuz etkilemektedir. Bu tez çalışmasında Kapadokya bölgesinde bulunan ve yeraltı soğuk hava deposu olarak kazısı yapılan 9 farklı çalışma sahasında KGAM'ların kazı performans parametreleri kuru ve sulu ortamlarda yapılan kazılar için kaydedilmiştir. Kazı sahalarından alınan numunelerin dayanım değerleri belirlenmiş ve elde edilen dayanım değerlerine bağlı olarak KGAM'ların kazı performansları kuru ve sulu ortam kazıları için teorik olarak ta hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sulu ortam kazılarında KGAM kazı performanslarının tüm kazı sahaları için artması beklenirken, arazi verileri sulu ortam kazılarında KGAM performanslarının düştüğünü göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları Kapadokya bölgesindeki piroklastik kayalar gibi düşük dayanımlı ve kil içerikli kayaların sulu ortamdaki kazısı sırasında teorik olarak hesaplanan performans değerlerinin doğru sonuç veremeyeceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Kollu galeri açma makinesi, suya doygunluk, kazı performansı, piroklastik kayaç

SUMMARY

EFFECT OF WATER SATURATION ON CUTTING PERFORMANCE OF ROADHEADERS IN EXCAVATION OF PYROCLASTIC ROCKS

SÖNMEZ, Ali Tolga

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÇOMAKLI

January 2024, 82 pages

Roadheaders excavate pyroclastic rocks in the Cappadocia region within the scope of underground cold storage, hotel, and restaurant projects due to their easy-to-excavate and low-strength structures. The water content of excavated pyroclastic rocks may vary depending on groundwater income and climatic reasons, and these changes negatively affect the excavation performance of roadheaders. In this study, the excavation performance parameters of roadheaders were recorded for excavations in dry and aqueous environments at 9 different sites in the Cappadocia region, where underground cold storage was excavated. The strength values of the samples taken from the excavation sites were determined. Excavation performances of roadheaders were calculated theoretically for dry and saturated conditions excavations. According to the results, while roadheader excavation performances in aqueous environment excavations were expected to increase for all project field data showed that roadheader performances decreased in aqueous environment excavations. The results of this study have shown that theoretically calculated performance values cannot give accurate results during the excavation of low-strength and clay-containing rocks, such as pyroclastic rocks in the Cappadocia region, in an aqueous environment.

Keywords: Roadheaders, water saturation, cutting performance, pyroclastic rocks

ÖN SÖZ

Yüksek lisans çalışmam boyunca manevi destek ve yardımını bütün içtenliğiyle bana sunan anneme, tüm tecrübeleri ile kendimi geliştirmemde katkılarını esirgemeyen, motivasyon sağlayan, öngörülerini ile yolumuzu aydınlatan, akademik bakış açısı kazanmamda önayak olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Ramazan ÇOMAKLI' ya ve teknik tecrübeleri, akademik ve bilişsel altyapısı ile destek sağlayan Yüksek Mühendis Abdullah Mhmood Jumal Aldalahali' ye teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
SUMMARY	ii
ÖN SÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	x
SİMGE VE KISALTMALAR	xi
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM II	4
MEKANİZE KAZI ve KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNELERİ	4
2.1 Mekanize Kazı	4
2.2 Kollu Galerî Açma Makineleri	6
2.2.1 Kesici Kafa	10
2.2.2 Taşıyıcı Kol	10
2.2.3 Malzeme Yükleme Ünitesi	11
2.2.4 Malzeme Aktarma Ünitesi.....	11
2.2.5 Yürüyüş Ünitesi.....	11
2.3 Kollu Galerî Açma Makinaları Verimlilik ve Performans Kriterleri.....	12
2.3 Kollu Galerî Açma Makinesi Performans Tahmin Modelleri.....	15
2.3.1 Arazide Gerçek Boyutlu Bir KGAM ile Performans Tahmini.....	15
2.3.2 Doğrusal Kazı Setleri Kullanılarak Performans Tahmin Yöntemi.....	16
2.3.3 Kayaçların Mekanik Özelliklerine Bağlı Olarak Performans Tahmini	16
2.3.4 Kollu Galerî Açma Makinesi Performans Tahmini için Geliştirilen Modeller..	17
2.3.1 Gehring (1989) modeli	17
2.3.2 Bilgin ve diğ. (1990) modeli	18
2.3.3 Rostami ve diğ. (1994) modeli	18
2.3.4 Çopur ve diğ. (1997, 1998) modeli	19

2.3.5 Thuro and Plinninger (1999) modeli	19
2.3.6 Balcı ve diğ. (2004) modeli	20
2.3.7 Tumaç ve diğ. (2007) modeli	20
2.3.8 Ocak ve Bilgin (2010) modeli	21
2.3.9 Ebrahimabadi ve diğ. (2011) modeli	21
2.3.10 Kahraman ve Kahraman (2016) modeli	21
2.3.11 Çomaklı (2019) modeli.....	22
2.4.12 Dibavar ve diğ. (2023) modeli.....	22
BÖLÜM III	23
LİTERATÜR ÖZETİ.....	23
3.1 Suya Doygunluğun Kayaçların Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	23
3.2 Suya Doygunluğun Killi Kayaçların Kazılabilirliğine Etkisi	28
BÖLÜM IV	34
MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
4.1.2. Bölgenin Jeolojisi.....	36
4.1.3 KGAM Arazi Verilerinin Alınması	37
4.2 Laboratuvar Çalışmaları	51
4.2.1 Numune Hazırlama	51
4.2.2 Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	53
4.2.2.1 Yoğunluk (doğal birim hacim ağırlığı) tayini deneyi.....	53
4.2.2.2 Porozite ve ağırlıkça su emme tayini.....	54
4.2.2.3 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyleri.....	54
4.2.2.4 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi.....	54
4.2.2.5 Numunelerin P dalga hızlarının belirlenmesi	54
4.2.3 Cerchar Aşındırıcılık İndeks Deneyi.....	55
BÖLÜM V	57
BULGULAR VE TARTIŞMA	57
5.1 Artan Su İçeriğinin Kayaların Dayanımları Üzerindeki Etkileri	57
5.2 Artan Su İçeriğinin Kayaların aşındırıcılıkları Üzerindeki Etkileri	60
5.3 Artan Su İçeriğinin KGAM Performans Parametreleri Üzerindeki Etkileri	62
5.3 Sulu Ortam Kazılarında KGAM Kesici Uç Tüketimi.....	68
5.4 Kuru ve Sulu Ortam Kazılarında Arazi ve Teorik Modellerden Elde Edilen Kazı Hızlarının Karşılaştırılması	70

BÖLÜM VI.....	73
SONUÇ.....	73
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	82



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. KGAM' nın ağırlıklarına göre sınıflandırılmaları.....	9
Çizelge 2.2. Kollu Galeri Açma Makinelerinin Performansını Etkileyen Parametreler	12
Çizelge 4.1. Arazi kazı performans verileri kaydedilen KGAM' ların teknik özellikleri	39
Çizelge 4.2. Kayhan -1 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri.....	41
Çizelge 4.3. Kayhan – 2 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri	42
Çizelge 4.4. Çat-1 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri.....	43
Çizelge 4.5. Çat – 2 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri	44
Çizelge 4.6. Sulusaray bölgesindeki KGAM için saha performans verileri.....	45
Çizelge 4.7. Nar bölgesindeki KGAM için saha performans verileri.....	46
Çizelge 4.8. Konaklı bölgesindeki KGAM için saha performans verileri.....	47
Çizelge 4.9. Aktaş – 1 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri	48
Çizelge 4.10. Aktaş – 2 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri	49
Çizelge 4.11. 9 farklı soğuk hava deposu proje sahası için KGAM arazi performans verilerinin toplu gösterimi.	50
Çizelge 4.12 Çalışma kapsamında kullanılan kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerine ait ortalama değerler.	56
Çizelge 5.1. 9 farklı soğuk hava deposu kazı sahası için KGAM' lar arazi performans verileri.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tünel uzunluğuna göre mekanize kazı ile delme patlatma yönteminin karşılaştırılması (Pakes, 1991).....	6
Fotoğraf 2.1. Kollu galeri açma makinesi (KGAM) (Pakes, 1991).....	7
Şekil 2.2. Kollu Galer Açma makinası Bileşenleri.....	10
Şekil 3.1. Jips numunesi için artan su içeriğine göre UCS ve elastisite modülü değerlerinin değişimi (Yılmaz, 2010).....	24
Şekil 3.2. Spesifik enerji ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki (Çomaklı, 2010)	25
Şekil 3.3. Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki (Çomaklı, 2010).....	25
Şekil 3.4. Kumtaşı numunesinin kuruma ıslanma döngüsü sonucunda çekme dayanımı değerlerinin değişimi (Ying vd., 2022)	26
Şekil 3.5. Artan su içeriğine bağlı olarak kumtaşı numunesinin kırılma tokluğu ve çatlak gelişimi üzerine etkileri (Zhou vd., 2018).....	27
Şekil 3.6. TBM tıkanma sınıflandırma diyagramı (Hollman ve Thewes, 2013)	28
Şekil 3.7. Serbest dönen ve sıkışan disk keskiner üzerine etki eden kuvvetlerin gösterimi (Roxborough, 2004)	31
Şekil 3.8. Disk keski altındaki kırılma zonu (Özdemir vd. 1978)	32
Şekil 3.9. Disk keskiner ile kaya kesme ve keskiner arasında çip oluşumu (Özdemir vd. 1978).....	32
Şekil 4.1. Proje alanlarının Kapadokya Bölgesi'ndeki konumu.....	34
Şekil 4.2. Kapadokya tuf dizilimi dikey kesit (Temel 1992; Temel et al. 1998).....	37
Şekil 5.1. Kuru ve yaş numunelerin UCS değerleri arasındaki ilişki	59
Şekil 5.2 Kuru ve yaş numunelerin BTS değerleri arasındaki ilişki.....	59
Şekil 5.3. Artan su içeriği etkisiyle kayaların dayanım değerlerindeki değişim oranları.....	60
Şekil 5.4 Kuru ve yaş numuneler üzerinde yapılan CAI testlerinden elde edilen değerler arasındaki ilişki	61
Şekil 5.5 Artan su içeriği etkisiyle kayaların dayanım değerlerindeki değişim oranları	62
Şekil 5.6 Kuru ve sulu ortamlarda KGAM günlük kazı oranları.....	63
Şekil 5.7 Kuru ve sulu ortamlarda KGAM günlük kazı oranları arasındaki ilişki	63

Şekil 5.8 Kuru ve sulu ortamlarda KGAM günlük kazı miktarları	64
Şekil 5.9 Kuru ve sulu ortamlarda KGAM günlük kazı oranları arasındaki ilişki	65
Şekil 5.10 Kuru ve sulu ortamlarda KGAM makine kullanım oranları.....	65
Şekil 5.11 Kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM makine kullanım oranları arasındaki ilişki.....	66
Şekil 5.12. Kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM makine kullanım oranları ile günlük kazı miktarı arasındaki ilişki.....	68
Şekil 5.13 Kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM günlük kesici uç tüketimi.....	69
Şekil 5.14. Kuru ve sulu ortam kazılarında kazılan malzeme miktarına göre KGAM günlük kesici uç tüketimi	70
Şekil 5.15. Kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM arazi ve teorik anlık kazı hızları değişimi.....	72

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 4.1. Kapadokya bölgesinde yapımı tamamlanmış bir soğuk hava deposunun genel görüntüsü	35
Fotoğraf 4.2. Kapadokya bölgesinde kazısı yapılan soğuk hava depolarının genel görünümü (solda), kuru ortam kazıları (orta), sulu ortam kazıları (sağda)	36
Fotoğraf 4.3. Soğuk hava deposu kazılarında kullanılan KAGM' ın genel görüntüsü ..	38
Fotoğraf 4.4 Soğuk hava deposu kazılarında kuru ortam (solda) ve sulu ortamda (sağda) yapılan kazılar sırasında kazılan malzemenin kesici kafaya ve keskilere yapışma durumu	40
Fotoğraf 4.5. Taşıyıcı Sistem.....	40
Fotoğraf 4.6. Numune alınan soğuk hava deposu proje sahaları; solda kuru ortam sağda sulu ortamda kazılan depolar	51
Fotoğraf 4.7. Proje sahasındaki blok numuneler (solda); blok numunelerden karot alınması (sağda)	52
Fotoğraf 4.8. Numune hazırlama makinesi görüntüsü.....	52
Fotoğraf 4.9. Fiziksel ve mekanik testler için hazırlanan numuneler	52
Fotoğraf 4.10. Karot numunelerin ağırlıklarının belirlenmesi.....	53
Fotoğraf 4.11. Kayaçların ultrasonik hızının Pundit Lab (+) ile belirlenmesi.....	55
Fotoğraf 4.12. Cerchar aşındırıcılık deney aleti (sol), deneyde kullanılan uçlar (orta) ve deney sonunda kayaç yüzeyinde oluşan deney çizgi hatları (sağ).....	55
Fotoğraf 4.13. Kuru ve suya doymun numuneler üzerinde kullanılan deney uçlarının deney sonrası görüntüleri.....	56
Fotoğraf 5.1. Sulu ortamda yapılan kazılar sırasında kesici uç, kesici kafa ve bant konveyöre yapışan kazılmış malzemeler	67

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
δ	Yoğunluk (gr/cm ³)
M	Ağırlık (gr)
V	Hacim (cm ³)
V _v	Boşluk hacmi (cm ³)
n	Görünür gözeneklilik (Porozite)
e	Boşluk oranı
W _d	Kuru ağırlık (gr)
W _s	Doygun ağırlık (gr)
ρ_w	Su Yoğunluğu (gr/cm ³)
σ_ϕ	Numunenin çekme dayanımı (MPa)
σ_c	Tek eksenli basma dayanımını (MPa)
A	Karotun yüzey alanını (m ²)

Kısaltmalar	Açıklama
ISRM	Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği
BTS	Dolaylı Çekme Dayanımı Testi
UCS	Tek Eksenli Basınç Dayanımı
CAI	Cerchar Aşındırıcılık İndeksi

BÖLÜM I

GİRİŞ

Mekanize kazı yöntemleri klasik delme patlatma yöntemlerine kıyasla birçok avantaja sahip olduğundan günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Madencilik sektöründe üretim ve hazırlık galerilerinin sürülmesi aşamalarında, inşaat sektöründe ise tünel ve yeraltı açıklıklarının kazısında kullanılan mekanize kazı yöntemlerinin özellikle daha kısa sürede daha fazla kazıya imkân sağlaması en önemli avantajlarıdır. Bununla beraber bu kazı yöntemleri özellikle ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksek olduğu için projelendirilme aşamasında daha detaylı çalışma ve değerlendirmelere ihtiyaç duymaktadır.

Mekanize kazı yöntemlerinin kullanılacağı durumlarda, öncelikle proje sahasında mekanize kazı yönteminin uygulanabilirliğinin çok yönlü çalışmalar ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Mekanize kazı yönteminin uygulanabilir olduğuna karar verildikten sonra uygun kazıcı ekipman seçimi/tasarımının yapılması gerekmektedir. Kazılacak formasyon özelliklerine uygun mekanize kazı yönteminin ve ekipmanının seçilmemesi büyük mali problemlere sebep olmaktadır. Bu kapsamda projelendirme aşamasında yoğun arazi ve laboratuvar çalışmaları ile doğru kazı yönteminin belirlenmesi ve mekanize kazıya karar verilmesi halinde uygun kazıcının seçilip tasarımılandırılması gerekmektedir.

Uygun kazı yöntemi ve makinesinin seçimi kadar seçilen mekanize kazıcının performansının tahmin edilmesi de proje başarısı için oldukça önemlidir. Kazı performansının tahmin edilmesi de makine, formasyon ve operasyonel parametreler gibi kazı hızı üzerinde etkili parametrelerin detaylı analizi ve etkilerinin ortaya konması ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmalar projeye başlanılmadan önce firmalar tarafından genellikle yapılmaktadır. Ancak arazi şartlarında kazı performansını olumsuz etkileyen önceden belirlenememiş durumlar yine de oluşabilmektedir. Yoğun yeraltı su geliri, çok kırıklı çatlaklı veya yüksek dayanımlı formasyon özellikleri, formasyon geçişlerinin beklenilenden erken veya geç olması gibi durumlar arazi şartlarında karşılaşılabilen olumsuz durumlardır.

Kazı ortamında su varlığı özellikle kil içerikli zemin ve kaya formasyonlarının kazısında kazı performansını olumsuz etkileyen önemli bir faktördür. Artan su içeriği ile birlikte killer şişebilmekte, fiziksel ve mekanik özellikleri değişebilmekte ve bu durum da genel olarak kazılan formasyon özelliklerinin değişmesine sebep olmaktadır. Ayrıca kil içerikli formasyonun kazısı esnasında artan su içeriği ile birlikte kazılan malzeme kesici kafaya ve kesici uçlara yapışabilmekte ve bu durum kazı performansını olumsuz etkilemektedir. Daha ileri seviyelerde kesici kafaya yapışan malzeme tünel açma makinesi (TBM) gibi mekanize kazıcıların kesici kafasını bloke ederek dönmesini tamamen engelleyebilmektedir. Özellikle kil içerikli zemin kazılarında bu problemler üzerine yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak benzer problemler kil içerikli kayaların kazısı sırasında da meydana gelmesine rağmen kayaç kil içeriğinin kaya formasyonlarının kazısında kazı performansının nasıl etkilendiğinin araştırıldığı çalışmaların sayısı oldukça azdır.

Diğer taraftan kollu galeri açma makineleri (KGAM) gibi kısmi cepmeli mekanize kazıcıların kullanıldığı projelerde de kazılan formasyonun kesici kafaya ve keskilere yapışma problemi ortaya çıkabilmektedir. Ancak bu konuda, özellikle de kil içerikli kayaların kazısında KGAM performans parametrelerinde oluşabilecek değişimleri inceleyen çalışmalar daha önce yapılmamıştır.

Yapılan bu çalışmada Kapadokya bölgesindeki düşük dayanımlı piroklastik kayaçların kazısı sırasında KGAM performans verilerinin değişimi incelenmiştir. Bu kapsamda Kapadokya bölgesinde bulunan ve soğuk hava deposu olarak kazısı yapılan dokuz farklı proje sahasında KGAM arazi verileri kuru ve suya doymuş ortam kazıları için kaydedilmiştir. Elde edilen arazi verileri düşük dayanımlı piroklastik kayaçların kazısında suya doymuşluğun kazı performansını olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. Ayrıca teorik modellerden elde edilen sonuçlar ile arazi verileri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sadece artan su içeriği ile birlikte değişen kayaç dayanım özelliklerini göz önünde bulundurarak yapılacak bir performans tahmininin artan su içeriği etkisiyle kesici uca, kesici kafaya ve bant konveyöre yapışma potansiyeli olan düşük dayanımlı piroklastik kayaçlar veya kil içerikli diğer kayaç türleri için doğru sonuç vermeyeceğini ortaya koymuştur. Bu tür kayaçların kazısı sırasında mekanize kazıcının kazı performansının doğru şekilde tahmin edilebilmesi için kayaçların artan su içeriklerine

bağlı olarak kesici uca veya kesici kafaya yapışma potansiyellerinin olup olmadığının da detaylı olarak analiz edilmesi gerekmektedir.



BÖLÜM II

MEKANİZE KAZI ve KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNELERİ

2.1 Mekanize Kazı

Mekanize kazı, insan veya hayvan gücü haricinde, elektrik, sıvı ya da katı yakıtlı bir motorun / mekanizmanın tahrikiyle döngülü hareket eden sert alaşımlı keskiçiler vasıtasıyla mekanik bir şekilde kayacı kesip parçalama temeline dayanan bir kazı yöntemidir. Mekanize kazı, yeraltı ve yer üstü kazı işlemlerinin hızla gerçekleştirilerek yüksek üretim ve kayaçta ilerlemeyi düşük maliyetle elde etmenin en önemli yollarından biridir. Ondokuzuncu yüzyılın başlarında malzeme bilimindeki gelişmeler, dıştan-içten yanmalı ve elektrikli motorların bulunarak gelişmesi/yaygınlaşması, basınçlı hidrolik-pnömatik sistemlerin gelişerek yaygınlaşması gibi gelişmeler sayesinde mekanize kazı gelişmiş, darbeli deliciler, kömür kazı makineleri imal edilmeye başlanmıştır (Çomaklı, 2015). Çeşitli kaynaklarda, 1818'de Brunel adlı mühendisin Londra'da Thames nehrinin altından tünel açma çalışmaları için geliştirdiği kalkan için aldığı patent, mekanize kazının başladığı milat olarak kabul edilir. Bu tünelde kazı işlemi esasen insan gücü kullanılarak gerçekleştiriliyordu. Brunel'in geliştirdiği kalkanın asıl amacı kazı yapılan kısımda (arında) ve gerisinde yerleştirilen kalkan boyunca tünel stabilitesinin sağlanabilmesiydi. Kazı işlemi ise madenciler tarafından yapılmaktaydı. 1850'li yıllarda İskoçya'daki kömür ocaklarında aşındırıcılığı düşük olan kömürün, yan kayacına nispeten daha zayıf bir dayanıma sahip olması sayesinde, dökme demirden mamul kesici uçlar basınçlı hava tazyikiyle kazı işlemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu tarihin akabinde kömür kesme makinelerinin gelişimi hız kazanmış, potkabaç makinesi kullanıma başlanmış, böylelikle İngiltere'de 1800'lü yılların başında 10 milyon ton / yıl kömür üretimi, 1865 yılına gelindiğinde yaklaşık 10 katına çıkmıştır. Yeraltında elektrik enerjisi kullanımının yaygınlaşması ve malzeme alanında yeni gelişmelerle 1900'lü yıllarda daha gelişmiş deliciler ve kömür kazı makineleri üretilmiş ve günümüz modern kazı makinelerinin tasarım temelleri atılmıştır (Shepherd ve Withers, 1960).

Her yıl madencilik ve inşaat sektörlerinde çok büyük oranda yeraltı ve yerüstü kazısı mekanize yöntemler kullanılarak yapılmasına karşın, mekanize kazının yayılmasını

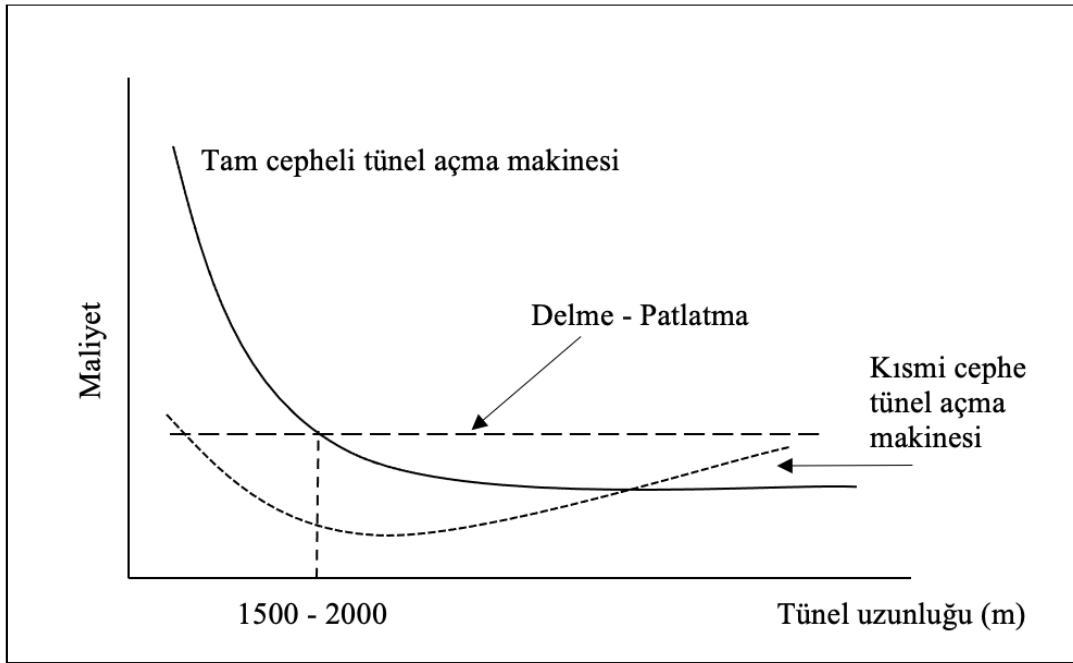
sınırlayan etkenler vardır. Bu etkenlerden başlıca ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, sert kayalar da yeterli kazı hızına ulaşamaması, aşındırıcı kayalar da keski sarf giderlerinin maliyet içinde büyük bir yer tutması ve kazı hızını düşürmesi, kazı yapılan formasyonun aşırı tektonik ve destabil yapısı gibi sebepler sayılabilir. Mekanize kazı kullanımını sınırlayıcı parametrelerden birisi olan yüksek ilk yatırım maliyetleri, mekanize kazı yönteminin yüksek hızı, daha az personel gerektiren sofistike yapısı, dolayısıyla kısa sürede kendini daha çabuk amorti edebileceği hesaplandığında veya proje uygulama sahasının delme patlatma yöntemine elverişli olmayışı gibi sebeplerden dolayı göze alınabilir bir problem olarak sayılabilir (Çomaklı, 2015).

Kazı öncesi gerçekleştirilecek kapsamlı analiz ve test çalışmaları ile uygun kazı yöntemi ve kazıcı ekipmanın seçilerek mekanize kazı yönteminin uygulanmasında sınırlayıcı olan diğer birçok problemin aşılması mümkündür. Bu yapılmadığı takdirde, yani tünel açılacak ya da kazı yapılacak alanın formasyon özelliklerinin araştırılmadan, makinenin ve kazı yönteminin kazılacak formasyonların özelliklerine göre doğru seçilmediği durumlarda, makine performansının çok düşük kalması, verimli bir kazı gerçekleştirilememesi, yeterli hızda ilerleme sağlanamaması, makine sıkışmalarının yaşanması (TBM'lerde), gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Böylelikle büyük zaman ve maliyet kayıpları gerçekleşebilmekte, önemli ölçüde ön harcama yapılmış projenin iptal edilmesi gibi sonuçlar ortaya çıkmaktadır ki bu durum, tedarik zincirlerini bozma, ardışık yatırım ve proje halkalarının aksaması, yüklenici şirketin büyük mali kayıplar yaşayarak batması gibi ekonomiye negatif yönde etki eden pek çok olumsuzluğu beraberinde getirmektedir. Kazı yapılacak formasyona uygun seçilmeyen, dolayısıyla siparişi verilip imal edildikten sonra kullanılamayan bir kazıcının ilgili firmaya getireceği zarar milyonlarca dolara varan yüksek rakamlarla ifade edilmektedir. Bu ve benzeri sebeplerden dolayı kazıda kullanılacak makineyi belirlerken kayaların kazılabilirliğine etkisi olan parametrelerin araştırılarak formasyona en uygun kazıcı sistemin, ekipman ve makinenin belirlenmesi çok önemlidir (Çomaklı, 2015).

Yeraltı kazı işlemleri, en geniş şekliyle klasik kazı (delme-patlatma) ve mekanize kazı olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bundan dolayı bu iki yöntem arasındaki farklar üzerine çalışmalar yapılmıştır. Özdemir (1994) tarafından yapılan çalışmada, delme-patlatma ile kazıda birim zamanda ileri düzeyde penetrasyon sağlanarak nispeten fazla malzeme

açığa çıktığından, delme patlatma yönteminin diğer kazı yöntemlerine göre daha verimli olduğu belirtilmiş fakat ilerleme hızının düşük oluşu, yoğun titreşim oluşumu, aşırı sökülüm yaparak emniyet ve tahkimat problemleri ortaya çıkarması, yöntemin uygulamasını sınırlayan faktörler olmuştur (Çomaklı, 2015).

Delme-patlatma yönteminin en büyük avantajı, ilk yatırım maliyetinin diğer yeraltı mekanize kazı yöntemlerine kıyaslandığında fevkalade düşük olmasıdır. Tünel uzunluğu arttıkça maliyet avantajı, diğer mekanize kazı yöntemleri lehine değişmektedir. Genel işletme maliyetleri bir bütün olarak ele alındığında, yeraltında açılan tünel uzunluğu arttıkça mekanize kazıcıların kazma verimliliği, delme patlatma yöntemine kıyasla artmaktadır. Bundan dolayı uzun metrajlı ve sürekli tünel ya da galeri kazısında mekanize kazıcılar daha çok tercih edilmektedirler (Şekil 2.1) (Pakes 1991).



Şekil 2.1. Tünel uzunluğuna göre mekanize kazı ile delme patlatma yönteminin karşılaştırılması (Pakes, 1991)

2.2 Kollu Galerî Açma Makineleri

Yeraltı Mekanize kazılarında, kısmi kazı sistemleri içerisinde, özellikle tünel ve galeri açma işlerinde en geniş kullanım alanı bulan makine grubu, Kollu Galerî Açma Makinalarıdır (KGAM) (Fotoğraf 2.1).



Fotoğraf 2.1. Kollu galeri açma makinesi (KGAM) (Pakes, 1991)

Kollu galeri açma makinelerinin kullanımı ile ilgili ilgili kayıtlara geçmiş ilk patentli çalışma, Macaristan kömür madenlerinde 1950'li yıllarda kullanılmış olan F2 adlı yürüyen döner kafalı kazıcıdır. Söz konusu makine, basınç dayanımları 40 MPa'a kadar olan kömürlerde ve yumuşak kayalarda kullanılabilmekteydi. F2' de, 37,3 kW'lık bir elektrik motoru tahrikiyle çalışan bir çift döner kesici kafa, dönme eksenini taşıyıcı kol eksenine dik olacak şekilde kazı yapmaktaydı. Ardından 1960'lı yıllarda Sovyetler Birliği'nde dönme eksenini kol eksenine paralel çalışan PK3 tipi Kollu Galer Açma Makinaları kullanılmaya başlandı. Bu ilk makinelerde paletli yürüyüş ünitesi kullanılıyordu (Ersoy, 2012). İlk üretilen kollu galeri açma makineleri hafif tipte olup genellikle yumuşak kayalarda kullanılmaktaydı. Gün geçtikçe değişen ve artan ihtiyaçlara bağlı olarak ağır ve güçlü makineler geliştirilmiştir. İlerleyen teknolojinin de yardımıyla günümüzde galeri açma makinelerinin ağırlıkları 120 tonu ve kesici kafa motor güçleri 300 kW'ı geçebilmektedir (Ersoy, 2012).

1970'li yıllara kadar ağırlıklı olarak yeraltı madencilik, özellikle de kömür kazısında kullanılan Kollu Galer Açma Makinaları, bu tarihlerden itibaren inşaat sektöründe de gittikçe yaygınlaşan kullanım alanı bulmuşlardır. Ekonomik, esnek ve pratik olmaları diğer avantajlarıyla birleştiğinden sert olmayan (orta sert-yumuşak) formasyonların kazısında başarıyla kullanılmaktadır.

Kollu galeri açma makineleri genel olarak sağladığı birçok faydadan dolayı maden ve tünel kazılarında yaygın olarak kullanılmakta olup, genel olarak avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İstenilen kesit şeklini kolayca teşkil edebilmeleri (dairesel, at nalı, dikdörtgen vs.)
- Değişen formasyon yapısına göre keskinin değiştirilerek kazı etkinliğinin ve verimliliğinin artırılabilmesi,
- Kesici kafanın hareketli olmasıyla aynada kazıya en uygun ya da istenen yerden başlayabilmesi,
- Kesici kafayı taşıyan kolun geniş bir açıda serbest hareketi,
- Tünel ya da galeri tahkimatının makinenin ilerleme yönünde önden yapılabilmesi ve kolun tahkimat çalışmasında kullanımı,
- Belli sınırlar içinde her türlü kesiti açabilmeleri
- Çalışılan formasyonun yapısına ve dokusuna zarar vermeden çalışma yapabilme imkânına sahip olması.
- Kazı yapılan yüzeye kolay erişim imkânı olmasından kesicilerin çabuk ve kolay değişimi, kazı yüzeyinin kolaylıkla kontrol altında tutulabilmesi.
- Madencilikte üretimde seçimli kazıya imkân tanınmaları.

Kollu galeri açma makinelerinin dezavantajları ise genel olarak, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, tam dairesel kesitleri düzgün bir şekilde açamamaları, fazla miktarda toz oluşumu ve görece sert formasyonlarda çalışırken makinede meydana gelen yüksek titreşim sayılabilir. Sert kayaç kazılarında titreşim ve bağlı olarak gelişen makine-ekipman hasarlarına karşı KGAM'lar zemine veya kenarlara sabitlenerek aşılmaya çalışılmaktadır. Bu ve benzeri zorluklardan dolayı da sert zeminlerde büyük ve ağır KGAM'lar tercih edilmektedir. Kollu galeri açma makineleri genellikle paletlidir. Ana şasiye monte edilen hareketli bir kol üzerinde dönen küçük bir kesici kafaya yerleştirilmiş keskinin yardımıyla kayayı kazar. Değişik zemin şartlarında kesici kafaların ve/veya keskinin değiştirilmesi gerekir (Çomaklı, 2018).

Kollu Galerî Açma Makinaları, farklı şekillerde sınıflandırılabilirler gibi en yaygın şekilde ağırlıklarına göre sınıflandırılırlar. Ağırlıklarına göre KGAM'ların sınıflandırılması Çizelge 2.1' de verilmiştir.

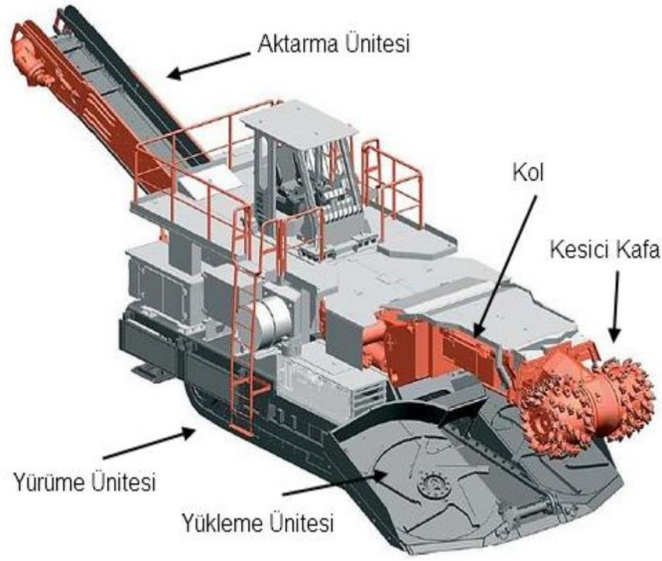
- I. Sınıf olarak kategorize edilmiş "hafif" makinelerin, ağırlıkları 20-30 ton arasında olup basınç dayanımı 40-60 MPa arasında olan kayalarda kullanım alanı bulurlar. Tünel kesitine göre yaklaşık kazı hızları 25 m/gün' den fazla olabilmektedir. Hem madencilik hem de inşaat sektörlerinde kullanılmaktadırlar.
- II. sınıf makinalar ağırlıkları 30-50 ton, III. Sınıf makineler ağırlıkları 50-75 ton arasındadır. "Orta" sınıf olarak kategorize edilmektedirler. Aynı şekilde hem madencilik hem de inşaat sektöründe kullanılırlar. III sınıf makinalar madencilikte galeri açmanın yanı sıra kireçtaşı, alçıtaşı, boksit, tuz, fosfat, potas gibi yumuşak minerallerin üretiminde verimli bir şekilde çalışmaktadırlar.
- IV sınıf makineler, son yıllarda geliştirilmiş "ağır" hizmet sınıfında makinelerdir ve ağırlıkları 75 tondan fazadır. Ağırlıklı olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadırlar. Basınç dayanımı 150 MPa' a kadar olan kayalarda kazı yapabilirler ancak bu makineler için emniyetli kazı sınırı, 100 MPa basınç dayanımı olan kayalardır. (Çomaklı, 2018).

Çizelge 2.1. KGAM' nın ağırlıklarına göre sınıflandırılmaları

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

Kollu galeri açma makineleri birçok farklı mekanik ve elektronik sistemi bir arada bulundurmaktadır. Bu sistemler mekanize kazıyı mümkün kılmakta olup KGAM' ların genel olarak 5 temel kısımdan oluştuğu söylenebilir. Şekil 2.2' de gösterilen KGAM temel kısımları aşağıdaki gibidir:

- Kesici Kafa
- Taşıyıcı Kol
- Malzeme yükleme ünitesi (Besleyici tabla ve toplayıcılar)
- Malzeme aktarma ünitesi (Zincirli ve köprü konveyör)
- Yürüyüş Ünitesi.



Şekil 2.2. Kollu Galeri Açma makinası Bileşenleri

2.2.1 Kesici Kafa

Makinanın yürüyüş istikametinde kazı cephesine yönelik ön kısmında yer alır. Makina gövdesine yerleştirilmiş bir taşıyıcı kol üzerindeki bir destek ucuna monte edilmiş, ana makineden bağımsız bir elektrik motorunun tahrik ettiği, eksenini etrafında döner bir tamburdur. Üzerinde kayacı kesip parçalamaya yarayan sertleştirilmiş metalden mamul keskiler belli aralıklarla yerleştirilmiştir. Kesici kafalar, ana taşıyıcı kol eksenine paralel bir dönme eksenine olan tek kafalılar ve taşıyıcı kol eksenine dik bir dönme eksenine sahip çift kafalılar olarak ikiye ayrılır. Makineye etki eden kuvvetlerin büyüklüğü ve yönü, kesici kafanın makine üzerindeki konumu ve tasarımına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kazı esnasında kesici kafanın kazı yüzeyi ile teması sonucu ana makine üzerinde değişen yoğunluklarda titreşimler oluşur. Kazılan formasyonun yapısal özelliklerine bağlı olarak kesici kafaların üzerine farklı yapıda ve sertlikte kesici uçlar monte edilir (Ersoy, 2012).

2.2.2 Taşıyıcı Kol

Taşıyıcı kol, ana makinanın üzerine monte edilmiş, makinenin kesici kafasını ve kesici kafayı döndüren tahrik motorlarını taşıyan bir gövdeden müteşekkildir. Yürüyüş ünitesi üzerinde bulunan ana gövdenin ön kısmındaki bir platforma monte edilmiştir. Taşıyıcı

kol, üzerinde bulunan hidrolik pistonlar sayesinde sağa, sola, yukarı ve aşağı belli açılar dahilinde hareket ederek kazı cephesinde geniş bir kazı kesiti oluşturmaya imkân sağlar. Yukarıda bahsi geçen, kesici kafayı harekete geçiren elektrik motoru da aynı şekilde kol gövdesi içine yerleştirilmiştir. Bu motor, yine taşıyıcı kol gövdesi içerisine yerleştirilmiş bir dişli kutusu (redüktör) ve mil (şaft) yardımıyla kesici kafayı döndürür. Taşıyıcı kollar, sabit ve teleskopik olarak ikiye ayrılırlar. Teleskopik taşıyıcı kollar kazı cephesine doğru ileri-geri uzayıp kısalma avantajına sahiptirler (Ersoy, 2012).

2.2.3 Malzeme Yükleme Ünitesi

Makinenin ön cephesinde, kesici kafanın bir miktar gerisinde, yere dökülen malzemeyi sıyırp toplayacak bir şekilde konumlanmış bir tablanın üzerinde yerleştirilmiş, zincirli konveyörle çekerek, yıldız şeklinde dönerek ya da yengeç ayağı hareketiyle kazıda çıkan malzemeyi arkaya atan toplayıcılardan oluşan ünedir. Yükleme ünitesi bir tabla ve bu tabla üzerine yerleştirilmiş toplayıcıdan (yıldız şeklinde çarklar, yengeç kollar veya zincirli paletlerden) oluşur. Makinenin ön cephesinde kazılan malzemenin toplanarak konveyöre aktarılmasını sağlar. Düzenli ve kesintisiz bir şekilde çalışması kazı verimini etkiler. Çıkan malzemenin zamanında toplanamayarak birikmesi, çamur tabakaları oluşturarak yapışması gibi sorunlar kazı hızını düşürebilir (Ersoy, 2012).

2.2.4 Malzeme Aktarma Ünitesi

Kesici kafa tarafından kazılıp yükleme ünitesi tarafından toplanan malzemeyi makinenin arka tarafında, tünel ya da galeride konuştlu ana nakliyat birimine aktaran zincirli konveyördür. KGAM' ın ön tarafında biriken sökülmüş malzemeler önce makina iç kısmındaki aktarma ünitesine, ardından da bant konveyöre aktarılarak arın gerisine/tünel çıkışına taşınır. Bant konveyörün yerine yeraltı kamyonlarıyla kesikli taşıma da yapılabilir (Ersoy, 2012).

2.2.5 Yürüyüş Ünitesi

Kollu Galeri Açma Makinalarında yürüyüş üniteleri lastik ya da paletli olabilir, ancak lastikli yürüyüş ünitesi genellikle hafif tiplerde tercih edilmekte olup paletli yürüyüş

sistemleri çok daha yaygındır. Kazı sırasında kesici kafadaki keskinin tamamı aktif olarak kesme yaptıkları için maruz kaldıkları basıncı, taşıyıcı kol vasıtasıyla makina ana gövdesine, oradan da taşıyıcı ünitelere aktarılır. Kazı yapılan malzemenin sertliğine, kesme hızına ve kesici kafa geometrisine göre yürüyüş ünitesi yüksek titreşim ve kesme kuvvetlerine maruz kaldığı için makinenin en çok bakım-onarım gerektiren ünitelerinden birisidir (Ersoy, 2012).

2.3 Kollu Galeri Açma Makinaları Verimlilik ve Performans Kriterleri

En yaygın yeraltı mekanize kazı ekipmanı olan kollu galeri açma makineleri, seçim ve dizayn aşamasında optimum verimlilik ve performans kriterleri açısından diğer mekanize kazı ekipmanları ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Mekanize kazıcıların kazı performansını etkileyen temel parametreler Çizelge 2.2’ de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kollu Galeri Açma Makinelerinin Performansını Etkileyen Parametreler

Makine Özelliklerine Bağlı Parametreler	
Kesici Kafa Özellikleri	Kesici kafanın gücü Keski tipi ve özellikleri Kesici kafanın tipi ve boyutu Keskinin sayısı ve dağılımı
Makine Özellikleri	Malzeme toplama ve taşıma hacmi Makinenin yaşı Makinenin tipi Makinenin kurulu toplam gücü Makinenin ağırlığı ve boyutları
Jeolojik parametreler	
Kayacın fiziksel ve mekanik Özellikleri	Aşındırıcılığı Kaya kesme parametreleri Yüzey sertliği Sismik özellikler Dayanım özellikleri Kaya dokusu
Kaya kütlesi Özellikleri	Hidrojeolojik durum Jeolojik süreksizlikler Kaya kalite değeri (RQD) Kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR)

Kazı yapılacak formasyonun/kayacın özellikleri, değiştirilemez nitelikte olduklarından dolayı, KGAM seçiminde göz önüne alınması gereken en önemli parametrelerdendir. Kayacın kesilebilirlik katsayısı, bu konuda en önemli kriterdir. Kayaca ait mekanik özelliklerden olan tek eksenli basma ve çekme dayanımları kayacın kesilebilirliğine, dolayısıyla da makinenin kazı performansına ilişkin önemli ölçüde fikir verir. Ancak tek başına yeterli bir kriter değildir. Kesilebilirlik hesaplamalarında en kullanışlı metotlar, kayacın özgül enerjisinin dikkate alındığı yöntemlerdir. Laboratuvarda kesme deneyleri yapılarak kayacın özgül enerjisi belirlenir. Elde edilen sonuçlar, kazı alanında yerinde yapılan çalışmalar ile desteklenerek kayaç için bir kesilebilirlik sınıflaması oluşturulur. Böylelikle kazı yapılacak formasyona en uygun kollu galeri açma makinesi seçilebilir, hatta kesici uçlarla ilgili sarfiyat öngörüleride yapılabilir. Kayacın kesilebilirliğinin yanı sıra aşındırıcılık değeri de makine ve kesici uç seçimine etki eden önemli kriterlerdendir. Kayaç bünyesindeki kuvars içeriği, aşındırıcılık değerini (CAI) belirleyen en önemli faktörlerdendir. Kayacın aşındırıcılık katsayısını belirlemek için Cerchar gibi aşındırıcılık deneylerinden faydalanılır (Ersoy, 2012).

Kollu galeri açma makinası kullanılacak bir kazı projelendirilirken dikkate alınması gereken en önemli kriterlerin biri de kollu galeri açma makinasının öznelilikleri, makinanın kendine ait imalat karakteristikleridir. Çizelge-II'de de görüldüğü gibi, makinenin toplam ağırlığı, beraberinde orantılı olarak artan kesici kafa gücü ve de toplam kurulu güç makinanın sınıflandırılmasında esas teşkil eder. Doğrudan makina ağırlığını sınıflandırmada esas tutmak, kestirme ve isabetli bir yaklaşımdır. Makina ağırlığı ve kurulu güç haricinde kesici kafa tasarımı da çok önemlidir, çünkü kesici kafa ve keskiler, makina ile kayaç arasındaki temas zonunu oluştururlar (Ersoy, 2012).

Seçilen kollu galeri açma makinesiyle yapılan kazılarda kazı verimini etkileyen, formasyon yapısı ve makinanın yapısal özellikleri ile de ilintili olmayan birtakım farklı parametreler de mevcuttur. Çalışılacak kazı kesit yapısı ve kesit alanı bunlardan biridir. Galer kesiti, yeraltı havalandırmasını, birim zamanda nakledilmesi gereken malzeme miktarını, ekipman ve mekanik malzemenin taşınma şeklini etkiler. Bu da kazı hızını ve verimini değiştirir. Bu parametrelerin yani kazı kesitinin sabit kalması gerekiyorsa, verimli ve hızlı bir kazı için kollu galeri açma makinesinin boyutlarında veya modelinde değişikliğe gitme durumu ortaya çıkmaktadır.

Yeraltı kazılarında KGAM seçimi aşamasında bu makine ile yapılacak kazının toplam işletme maliyetine etkisi göz önünde bulundurulur. Kollu galeri açma makinası kullanılan yeraltı kazılarında işletme maliyetlerine önemli ölçüde yansıyan kalemlerden birisi de kesici uç sarfiyatıdır. Kesici uçlar özel olarak sertleştirilmiş tungsten karbür alaşımlardan imal edilen pahalı malzemelerdir. Ayrıca uç değişimi esnasındaki duruşlar da üretim kaybına yol açar. Buna ilaveten özellikle sert kayalarda kazı esnasında oluşan açılmalık yükler ve titreşimler vb. nedenlerden dolayı yürüyüş takımlarında, hidrolik sistemlerde, piston, hortum ve bağlantı elemanlarında, zincirli yükleme ünitesinde muhtemel aşınmalar/kırılmalar nedeniyle de parça değişimleri gerekebilmektedir. Bu durum da toplam işletme maliyetine, kazı hızına, dolayısıyla ekonomik bir makine seçimine etki eder (Ersoy, 2012).

Kollu galeri açma makinası kullanılan yeraltı kazılarında keski aşınmaları da kazı verimliliği ve hızı açısından önemli olduğu belirtilmiştir. Keski aşınma boyları kısaldığında kesme derinlikleri azalır, dolayısıyla keski kuvvetleri ve enerji harcaması artar. Bundan dolayı kaya türüne uygun keski seçimi kazı verimliliği açısından önemlidir. Keskinin yapısal ve metalürjik özellikleri, kayaların dayanımları, sertlikleri ile sert ve aşındırıcı mineral içeriklerine bağlı olarak keskinin aşınma hızları değişir. İlgili kaynaklarda keskinin malzeme ve yapısal özellikleri arasında, keski ucunun imal edildiği tungsten tozunun tane boyu, miktarı, porozitesi, içindeki karbon tozu miktarı ve de bağlayıcı madde olan kobalt tozunun oranı sayılmaktadır (Bilgin, 1989). Yapısal özelliklerin dışında kalan formasyon özellikleri olarak ise, kayaların basınç ve çekme dayanımları, içeriğinde sert minerallerin miktarı, oranı, tane şekli ve boyutu, kayacı oluşturan dolgu malzemesi ve bunların birbirleriyle bağlantı şekilleri olduğu ifade edilmektedir (Deketh, 1995). Keskinin aşınmasına ayrıca kesici kafaya yerleştiriliş şekilleri, açıları, kesici kafanın dakikada devir sayısı, kesme derinliği, keskinin kazı sırasında ilerleme oranı, uçların soğutulma şekli ve soğutma verimi gibi parametreler de etkilidir. Keskinin aşınma şekilleri de kendi arasında sınıflandırılmıştır; tungsten karbid ucun tamamen aşınma kopması, tungsten ucun simetrik veya asimetrik aşınması, konik kısmın aşınması ve keski yuvasına giren kısmın kopması vs. şeklindedir (Bilim, 2007).

2.3 Kollu Galeri Açma Makinesi Performans Tahmin Modelleri

Makine üreticileri, her koşulda verimli kazı yapabilecek KGAM'nin üretimi için yoğun çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalar sonucunda daha sert ve aşındırıcılığı yüksek kayalarda çalışabilecek daha ağır ve güçlü makineler üretilmiştir. İleri teknolojiler kullanılan bu pahalı makinelerin üretim aşamaları kadar bunların fiili uygulamada karşılaşılabilecek sorunların önceden tahmin edilmesi ve en uygun kazıcının seçilmesi de büyük önem taşımaktadır. Yerine göre 1 yılı aşkın uzun bir zaman diliminde imalatı yapılabilen bu makinelerin seçiminde yapılacak bir hata, yani kazılacak formasyona uygun olmayan bir makina seçimi, çok ağır maliyetlere ve zaman kayıplarına neden olacağı kesindir. Bu türden istenmeyen sorunlarla yüzleşmemek için, kazı yapılacak formasyonun en net bir şekilde tanımlanmasını, içerdiği kayaların kazılabilirlik özelliklerinin araştırılıp belirlenmesi, kullanılacak kazıcının da uygunluğunun saptanması için yapılacak ön çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Tüm bu parametrelerin bir araya getirilerek KGAM'lerin kazıcı performansını, kazı hızını, yani saatlik/günlük kazabileceği malzemenin metreküp ya da ton bazında miktarını, bu sırada harcanacak enerji ve uç sarfiyatı gibi parametreleri belirlemek için farklı araştırmacılar tarafından pek çok matematiksel modellemeler geliştirilmiştir. Bu modeller, kullanılacak makinenin özelliklerine ilaveten kazılacak formasyon kayaç yapısına ait yerinde ya da laboratuvarda elde edilen deney sonuçlarını temel almaktadır.

Yeraltı kazılarında performans öngörü ve kestirmesinde farklı metotlar kullanılabilir. Daha gerçekçi sonuçlar öngörmek için birden fazla metot uygulanmalıdır. Bu metotlar; kazı yapılacak formasyonda gerçek boyutta bir KGAM kullanımı, tam boyutlu kesme deneyleri, küçük boyutlu kesme deneyleri (karot kesme), ampirik yaklaşımlar, yarı teorik yaklaşımlar olarak bölümlere ayrılabilir.

2.3.1 Arazide Gerçek Boyutlu Bir KGAM ile Performans Tahmini

Adından da anlaşılacağı gibi; kazı yapılması planlanan arazide ya da formasyonda kullanılmış ya da yeni bir KGAM kiralanır, fiilen kazı yapılarak test edilir. Bu konuda örnek, Carlin East Altın Madeni'nde (Colorado/ABD) Breitrick'in 1998 yılında gerçekleştirdiği çalışmadır (Bkz. Mining Engineerin March 1998 Sf. 43-46). En doğru

performans tahmini sonuçları bu şekilde elde edilebilmesine karşın oldukça pahalı ve zaman alıcı bir yöntem olduğundan pratikte uygulanma imkânı sınırlıdır (Tunçdemir, 2002).

2.3.2 Doğrusal Kazı Setleri Kullanılarak Performans Tahmin Yöntemi

Kazı yapılacak kayaç ortamını temsil eden 70x50x50 boyutlarındaki kayaç numunesinin, gerçek boyuttaki disk, konik, ya da kama keskinliklerle laboratuvar ortamında kesilerek elde edilen verilerden sonuca ulaşıldığı bir yöntemdir. Kullanılan kayaç numunesinin oldukça büyük olması, gerçek ölçüdeki keskinliklerin kullanılması, sonuçların hassasiyetini önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu set ile kayaç numunesi kesilirken, fiili kullanımda tam boyutlu bir keskiye etki eden kuvvetler ölçülebilir. Tam boyutlu testler, küçük boyutlu numunelerin ve bilinmeyen kayaç davranışlarından kaynaklanan belirsizlikleri en aza indirdiği için önemlidirler. Burada ölçülen değerler, mekanize kazıcı ve keski seçiminde, kesme geometrisinin belirlenmesinde, performans ve maliyet tayininde kullanılır. Farklı kesme derinlikleri ve keskinlikler arası mesafeler için, üzerinde çalışılan kayacı parçalayabilecek kesme, normal kuvvetler ve spesifik enerji değerleri belirlenir ve Eşitlik 2.6 bağıntısında yerine konularak mekanize bir kazıcı için üretim hızı $m^3/saat$ bazında hesaplanabilir (Rostami,1994).

Tam boyutlu kazı deney setine benzer şekilde küçük boyutlu veya taşınabilir doğrusal kazı deney setleri kullanılarak ta yine mekanize kazıcıların performansları tahmin edilebilmektedir. Bu deney setlerinde özellikle daha küçük boyutlu blok numuneler ve karot numuneler üzerinde de kaya deney setleri yapılabilmekte ve bu yüzden daha kolay ve basit bir deneysel çalışmaya olanak sağlamaktadır.

2.3.3 Kayaçların Mekanik Özelliklerine Bağlı Olarak Performans Tahmini

Araziden alınan küçük boyutlu karotlar veya karot ebatlarında pek çok kayaçtan alınan numuneler üzerinde, arazide ya da laboratuvarlarda yapılan tek eksenli basınç dayanımı veya dolaylı çekme dayanımı deneyleri sonunda elde edilen mekanik özelliklerine ve deney sonu gözlemler sonucunda oluşturulmuş performans tahmin modelleridir. Hız,

pratiklik ve maliyet avantajı gibi unsurlardan dolayı KGAM performans tahminlerinde en çok kullanılan yöntemdir (Tunçdemir, 2002).

2.3.4 Kollu Galeri Açma Makinesi Performans Tahmini için Geliştirilen Modeller

Madencilik ve inşaat sektöründe farklı amaçlar için gerçekleştirilen yeraltı galeri ve tünel kazılarında kullanılan KGAM' lerin imalat aşamasında yüksek teknoloji kullanılmaktadır. Aynı şekilde, bu makinelerin arazide kullanımında doğabilecek, karşılaşılabilecek sorunların önceden tahmininde ve işletme şartlarına en uygun kazıcının seçilmesinde de ileri teknoloji kullanılır. Yüksek bütçeli ileri teknolojik çalışmalarla geliştirilen söz konusu makineler, eğer kazılacak formasyona uygun olarak seçilmediği takdirde milyonlarca dolarlık zararlar veya ek maliyetler oluşabilir. Kazılacak formasyonun özelliklerinin doğru ve gerçekçi bir şekilde tanımlanması, kayaçların kazılabilirlik özelliklerinin dikkatli bir şekilde belirlenmesi ve bunlara bağlı olarak kullanılacak mekanize kazı ekipmanının doğru seçilmesi gerekir. Belirlenen bu parametrelere bağlı olarak ta mekanize kazıcıların kazı performansının önceden tahmin edilmesi oldukça önemlidir.

Bununla birlikte mekanize kazının verimli ve ekonomik olarak gerçekleştirilmesi için önemli olan etkenlerden birisi de kazıcı makinenin kazı performansının kestirilmesidir. Bu amaçla farklı araştırmacılar tarafından birçok model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller genel olarak kazılacak formasyon ve kullanılacak makine özellikleri ile laboratuvar deney sonuçlarına dayanmaktadır. Kollu galeri açma makinelerin kazı hızlarının tahmini için geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan bazı modeller aşağıda belirtilmiştir.

2.3.1 Gehring (1989) modeli

Gehring (1989), sırasıyla 230 ve 250 kW kesici kafa gücüne sahip arına dik ve paralel iki farklı kafaya sahip KGAM için performans tahmin modeli geliştirmiştir.

$$ICR = 719 / UCS^{0.78} \text{ (Kazı yapılan arına dik)} \quad (2.1)$$

$$ICR = 1739 / UCS^{1.13} \text{ (Kazı yapılan arına paralel)} \quad (2.2)$$

Bu denklemde;

UCS: Tek eksenli basınç direnci (MPa)

ICR: Anlık kazı hızı (m³/h)

2.3.2 Bilgin ve diğ. (1990) modeli

Bilgin ve diğ. (1990) tarafından geliştirilen modelde kaya kütle özelliklerine bağlı olarak geliştirilen kaya kütle kazılabilirlik indeks değeri kullanılmıştır. Önerilen eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$ICR = 0.28 \times P \times 0.974^{RMCI} \quad (2.3)$$

$$RMCI = UCS \times (RQD / 100)^{2/3} \quad (2.4)$$

Burada;

ICR: Anlık kazı hızı (m³/h)

P: Kesici kafa gücü (HP)

RMCI: Kaya kütle kazılabilirlik indeks değeri

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

RQD: Kaya kalite göstergesi (%).

2.3.3 Rostami ve diğ. (1994) modeli

Rostami, diğerlerinden farklı olarak kazıda metre küp başına harcanan spesifik enerjiyi içeren aşağıdaki eşitliğin KGAM'ler için kullanılabileceğini ifade etmiştir.

$$ICR = k \times \frac{P}{SE_{Opt.}} \quad (2.5)$$

Burada,

ICR: Anlık kazı hızı (m³ / h)

P: Kesici kafa gücü (kW)

k: Toplam sistem verimliliği (kollu galeri açma makineleri için genelde 0.45 - 0.55 alınır)

SE: Spesifik enerji (kWh/m³)

2.3.4 Çopur ve diğ. (1997, 1998) modeli

Geliştirilen bu modelde araştırmacılar kayaç özelliklerinden tek eksenli basınç dayanımı değeri ile birlikte makine özelliklerini de kullanmışlardır. Evaporitik kayaçların kazısında arına paralel (transverse) tip kollu galeri açma makineleri için geliştirilen bu model aşağıda verilmiştir.

$$ICR = 27.511e^{0.0023(RPI)} \quad (2.6)$$

$$RPI = P \times W / UCS \quad (2.7)$$

Burada;

ICR: Anlık kazı hızı (m³ / h)

P: Kesici kafa gücü (kW)

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

W: Makine ağırlığı (ton)

2.3.5 Thuro and Plinninger (1999) modeli

Thuro ve Plinninger (1999) tarafından geliştirilen modelde kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri kullanılmıştır. Geliştirilen model aşağıdaki gibidir:

$$ICR = 75.7 - 14.3 \ln UCS \quad (2.8)$$

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

ICR: Net kazı hızı (m³/h)

2.3.6 Balcı ve diğ. (2004) modeli

Bu modelde Spesifik enerji değeri ile tek eksenli basınç dayanımı arasında elde edilen ilişkiye bağlı olarak Rostami ve diğ. (1994) tarafından önerilen eşitliği araştırmacılar yeniden tanımlamışlardır.

$$ICR = k \times (P / 0.37 \times UCS^{0.86}) \quad (2.9)$$

$$ICR = k \times (P / 0.41 \times UCS^{0.67}) \quad (2.10)$$

Burada;

ICR: Anlık kazı hızı (m^3 / h)

P: Kesici kafa gücü (kW)

k: Toplam sistem verimliliği (kollu galeri açma makineleri için genelde 0.45 - 0.55 alınır)

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

2.3.7 Tumaç ve diğ. (2007) modeli

İstanbul'da yürütülen pek çok yeraltı toplu taşıma tünel projesinde net kazı hızı ve kayaların tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki araştırılmıştır.

$$ICR = 109.25 \times UCS^{-0.72} \quad (2.11)$$

$$ICR = 81.21 \times SH^{-0.78} \quad (2.12)$$

ICR: Anlık kazı hızı (m^3 / h)

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

SH: Kayaların Shore sertlik değerleri

2.3.8 Ocak ve Bilgin (2010) modeli

İstanbul Kadıköy – Kartal metro tüneli projesinde çalışan kollu galeri açma makinelerinin kazı performansları değerlendirilerek araştırmacılar tarafından bir eşitlik geliştirilmiştir. Bu modelde de yine kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değeri kullanılmıştır.

$$ICR = 510588UCS^{-2.1779} \quad (2.13)$$

2.3.9 Ebrahimabadi ve diğ. (2011) modeli

Geliştirilen bu modelde araştırmacılar kaya kütle özellikleri ile birlikte kayaçların kırılgenlik özelliklerini de kullanmışlardır. Önerilen model aşağıdaki gibidir:

$$RMBI = e^{(UCS/BTS)} \times (RQD / 100)^3 \quad (2.14)$$

$$ICR = 30.75RMBI^{0.23} \quad (2.15)$$

ICR: Anlık kazı hızı (m^3 / h)

RMBI: Kaya kütle kırılgenlik indeks değeri

RQD: Kaya kalite göstergesi (%)

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

BTS: Dolaylı çekme dayanımı (MPa)

2.3.10 Kahraman ve Kahraman (2016) modeli

Kahraman ve Kahraman (2016) tarafından yapılan çalışmada kayaçların fiziksel – mekanik özelliklerine bağlı olarak net kazı hızının tahmin edilmesine çalışılmıştır.

$$ICR = -2.921I_s - 0.79A_w + 22.95 \quad (2.16)$$

ICR: Anlık kazı hızı (m^3/h)

I_s : Nokta yük dayanımı (MPa)

A_w : Ağırlıkça su emme (%)

2.3.11 Çomaklı (2019) modeli

Kayaçların UCS değerlerine bağlı olarak elde edilen bir başka model de Kapadokya bölgesinde açılan soğuk hava depolarının kazısında kullanılan kollu galeri açma makineleri için Çomaklı (2019) tarafından önerilmiştir. Bu modelin proklastik kayalar için geliştirildiği vurgulanmış olup elde edilen model Eşitlik 2.17' te verilmiştir.

$$ICR = 59.785 \times UCS^{0.097} \quad (2.17)$$

ICR: Anlık kazı hızı (m^3 / h)

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

2.4.12 Dıbavar ve diğ. (2023) modeli

Kahraman ve diğ. (2023) Türkiye' de farklı yeraltı kömür işletmesinde kazı yapan kollu galeri açma makinelerinin arazi kazı performanslarını değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar kazılan kaya kütlesi özelliklerini tanımlamak için kaya kütlesi kazılabilirlik sınıflandırması geliştirmişlerdir. Geliştirilen sınıflandırma sistemi ile KGAM arazi verileri arasındaki ilişkileri basit ve çoklu regresyon analizi yöntemleri ile incelemişlerdir. Elde edilen modeller Eşitlik 2.18-2.19' da verilmiştir.

$$NCR = 4,79 \times e^{0.023 RMCC} \quad (112 \text{ kW KGAM eksenel için}) \quad (2.18)$$

$$NCR = 5,53 \times e^{0.024 RMCC} \quad (160 \text{ kW KGAM eksenel için}) \quad (2.19)$$

BÖLÜM III

LİTERATÜR ÖZETİ

3.1 Suya Doygunluğun Kayaçların Mekanik Özelliklerine Etkisi

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı (BTS) gibi dayanım parametreleri kayaçlar üzerinde yapılan tüm mühendislik uygulamaları açısından oldukça önemlidir. Kaya kütlesi üzerinde yapılacak bir uygulamadan önce kaya malzemesinin dayanım özelliklerinin bilinmesi proje başarısını doğrudan etkiler. Ancak bu dayanım parametrelerinin arazi şartlarında değişimine sebep olan artan su içeriği gibi farklı parametreler vardır.

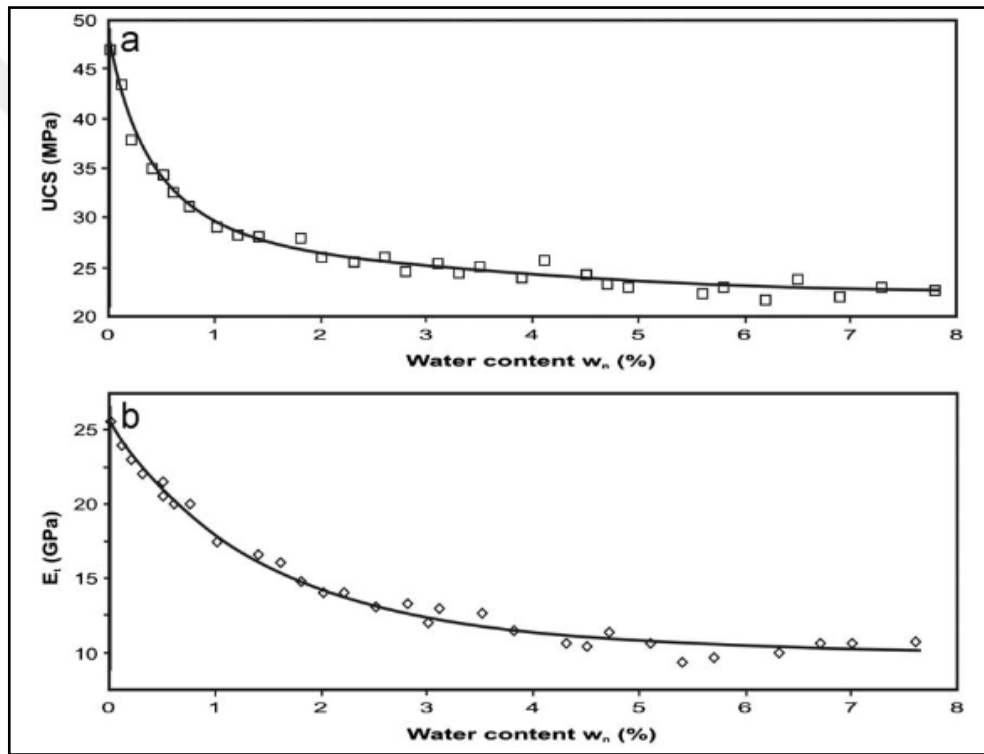
Kayaçların su içeriğinin artması kayaların mekanik özelliklerinin de değişmesine sebep olabilmektedir. Bundan dolayı artan su/nem içeriğinin kayaların mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için birçok çalışma yapılmıştır (Li vd. 2012; Luo, 2020; Vásárhelyi ve Davarpanah, 2018; Vásárhelyi ve Ván, 2006; Yılmaz, 2010; Zhou vd. 2016). Török ve Vásárhelyi (2010), su içeriğinin travertenlerin tek eksenli basınç dayanımı (UCS) üzerindeki etkisini araştırmışlar ve artan su içeriği ile UCS'nin azaldığını bildirmişler; kuru ve suya doymuş şartlardaki UCS değerleri arasında bir ilişki elde etmişlerdir. Benzer bir ilişki sırasıyla jips ve Miyosen kireçtaşı için Yılmaz (2010) ve Vásárhelyi (2005) tarafından elde edilmiştir. Yılmaz (2010) su içeriğine bağlı olarak kayanın UCS ve elastisite modülü değerlerinin değişimini gösteren eğriler elde etmiştir (Şekil 3.1). Ayrıca su içeriğinin jipsin UCS değerinin ve elastisite modülü üzerindeki etkisini ifade etmek için aşağıdaki eşitlikleri önermiştir (Eşitlik 3.1 – 3.2).

$$UCS_{Doygun} = 0.3492xUCS_{Kuru} \quad (R^2 = 0.89) \quad (3.1)$$

$$Et_{Doygun} = 0.5363xEt_{Kuru} \quad (R^2 = 0.87) \quad (3.2)$$

Hawkins ve McConnell (1992), suya doymuş kilce zengin Kretase yeşil kumtaşı numunesinin UCS değerleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak suya doymuş durumda numunelerin UCS değerlerinin azaldığını; kuru ve doymuş koşullarda

elde edilen UCS değerleri arasındaki farkın yaklaşık %78 olduğunu bildirmişlerdir. Rajabzadeh vd. (2012) ise kireçtaşları için benzer bir çalışma yapmışlar doymuş durumdaki UCS değerlerinin kuru durumdakilerin %70 'i olduğunu bildirmiştir. Li ve Reddish (2004) ise farklı olarak çatlaklı yapının suya doygunlukla birlikte etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak sağlam kayaların artan su içeriği ile birlikte UCS değerlerindeki azalmanın çatlaklı yapıdaki kayalara kıyasla daha az olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmalara benzer şekilde yapılmış daha pek çok çalışma vardır ve genel olarak artan su içeriğinin kayaların dayanım değerlerini düşürdüğünü bildirmektedir (Tang, 2018; Karakul ve Ulusay, 2013; Wong ve Jong, 2014; Li vd., 2012).

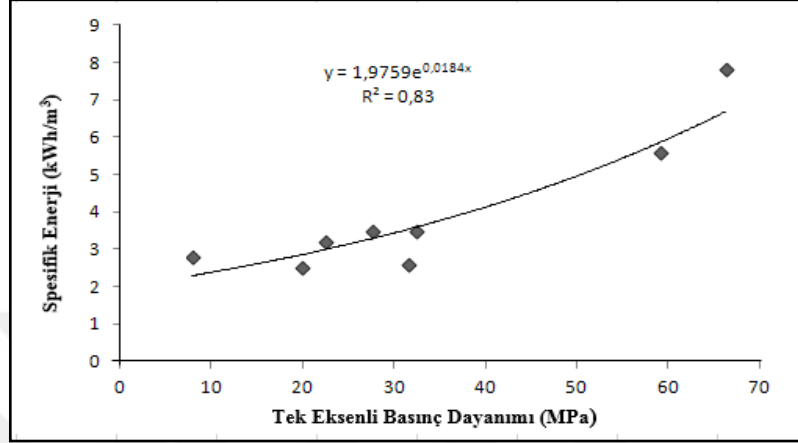


Şekil 3.1. Jips numunesi için artan su içeriğine göre UCS ve elastisite modülü değerlerinin değişimi (Yılmaz, 2010)

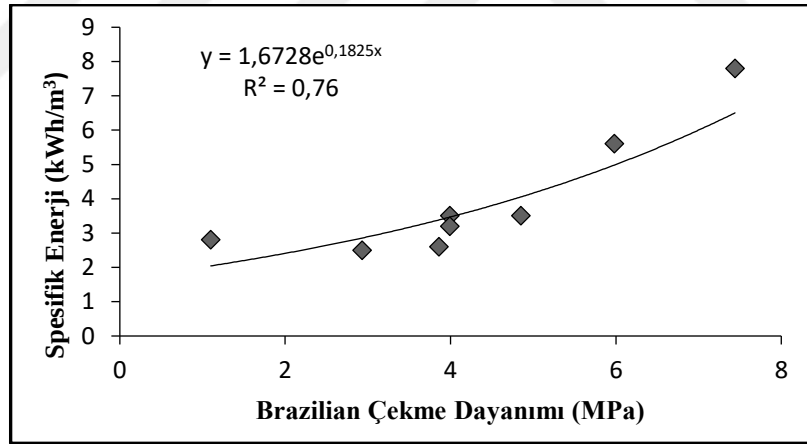
Kayaçların UCS değerleri özellikle kazılabilirliklerinin tahmin edilmesinde kullanılan oldukça önemli bir parametredir. Nitekim farklı araştırmacılar tarafından ve Bölüm 2’ de verilen birçok model geliştirilirken kayaçların UCS değerinin kullanıldığı görülmektedir.

İlgili modeller değerlendirildiğinde artan su içeriği ile birlikte değişecek UCS değeri mekanize kazıcının performansının değişmesine sebep olacaktır. Kazı performansında

önemli parametrelerden birisi de makinenin harcadığı spesifik enerji miktarıdır. Spesifik enerji ile kazılan kaya malzemesinin UCS ve BTS değerleri arasında da ilişki vardır. Şekil 3.2 – 3.3’ te Çomaklı (2010) tarafından elde edilen ilişkiler de kayaçların UCS ve BTS değerlerinin artması ile spesifik enerji değerlerinin de arttığını göstermektedir.



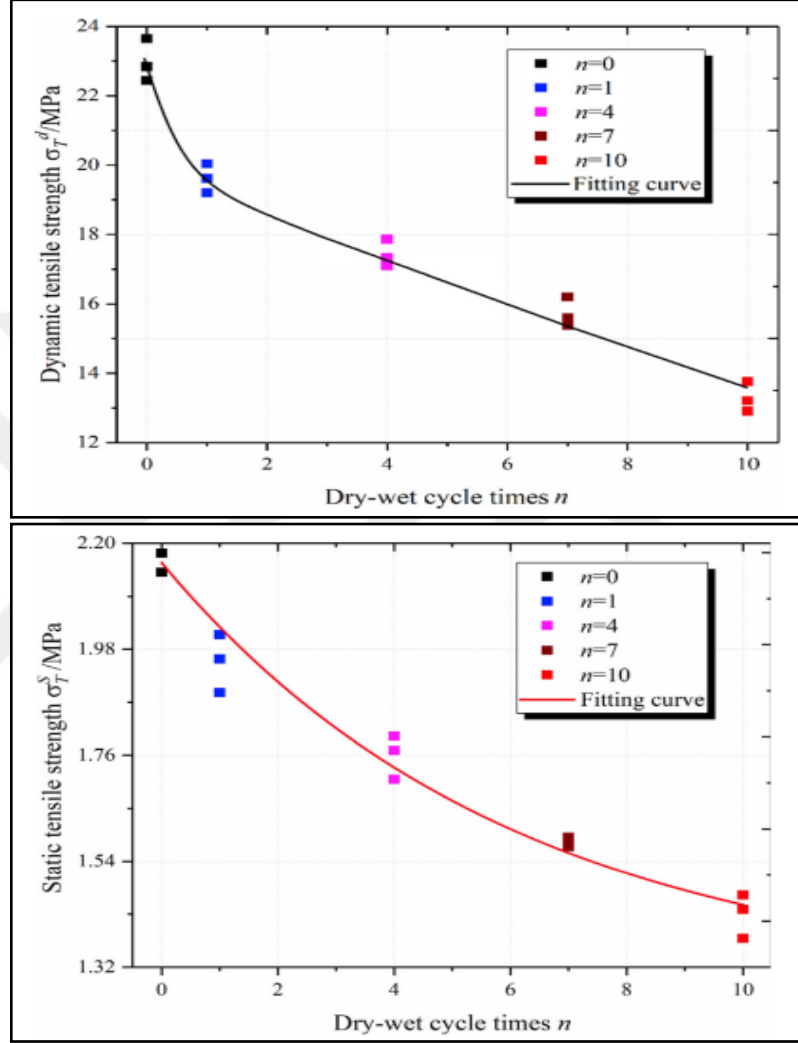
Şekil 3.2. Spesifik enerji ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki (Çomaklı, 2010)



Şekil 3.3. Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki (Çomaklı, 2010)

Brazilian (endirekt) çekme dayanımı (BTS) da kayaçların önemli bir mekanik özelliği olduğu için, artan su içeriğinin BTS değerleri üzerindeki etkileri de farklı araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Vutukuri, 1974; Wong ve Jong, 2014; Zhao vd., 2017). Zhou vd. (2018), düşük kil mineral içeriğine sahip kumtaşının çekme dayanımının ıslanma ile önemli ölçüde azaldığını bulmuşlardır. Benzer bir sonuç başka araştırmacılar tarafından farklı kaya türleri için elde edilmiştir (Ergüler ve Ulusay, 2009; Karakul ve Ulusay, 2013).

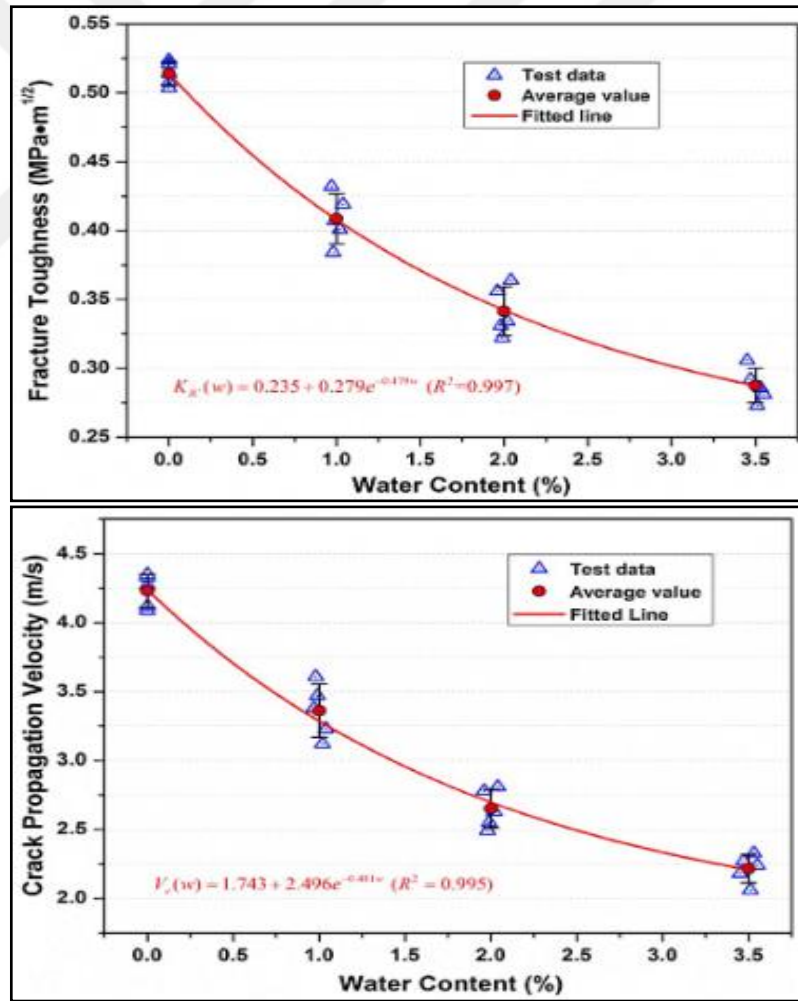
Yinga vd. (2022) kumtaşı numunesinin belirli sayıdaki ıslanma ve kuruma döngüsü sonucunda dinamik ve statik çekme dayanımları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak kuruma ve ıslanma döngü sayısı arttıkça kumtaşının hem dinamik hem de statik çekme dayanımlarının azaldığı bildirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kumtaşı numunesinin kuruma ıslanma döngüsü sonucunda çekme dayanımı değerlerinin değişimi (Yinga vd., 2022)

Öte yandan kayaçların kazılabilirliklerinin belirlenmesinde etkili olan çatlak gelişimi ve kayaların kırılabilirliğine suyun etkileri de birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Lim vd. 1994; Haberfield ve Johnston 2011; Jin vd. 2011; Hao vd. 2015; Guha Roy vd. 2017). Zhao vd. (2017), 2, 4, 6, 10 ve 15 ıslanma-kuruma döngüsüne sahip kumtaşı numuneleri üzerinde BTS testleri gerçekleştirmiş ve suyun test edilen kayaçların kırılabilirliğini azalttığını göstermiştir. Roy vd. (2017), test edilen kayaçların kırılma tokluğunun artan doygunluk seviyeleri ile azaldığını gözlemlemişler ve suya doymuş kayaların kırılma

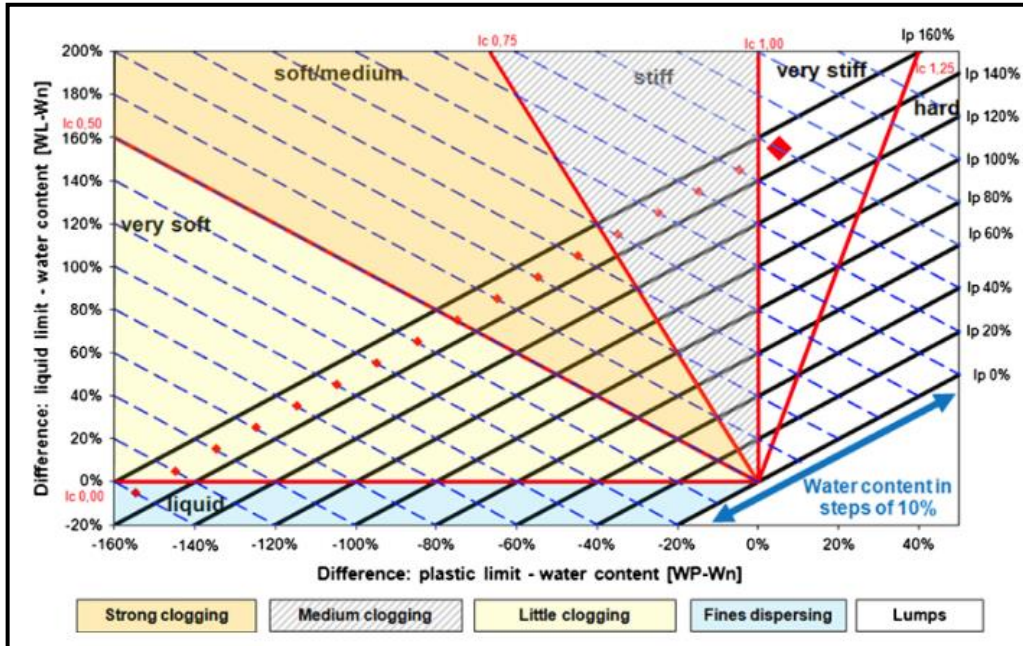
mekanizmasının kuru kayalardan önemli ölçüde farklı olduğunu vurgulamışlardır. Rui-qing vd. (2015), suyun üç farklı kaya örneğinin çatlak büyümesi ve kırılma tokluğu üzerindeki etkilerini araştırmış ve kayaların kırılma tokluğunun kuru koşullarda doymuş koşullara göre daha yüksek olduğunu ve suya doygun şartlarda çatlak gelişiminin daha sınırlı olduğunu bildirmişlerdir. Wong ve Jong (2014), yüksek hızlı video teknikleri kullanarak su doygunluğunun alçıtaşının çatlama süreçleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Araştırmacılar gelişen çatlak sayısı ve çatlak ilerleme hızının kuru ve ıslak koşullarda farklı özellikler gösterdiğini bildirmişlerdir. Zhou vd. (2018) yaptıkları çalışmada artan su içeriğinin kumtaşı numunesinin kırılma tokluğu ve deney esnasındaki çatlak gelişimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak araştırmacılar su içeriği arttıkça hem kırılma tokluğunun hem de çatlak gelişim hızının azaldığını rapor etmişlerdir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Artan su içeriğine bağlı olarak kumtaşı numunesinin kırılma tokluğu ve çatlak gelişimi üzerine etkileri (Zhou vd., 2018)

3.2 Suya Doygunluğun Killi Kayaçların Kazılabilirliğine Etkisi

Artan su içeriğinin kayaçların mekanik özellikleri üzerinde etkisi olduğu gibi şüphesiz ki kazılabilirlikleri üzerinde de etkisi mevcuttur. Artan su içeriği özellikle Tünel Açma Makinası (TBM) ile zeminlerde yapılan kazılarda önemli problemlere sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı çalışmalar daha çok zemin formasyonlarında TBM kazıları üzerine yoğunlaşmış ve genellikle bildirilen problem, killi zeminlerde kazılan malzemenin kesikleri ve kesici kafayı bloke etmesi ve TBM' in sıkışması üzerine olmuştur (Thewes ve Burger, 2005; Feinendegen vd., 2011; Hollmann, 2014; Hollmann ve Thewes, 2013; Thewes ve Hollmann, 2014; Zumsteg vd. 2016). TBM kazıları için killerin keskilere yapışma durumu/oranı birçok araştırmacı tarafından laboratuvar ortamında araştırılmıştır (Thewes, 1999; Sass ve Burbaum, 2008; Feinendegen vd., 2011; Zumsteg ve Puzrin, 2012). Daha ileri aşamada karşılaşılan en büyük problem ise TBM kazı sisteminin tamamen tıkanmasıdır ki Hollman ve Thewes (2013) zemin kazılarında TBM' ler için potansiyel diyagramı hazırlamışlardır (Şekil 3.6). Diğer taraftan TBM kazılarında tıkanmayı önlemek için de yapılmış birçok çalışma vardır. Bu çalışmalar genel olarak kimyasal katkı köpüklerin kullanımı ile zeminin şartlandırılması prensibine dayanmaktadır (Peila vd. 2013; 2016; 2019; Langmaack, 2000; Langmaack ve Lee, 2016).



Şekil 3.6. TBM tıkanma sınıflandırma diyagramı (Hollman ve Thewes, 2013)

Killerin özelliklerine göre TBM kesicilerin ve kesici kafanın veya bant konveyörlerin tıkanma durumları değişiklik göstermektedir. Killer mineralojik özellikleri, kimyasal yapıları veya fiziksel özellikleri gibi değişkenlere bağlı olarak farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Genel olarak killer; kaolinit, smektit, illit ve vermikülitler ve klorit grubu kil mineralleri olarak gruplandırılabilir (Yıldırım, 2009; Malayoğlu ve Akar, 1995). Tüm bu kil gruplarının şişme, su emme veya sıkışma özellikleri farklılık göstermektedir. Örneğin, kil mineralleri arasında bilinen en düşük su alarak şişme kapasitesine sahip kil minerali, kaolinittir. İllit, %15 şişme gösterirken İllit-montmorillonit karışımında %60 ila %100 oranında şişme görülebilmektedir. Su ile teması sonucunda killerin davranışları farklılık gösterir. Su ile temas eden kuru kil, suyu absorbe edip emer, şişer, hacmi genişler, yumuşar, yoğrulabilir ve şekillendirilebilir bir kıvama gelir. Kil kristalinin fiziksel yapısından kaynaklanan bu durum, plastikleşme olarak adlandırılır. Plastikleşme mekanizması ise en basit anlatımla şu şekilde çalışır: Su molekülleri kil kristalinin tabakaları arasına sızar, kütleyi kapatıp şişirir ve yağlayıcı gibi davranarak tabakaların birbirleri üzerinde kaymasını sağlarlar. Böylece kil kütlesi kolayca şekil değiştirebilir hale gelerek kendisine verilen biçimi alabilir, yani plastikleşir. (Yıldırım, 2009).

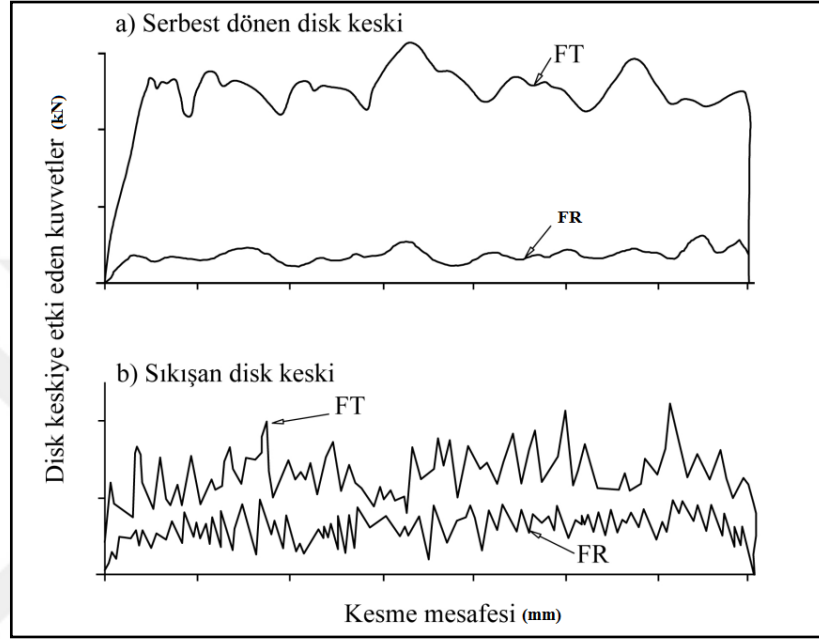
Killer üzerindeki gerçekleştirilen mühendislik uygulamalarının büyük çoğunluğu kildeki doğal su içeriğini bozar. Bahsedilen mühendislik uygulamaları, kil üzerine doğal veya yapay yükler ve gerilmeler uygulayarak iç yapısında nem hareketine sebep olur. Sulu kil sistemi içerisinde bulunan içsel eğimden kaynaklanan kuvvetlerle oluşan bu nem hareketi, killerdeki hacimsel değişimleri kontrol eder. İçsel eğim ise kil bünyesindeki su doygunluğunun artması, sıcaklığın değişmesi ve kimyasal bileşimdeki değişimlerden ortaya çıkar. Killerde su emerek şişme ve kuruma sonucu büzülme gibi kazı esnasında istenmeyen davranışlar, bahsettiğimiz nem hareketlerinden dolayı ortaya çıkar. Özetle, su muhtevası killerin mühendislik davranışlarını etkileyen en önemli faktördür ve killi zemin veya kil içerikli kayalarda yapılacak mühendislik çalışmalarında, su etkisiyle killerin davranışlarında meydana gelecek değişimlere bağlı olarak birçok problem yaşanabilmektedir. Bu problemlerin araştırılması ve çözüm geliştirilmesine yönelik yapılmış birçok çalışma vardır (Mahdi vd., 2019; Zhou ve Tang., 2015; Yıldırım, 2009; Avşar vd., 2009; Shi vd., 2002; Al-Rawas vd., 2002; Abdullah vd., 1999). Yapılan bu çalışmalar genel olarak killi zemin ve kil içerikli kayalar üzerinde çok katlı bina, baraj ve

tünel gibi yapıların inşası sırasında değişen kil davranışlarına bağlı olarak karşılaşılan problemlerin tanımlanması ve bu problemlere çözüm önerileri sunulması üzerine olmuştur. Yıldırım (2009) NATM yöntemi ile tünel kazısı esnasında kilin tünel çevresinde oluşturacağı davranış farklılıklarını modellemeye çalışmıştır. Tüm bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında mühendislik uygulamalarında değişen su içeriğine bağlı olarak killerin kıvamında ve dolayısıyla davranışlarında meydana gelecek değişimlerin önceden kestirilmesinin oldukça önemli olduğu anlaşılmıştır. Bu doğrultuda killerin kıvamında, su içeriğine bağlı olarak ortaya çıkan değişimleri deneysel olarak belirleyebilmek amacıyla sınır su muhtevası (içeriği) değerleri tanımlanmıştır. Kıvam limitleri olarak ta adlandırılan bu su içerik değerlerini belirlemek için kullanılan deney yöntemleri, 1911 yılında Atterberg tarafından geliştirilmiştir. Bununla birlikte killerin tanımlanması ve davranışlarının kestirilebilmesi için X-ray analizleri, nem analizleri, yüzey alanı tanımlanması, pH analizleri ve şişme analizleri gibi farklı yöntemlerde kullanılabilmektedir (Malayoğlu ve Akar, 1995).

Mühendislik yapılarının tasarımının aşamasında olduğu gibi tünel ve madenlerin kazı aşamalarında da kayaç veya zeminlerdeki kil içeriği mekanize kazıcılar için büyük problemler oluşturmaktadır. Şöyle ki, killi zemin ve kil bakımından zengin kayaçların kazısı sırasında yeraltı suyu veya kazı sırasında kullanılan su ile birlikte kil minerallerinin davranışlarında farklılıklar oluşmaktadır. Nitekim Mollamahmutoğlu (2000) yaptıkları çalışmada killerin şişmesi olayına etki eden parametrelerden birisinin de yeraltı suyunun olduğunu özellikle belirtmişlerdir. Makine ile zeminlerin kazısı sırasında karşılaşılan bu problemler genel olarak kil şişmesine bağlı olarak kesici kafanın veya keskilerin sıkışması şeklinde olmaktadır.

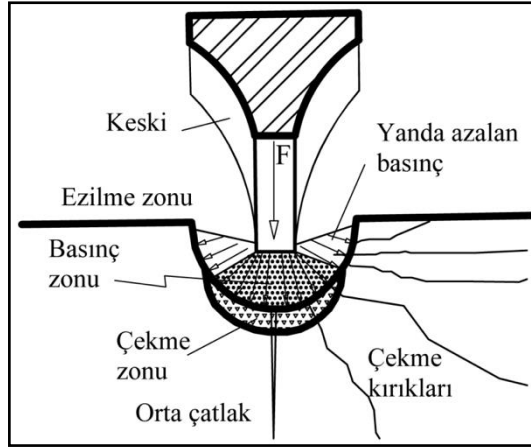
Kil içerikli formasyonlar, zemin kazıları bağlamında incelenmiş olsa da kil içerikli kaya kütlelerinin kazısı sırasında da killi zeminde karşılaşılan problemlere benzer problemlerle karşılaşmak mümkündür. Örneğin aynı şekilde kil içerikli kaya formasyonlarının kazısı sırasında kazılan malzeme keskilere yapışabilmekte ve bu durum keskilerin bloke olmasına ve keskilere etki eden kuvvetlerin anormal şekilde artmasına, dolayısıyla verimsiz bir kazının oluşmasına sebep olmaktadır (Roxborough, 2004). Şekil 3.7’de disk keskinin sıkışması durumunda keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvveti değerlerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Ayrıca bu durum keskilerin aşınmasını

hızlandıracak ve tek taraflı aşınmanın meydana gelmesine sebep olacaktır (Bilgin vd., 2012, 2014). Bunun yanında özellikle düşük dayanımlı tuf gibi kayalarda kayaç içerisinde artan su içeriğinin KGAM'larda kesici uç tüketimini artırdığı; bunun sebebinin de kesici uç ile tutucu arasına giren ve keskiyi saran malzemenin kesici ucu bloke etmesinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Çomaklı, 2019a; 2019b).

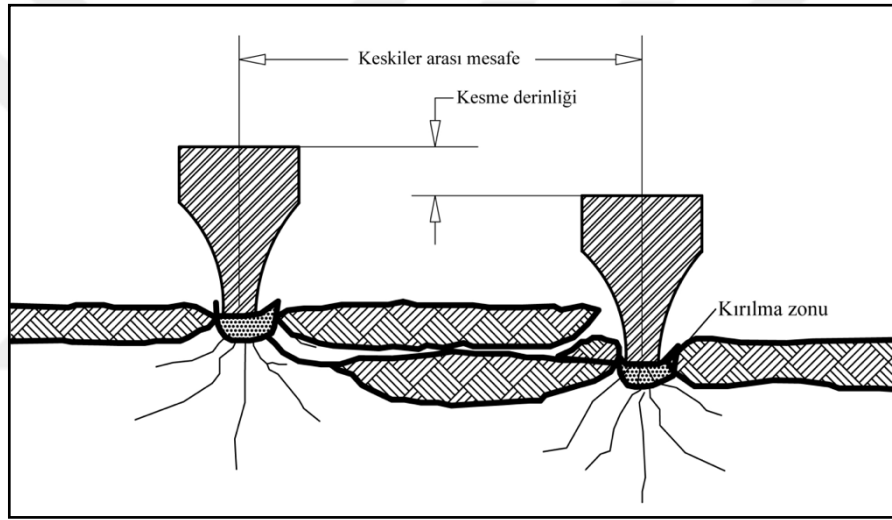


Şekil 3.7. Serbest dönen ve sıkışan disk keski üzerine etki eden kuvvetlerin gösterimi (Roxborough, 2004)

Diğer taraftan kayaların kazılması sırasında kayaç keski etkileşimi sonucunda çatlak oluşumu verimli bir kazı için oldukça önemlidir. Şekil 3.8’ de görüldüğü gibi kazı esnasında keskinin kaya yüzeyine uyguladığı basınçla birlikte kaya yüzeyinde öncelikle basınç zonu ve ezilmiş zon ve orta çatlak oluşmaktadır. Daha sonra ise çekme çatlakları oluşmaktadır. Oluşan bu çekme çatlakları daha sonra keskilerin etkileşimi sonucunda birleşmekte ve böylece kayadan parça koparak kazılmasını sağlamaktadır (Özdemir vd. 1978) (Şekil 3.9). Bölüm 2.1’ de verilen çalışmalarda artan su içeriğinin kayalarda çatlak oluşumu üzerine etkilerinin incelendiği ve çatlak oluşumunun suya doymun şartlarda kuru şartlara kıyasla yavaşladığı bildirilmiştir. Bu kapsamda kazı veriminin suya doymun şartlarda kaya türüne göre değişebileceği sonucuna varılabilmektedir.



Şekil 3.8. Disk keski altındaki kırılma zonu (Özdemir vd. 1978)



Şekil 3.9. Disk keskinin kayaya kesme ve keskinin arasında çip oluşumu (Özdemir vd. 1978)

Diğer bir taraftan tek başına düşünüldüğünde bile kayaçların su içeriğindeki değişimin kayaçların kazılabilirlikleri üzerinde etkilerinin olduğu da açıktır. Bu konu ile ilgili literatürde az sayıda da olsa yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Yadav ve Hagan (2017) yaptıkları çalışmada iki farklı kayaç üzerinde kuru ve suya doymun durumda disk keskinin kullanarak kaya kesme deneyleri yapmışlardır. Benzer çalışmalar tek bir kaya numunesi üzerinde farklı araştırmacılar tarafından da yapılmıştır (Abu Bakar, 2012; Abu Bakar ve Gertsch, 2011; Abu Bakar ve Gertsch, 2012; Abu Bakar ve diğ., 2014). Tüm bu çalışmalarda suya doymun kayaçlarda keskinin üzerine etki eden kuvvetlerin ve spesifik enerjinin azaldığı sonuçları bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlara göre arazide (uygulamada) artan su içeriği ile birlikte laboratuvar kaya kesme deneyleri yardımıyla

tahmin edilen net kazı hızı değerinden daha yüksek bir kazı hızı değerinin elde edilebileceği düşünülse bile uygulamada bu durum tam tersi şekilde gerçekleşebilmektedir. Şöyle ki, özellikle kil içeriğinin fazla olduğu kayaçlarda artan su içeriği ile birlikte kayaçlarda oluşacak çatlak gelişimi ve kayaçtan parça kopması azalacaktır. Zhao vd., (2018) tarafından yapılan çalışmada kayaçlarda çatlak oluşumunun su içeriğine bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Sonuç olarak araştırmacılar kayaç içerisindeki çatlak yapısının su içeriği arttıkça azalacağını belirtmişlerdir. Oysa ki kayaçların kazısı sırasında oluşacak mikro çatlaklar kayaçtan parça (chip) kopmasına ve dolayısıyla da parçalanarak kazılmasına sebep olmaktadır. Şekil 3.8 – 3.9’ de oluşacak bu çatlak yapısının oluşumu ve kayaçların kazısı için önemi görülmektedir. İlgili şekilde görüldüğü gibi keskinler üzerine etki eden kuvvetler yardımıyla kayaç üzerinde çatlaklar oluşmakta ve bu çatlakların birleşmesi ile kayadan parça koparak kazılması sağlanmaktadır. Çatlak ağının oluşumu kayaç kazılabilirliği için oldukça önemli bir konu olmasından dolayı bu konu üzerine yapılan birçok araştırma literatürde mevcuttur (Rostami vd., 2002; Chen ve Labuz, 2006; Gong vd., 2006; Zhang et al., 2012; Yin et al., 2014). Kil içeriğine sahip kayaçlarda kazı yapılırken Şekil 3.9’ te verilen çatlak yapısının daha verimsiz şekilde gelişmesi beklenmektedir. Çünkü kayaç içerisindeki kil yapısı kayaca daha elastik bir yapı kazandıracağından parça kopmasını engelleyecektir. Ayrıca artan su içeriği ile birlikte keskinlerin şişmesi veya daha plastik bir hal alması ve kesici kafaya ve keskinlere sarılması/yapışması problemi oluşacaktır. Bu durum da yine kazı performansını olumsuz etkileyecektir.

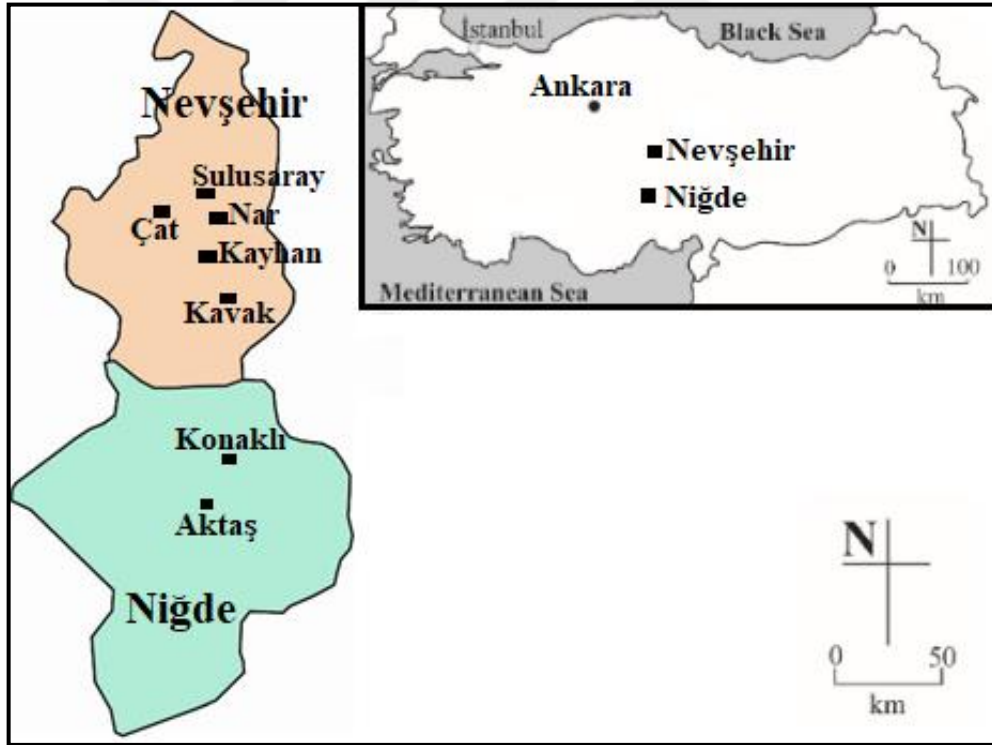
BÖLÜM IV

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Arazi Çalışmaları

4.1.1 Projenin Tanımı

Bu tez çalışmasının en önemli bölümünü KGAM arazi verilerinin elde edilmesi oluşturmaktadır. KGAM arazi verileri Niğde ve Nevşehir bölgelerinde bulunan 9 farklı soğuk hava deposu kazısı için elde edilmiştir. Çalışma sahaları genel olarak Kapadokya bölgesi içerisinde yer almakta olup çalışma alanı Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Proje alanlarının Kapadokya Bölgesi'ndeki konumu.

Kolay kazılabilen, tahkimat gereksinimi olmayan ve gözenekli yapısından dolayı doğal havalandırmaya olanak sağlayan yapıya sahip olmaları gibi farklı avantajlarından dolayı Kapadokya bölgesindeki piroklastik kayalar içerisinde her yıl çok sayıda soğuk hava

deposu kazısı yapılmaktadır. Her biri birbirinden bağımsız havalandırma ve soğutma imkânları bulunan bölümlerden oluşan soğuk hava depoları, yer üstü soğuk hava depolarındaki teknolojiyi yeraltında kullanarak ekonomik, sağlıklı ve doğal depolama olanağı sağlar. Bölgede yapılan soğuk hava depolarının genel bir görüntüsü Fotoğraf 4.1’ de verilmiştir.



Fotoğraf 4.1. Kapadokya bölgesinde yapımı tamamlanmış bir soğuk hava deposunun genel görüntüsü

Bölgedeki soğuk hava depolarının tasarımı genel olarak benzerlik göstermekte olup, genellikle bir ana galeri ve bu galerinin her iki tarafında (sol ve sağ) birden fazla depolama

odası olacak şekilde kazılmaktadırlar (Fotoğraf 4.2). Kazılan depoların boyutları formasyon özelliklerine ve bölgelere göre değişiklik göstermektedir.



Fotoğraf 4.2. Kapadokya bölgesinde kazısı yapılan soğuk hava depolarının genel görünümü (solda), kuru ortam kazıları (orta), sulu ortam kazıları (sağda)

4.1.2. Bölgenin Jeolojisi

Bu çalışmada ele alınan yeraltı soğuk hava depoları, İç Anadolu Bölgesi dahilindeki Kapadokya Bölgesi'nde bulunan Kapadokya Volkanik Kompleksi'ndeki (KVK) Neojen dönemi piroklastik kayalar içerisinde inşa edilmiştir. Kapadokya Volkanik Kompleksi 40-60 km genişlikte olup KD-GB yönünde 250 km'den fazla uzunluğa sahiptir (Toprak vd. 1994). Bu bölge güneyde Toros dağ kuşağı, kuzeyde Kırşehir bölgesi, batıda Hasan Dağı ve doğuda Erciyes Dağları ile sınırlanmıştır. Kapadokya Bölgesi'nin jeolojisi genel olarak Neojen öncesi (Pre-Neojen) granitik kayalar, Neojen tortul kayaçlar, Neojen dönemi volkanik sedimanter ve Kuaterner volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bölgedeki Neojen-Kuaterner yaşlı volkanik sedimanterler esas olarak ignimbritlerden oluşmaktadır. Bölgedeki ignimbritlerin en yaşlısından en gencine doğru stratigrafisi sırasıyla Kavak, Zelve, Sarımaden, Sofular, Cemilköy, Tahar, Gördeles, Kızılkaya, Valibaba ve Kumtepe olarak sınıflandırılabilir (Aydar vd., 2012).

Kapadokya'nın volkanik birimleri genellikle kirli beyaz, gri ve pembe renklerde ve kırıntılı olup, ince taneliden kaba taneliye doğru bir değişim gösterir, irili ufaklı kapalı

pomza ve obsidiyen topakları, yerel kaynaklı tüfler, farklı büyüklüklerde kil ve marnlı kil yataklarıyla ara katlı tüfler içerisinde yer alır. İncelediğimiz yeraltı soğuk hava depoları, Yeşilhisar formasyonunu kapsayan ve bölgede yaygın olarak yüzeylenen Ürgüp volkanik formasyonunun ignimbirit birimlerinin içerisinde yer alırlar. Bu formasyon, çeşitli piroklastik çökeltilerle iç içe geçmiş kıtasal (akarsudan göle kadar) çökeltilerden oluşur. Hemen hemen yatay yerleşik olan bu formasyon platosu Ürgüp yakınlarında 1100 – 1200 m yüksekliktedir. Formasyon, içindeki hem dikey hem de yatay yönde çok belirgin litolojik değişkenlik nedeniyle, yakın zamanda 10 volkanik birime bölünmüştür. Ürgüp formasyonundan geçen her bir birim hakkında kısa jeolojik bilgiler veren düşey kısım Şekil- 4.2' te gösterilmiştir (Coşkun vd. 2016).

EPOCH	AGE (Ma)	LITHOLOGY	DEFINITION	Ar/Ar AGE (Ma)
PLEISTOCENE			Acıgöl Rhyolites Acıgöl Basalt Kumtepe Ignim.	
			Göllüdağ Rhyolites Basaalts	
			Valibabatepe Ign.	2.52 ± 0.49
			Kışladağ Limestone Derinkuyu Andesite	
			Kızılkaya Ign.	5.19 ± 0.017
			Hodul Lavas Fluvio-Lacustrine Sediments	
			Gördeles Ign.	6.24 ± 0.07
			Fluvio-Lacustrine Sediments	
			Tahar Ign.	6.14 ± 0.22
			Fluvio-Lacustrine Sediments Air fall deposit Fluvio-Lacustrine Sediments	
			Cemilköy Ign.	7.20 ± 0.09
			Fluvio-Lacustrine Sediments Topuzdağ Lavas	
			Sofular Ign.	8.17 ± 0.08
			Sarımadentepe Ign.	8.44 ± 0.12
			Fluvio-Lacustrine Sediments Zelve Ign.	
			Kavak4 Ign.	9.19 ± 0.15
			Kavak3 Ign.	9.20 ± 0.10
			Kavak2 Ign.	
			Kavak1 Ign. Damsa Lavas	9.12 ± 0.09
			Erdaş Andesite	
Upper Cretaceous	Basement		Acıgöl Granite	78.44 ± 0.29

Şekil 4.2. Kapadokya tüf dizilimi dikey kesit (Temel 1992; Temel et al. 1998)

4.1.3 KGAM Arazi Verilerinin Alınması

Bu çalışma kapsamında KGAM kazı performansı analiz edilen kazı alanları, Niğde'de Aktaş ve Konaklı kasabalarında; Nevşehir bölgesinde ise Çat, Sulusaray, Kayhan, Nar ve

Kavak bölgelerinde bulunmaktadır. Kazılan soğuk hava depolarının boyutları ile ilgili temel özellikler her bir proje sahası için kazı performans çizelgelerinde verilmiştir.

Aktaş ve Konaklı çalışma alanlarında kuru ve sulu ortam kazılarından KGAM verileri farklı zamanlarda alınmış olup sulu ortam kazıları, mevsimsel yağışlardan kaynaklı olarak gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde Nevşehir bölgesindeki Çat, Kayhan ve Kavak çalışma sahalarındaki kazılar da farklı tarihlerde yapılmış olup sulu ortam kazıları genel olarak bölgedeki yağışlardan ve belirli orandaki yer altı su gelirinden kaynaklanmıştır. Nevşehir bölgesindeki diğer çalışma alanları olan Nar ve Sulusaray sahalarında ise kuru ve sulu ortam kazıları hemen hemen aynı zaman aralıklarında yapılmış olup sulu ortam kazılarına mevsimsel yağışlardan ziyade yeraltı su varlığı sebep olmuştur. Kuru ve sulu ortam kazılarının yapıldığı depolara ait Fotoğraf 4.2’te verilmiştir. Arazi kazı performans parametreleri tamamen aynı teknik özelliklere sahip iki farklı KGAM için elde edilmiş olup bu KGAM’lara ait genel görüntü Fotoğraf 4.3’te ve teknik özellikleri ise Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Fotoğraf 4.3. Soğuk hava deposu kazılarında kullanılan KAGM’ın genel görüntüsü

Çizelge 4.1. Arazi kazı performans verileri kaydedilen KGAM' ların teknik özellikleri

Özellikler	
Model	PAURAT E 134
Ağırlık (t)	55
Kesici kafa tipi	Eksenel
Toplam güç (kW)	370
Kesici kafa gücü (kW)	200
Kesici kafa çapı (cm)	130
Keski tipi	Konik
Keski sayısı	64

Arazi çalışmaları kapsamında kazılan malzemenin kuru ortamda yapılan kazılara kıyasla sulu ortamda yapılan kazılar esnasında kesici kafaya ve keskilere önemli derecede yapıştığı gözlemlenmiştir (Fotoğraf 4.4). Kuru ortamda yapılan kazılarda ise bu durum ortaya çıkmamıştır. Yapışan malzeme KGAM performansını olumsuz etkilemektedir. Tez çalışması esnasında KGAM' lara ait arazi kuvvet ve spesifik enerji değerleri uygun ekipman olmaması ve KGAM' lar üzerinde bu verileri kaydeden bir sistem bulunmamasından dolayı kaydedilememiştir. Ancak anlık kazı hızı, kesici uç tüketim değeri gibi arazi verileri kuru ve sulu ortam kazıları için kaydedilmiştir.

Sulu ve kuru ortam kazılarında KGAM arazi verileri değerlendirilirken, kesici kafaya ve kesici uçlara yapışan malzemenin özellikle kesici uçların kazılacak formasyonla temasını engellediği görülmüştür. Bununla birlikte kesici uçların kesici kafaya sabitlendiği kısımlara dolan malzemenin kesici uçların dönüşünü de engellediği belirlenmiştir. Kazı performansının sulu ortam kazılarında olumsuz etkilenmesinden dolayı kazı sık sık durdurulmakta ve kesici kafaya yapışan malzemeler temizlendikten sonra kazıya devam edilebilmektedir. Bu durumun makine kullanım oranını ve dolayısıyla da kazı hızını olumsuz etkileyen öncelikli parametre olduğu söylenebilir. Bununla birlikte kesici kafaya yapışan malzemenin KGAM enerji tüketim değerlerini de artırdığı gözlemlense de detaylı analiz edilemediği için bu parametre değerlendirmeye alınamamıştır. 9 farklı soğuk hava deposu kazısı için kaydedilen KGAM arazi verileri detaylı olarak Çizelge 4.2 – 4.10' da verilmiştir. KGAM' ların ortalama performans değerleri ise toplu olarak Çizelge 4.11' de verilmiştir.



Fotoğraf 4.4 Soğuk hava deposu kazılarında kuru ortam (solda) ve sulu ortamda (sağda) yapılan kazılar sırasında kazılan malzemenin kesici kafaya ve keskilere yapışma durumu

Bir diğer sorun ise genellikle taşıyıcı sistemde karşımıza çıkmaktadır. Bazı durumlarda büyük bloklar hareket mekanizmasının arasına sıkışabilmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için yürüyüş sistemi ters yönde döndürülür (Fotoğraf 4.5). Bu sorunlar ortalama anlık kazı hızının düşmesine neden olmaktadır.



Fotoğraf 4.5. Taşıyıcı Sistem

Çizelge 4.2. Kayhan -1 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri

Kayhan 1		Kuru SHD	Yaş SHD
Kazı faaliyet tarihleri	Başlangıç		
	Bitiş		
Kullanılan makine	Model / Ağırlık (ton)	Paurat E 134 55 TON	Paurat E 134 55 TON
	Enerji (kW)	370	370
Günlük çalışma süresi (saat)		8	8
Günlük kazı süresi (saat)		5,0	4,15
Günlük makine arıza bakımı (saat)		1,75	2,75
Yemek ve kahve molası (saat)		1,25	1,10
Ana galeri sayısı		1	1
Ana galeri ölçümleri (m) uzunluk/ genişlik / yükseklik		140.00 * 6.50 * 7.20	140.00 * 6.50 * 7.20
Depo sayısı		60	60
Depo ölçümleri (m)uzunluk/ genişlik / yükseklik		20.00 * 6.00 * 6.20	20.00 * 6.00 * 6.20
Günlük keski tüketimi (keski/gün)		20	15
Net kazı hızı (m ³ /gün)		386,15	243,87
Günlük ilerleme oranı (m/gün)		10,37	6,5
Makine kullanım oranı (%)		62,5	52,0
Saatlik kazı hızı (m ³ /saat)		77,23	58,76
Kesici tüketimi (keski/m ³)		0,051813	0,061728

Çizelge 4.3. Kayhan – 2 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri

Kayhan 2		Kuru SHD	Yaş SHD
Kazı faaliyet tarihleri	Başlangıç		
	Bitiş		
Kullanılan makine	Model / Ağırlık (ton)	Paurat E 134 55 TON	Paurat E 134 55 TON
	Enerji (kW)	370	370
Günlük çalışma saatleri		8	8
Günlük kazı saatleri		5,25	4,0
Günlük makine arıza bakımı		1,50	2,75
Yemek ve kahve molası (saat)		1,25	1,25
Günlük kazı miktarı (m ³)		398	228
Ana galeri sayısı		1	1
Ana galeri ölçümleri (m) uzunluk/ genişlik / yükseklik		140.00 * 6.50 * 7.20	140.00 * 6.50 * 7.20
Depo sayısı		60	60
Depo ölçümleri (m)uzunluk/ genişlik / yükseklik		20.00 * 6.00 * 6.20	20.00 * 6.00 * 6.20
Günlük keski tüketimi		15	11
Net kazı hızı (m ³ /gün)		398,78	228,65
Günlük ilerleme oranı (m/gün)		10,69	6,13
Makine kullanımı (%)		62,5	50,0
Kesme hızı (m ³ /saat)		75,96	57,16
Kesici tüketimi (keski/m ³)		0,037688	0,048246

Çizelge 4.4. Çat-1 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri

Çat-1		Kuru SHD	Yaş SHD
Kazı faaliyet tarihleri	Başlangıç		
	Bitiş		
Kullanılan makine	Model / Ağırlık (ton)	Paurat E 134 55 TON	Paurat E 134 55 TON
	Enerji (kW)	370	370
Günlük çalışma saatleri		10	10
Günlük kazı saatleri		6,50	5,5
Günlük makine arıza bakımı		1,75	2,75
Yemek ve kahve molası (saat)		1,75	1,75
Günlük kazı miktarı (m ³)		468	286
Ana galeri sayısı		1	1
Ana galeri ölçümleri (m) uzunluk/ genişlik / yükseklik		130.00 * 6.00 * 4.50	130.00 * 6.00 * 6.00
Depo sayısı		40	40
Depo ölçümleri (m)uzunluk/ genişlik / yükseklik		20.00 * 5.00 * 4.50	20.00 * 5.00 * 4.50
Günlük keski tüketimi		26	20
Net kazı hızı (m ³ /gün)		468,21	286,96
Günlük ilerleme oranı (m/gün)		20,8	12,71
Makine kullanımı (%)		65	55
Kesme hızı (m ³ /saat)		72,03	52,17
Kesici tüketimi (keski/m ³)		0,026042	0,03876

Çizelge 4.5. Çat – 2 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri

Çat 2		Kuru SHD	Yaş SHD
Kazı faaliyet tarihleri	Başlangıç		
	Bitiş		
Kullanılan makine	Model / Ağırlık (ton)	Paurat E 134 55 TON	Paurat E 134 55 TON
	Enerji (kW)	370	370
Günlük çalışma saatleri		10	10
Günlük kazı saatleri		6	5
Günlük makine arıza bakımı		2	3
Yemek ve kahve molası (saat)		2	2
Günlük kazı miktarı (m ³)		358	249
Ana galeri sayısı		1	1
Ana galeri ölçümleri (m) uzunluk/ genişlik / yükseklik		130.00 * 6.00 * 4.50	130.00 * 6.00 * 6.00
Depo sayısı		40	40
Depo ölçümleri (m)uzunluk/ genişlik / yükseklik		20.00 * 5.00 * 4.50	20.00 * 5.00 * 4.50
Günlük keski tüketimi		23	17
Net kazı hızı (m ³ /gün)		358,11	249,48
Günlük ilerleme oranı (m/gün)		15,9	11
Makine kullanımı (%)		62,5	50
Kesme hızı (m ³ /saat)		59,69	49,9
Kesici tüketimi (keski/m ³)		0,064246	0,068273

Çizelge 4.6. Sulusaray bölgesindeki KGAM için saha performans verileri

Sulusaray		Kuru SHD	Yaş SHD
Kazı faaliyet tarihleri	Başlangıç		
	Bitiş		
Kullanılan makine	Model / Ağırlık (ton)	Paurat E 134 55 TON	Paurat E 134 55 TON
	Enerji (kW)	370	370
Günlük çalışma saatleri		8	8
Günlük kazı saatleri		5,0	4,4
Günlük makine arıza bakımı		1,5	2,6
Yemek ve kahve molası (saat)		1,5	1
Günlük kazı miktarı (m ³)		425	278
Ana galeri sayısı		1	1
Ana galeri ölçümleri (m) uzunluk/ genişlik / yükseklik		110.00 * 6.00 * 4.50	130.00 * 6.00 * 6.00
Depo sayısı		40	40
Depo ölçümleri (m)uzunluk/ genişlik / yükseklik		20.00 * 5.00 * 4.50	20.00 * 5.00 * 4.50
Günlük keski tüketimi		17	13
Net kazı hızı (m ³ /gün)		425,17	278,52
Günlük ilerleme oranı (m/gün)		15,9	11
Makine kullanımı (%)		65,5	55
Kesme hızı (m ³ /saat)		85,03	63,30
Kesici tüketimi (keski/m ³)		0,04	0,046763

Çizelge 4.7. Nar bölgesindeki KGAM için saha performans verileri

Nar		Kuru SHD	Yaş SHD
Kazı faaliyet tarihleri	Başlangıç		
	Bitiş		
Kullanılan makine	Model / Ağırlık (ton)	Paurat E 134 55 TON	Paurat E 134 55 TON
	Enerji (kW)	370	370
Günlük çalışma saatleri		10	10
Günlük kazı saatleri		6,8	5,25
Günlük makine arıza bakımı		1,2	2,75
Yemek ve kahve molası (saat)		2	2
Günlük kazı miktarı (m ³)		576	258
Ana galeri sayısı		1	1
Ana galeri ölçümleri (m) uzunluk/ genişlik / yükseklik		150.00 * 6.00 * 7.00	210.00 * 6.30 * 6.50
Depo sayısı		24	46
Depo ölçümleri (m)uzunluk/ genişlik / yükseklik		24.00 * 6.00 * 6.40	25.00 * 6.00 * 4.30
Günlük keski tüketimi (keski/gün)		15	10
Net kazı hızı (m ³ /gün)		576,54	258,93
Günlük ilerleme oranı (m/gün)		15	10
Makine kullanımı (%)		68	52,5
Kesme hızı (m ³ /saat)		84,79	49,32
Kesici tüketimi (keski/m ³)		0,026041667	0,03875969

Çizelge 4.8. Konaklı bölgesindeki KGAM için saha performans verileri

Konaklı		Kuru SHD	Yaş SHD
Kazı faaliyet tarihleri	Başlangıç		
	Bitiş		
Kullanılan makine	Model / Ağırlık (ton)	Paurat E 134 55 TON	Paurat E 134 55 TON
	Enerji (kW)	370	370
Günlük çalışma saatleri		10	10
Günlük kazı saatleri		6,25	5,5
Günlük makine arıza bakımı		1,75	2,5
Yemek ve kahve molası (saat)		2	2
Günlük kazı miktarı (m ³)		465	282
Ana galeri sayısı		1	1
Ana galeri ölçümleri (m) uzunluk/ genişlik / yükseklik		140.00 * 6.00 * 7.00	140.00 * 6.00 * 7.00
Depo sayısı		40	40
Depo ölçümleri (m)uzunluk/ genişlik / yükseklik		20.00 * 5.00 * 4.50	20.00 * 5.00 * 4.50
Günlük keski tüketimi		16	11
Net kazı hızı (m ³ /gün)		465,07	282,49
Günlük ilerleme oranı (m/gün)		11,07	6,71
Makine kullanımı (%)		65,2	55
Kesme hızı (m ³ /saat)		74,41	51,36
Kesici tüketimi (keski/m ³)		0,034409	0,039007

Çizelge 4.9. Aktaş – 1 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri

Aktaş 1		Kuru SHD	Yaş SHD
Kazı faaliyet tarihleri	Başlangıç		
	Bitiş		
Kullanılan makine	Model / Ağırlık (ton)	Paurat E 134 55 TON	Paurat E 134 55 TON
	Enerji (kW)	370	370
Günlük çalışma saatleri		10	10
Günlük kazı saatleri		6	5,5
Günlük makine arıza bakımı		2	2,5
Yemek ve kahve molası (saat)		2	2
Günlük kazı miktarı (m ³)		426	312
Ana galeri sayısı		1	1
Ana galeri ölçümleri (m) uzunluk/ genişlik / yükseklik		100.00 * 6.00 * 6.00	100.00 * 6.00 * 6.00
Depo sayısı		44	44
Depo ölçümleri (m)uzunluk/ genişlik / yükseklik		20.00 * 5.00 * 6.00	20.00 * 5.00 * 6.00
Günlük keski tüketimi		19	15
Net kazı hızı (m ³ /gün)		426,19	312,74
Günlük ilerleme oranı (m/gün)		14,2	10,4
Makine kullanımı (%)		60	55
Kesme hızı (m ³ /saat)		71,03	56,86
Kesici tüketimi (keski/m ³)		0,044601	0,048077

Çizelge 4.10. Aktaş – 2 bölgesindeki KGAM için saha performans verileri

Aktaş 2		Kuru SHD	Yaş SHD
Kazı faaliyet tarihleri	Başlangıç		
	Bitiş		
Kullanılan makine	Model / Ağırlık (ton)	Paurat E 134 55 TON	Paurat E 134 55 TON
	Enerji (kW)	370	370
Günlük çalışma saatleri		10	10
Günlük kazı saatleri		6,75	5
Günlük makine arıza bakımı		1,25	3
Yemek ve kahve molası (saat)		2	2
Günlük kazı miktarı (m ³)		412	302
Ana galeri sayısı		1	1
Ana galeri ölçümleri (m) uzunluk/ genişlik / yükseklik		100.00 * 6.00 * 6.00	100.00 * 6.00 * 6.00
Depo sayısı		24	46
Depo ölçümleri (m)uzunluk/ genişlik / yükseklik		24.00 * 6.00 * 6.40	25.00 * 6.00 * 4.30
Günlük keski tüketimi		15	10
Net kazı hızı (m ³ /gün)		576,79	258,52
Günlük ilerleme oranı (m/gün)		15	10
Makine kullanımı (%)		67,5	50
Kesme hızı (m ³ /saat)		85,45	51,70
Kesici tüketimi (keski/m ³)		0,026042	0,03876

Çizelge 4.11. 9 farklı soğuk hava deposu proje sahası için KGAM arazi performans verilerinin toplu gösterimi.

Kazı Adı	Kazı Formasyon Türü	Makine Kullanım Oranı (%)	Günlük İlerleme Oranı (m)	Günlük Kazı Miktarı (m ³ /gün)	Saatlik Kazı Hızı (m ³ /saat)	Günlük Keski Tüketimi (keski/gün)
Kayhan-1	Kuru	62.5	10.37	386.15	77,23	20
	Yaş	52	6.5	243.87	58,76	15
Kayhan-2	Kuru	62.5	10.69	398.78	75,96	15
	Yaş	50	6.13	228.65	57,16	11
Çat-1	Kuru	65	20.8	468.21	72,03	26
	Yaş	55	12.71	286.96	52,17	20
Çat-2	Kuru	62.5	15.9	358.11	59,69	23
	Yaş	50	11	249.48	49,90	17
Sulusaray	Kuru	62.5	15.9	425.17	85,03	17
	Yaş	55	11	278.52	63,30	13
Nar	Kuru	68	15	576.54	84,79	15
	Yaş	52.5	10	258.93	49,32	10
Konaklı	Kuru	65.2	11.07	465.07	74,41	16
	Yaş	55	6.71	282.49	51,36	11
Aktaş-1	Kuru	60	14.2	426.19	71,03	19
	Yaş	55	10.4	312.74	56,86	15
Aktaş-2	Kuru	67.5	15	576.79	85,45	15
	Yaş	50	10	258.52	51,70	10

4.2 Laboratuvar Çalışmaları

4.2.1 Numune Hazırlama

Çalışma kapsamında KGAM arazi verilerinin kaydedildiği soğuk hava deposu kazı alanlarında, kazılan kaya özelliklerinin belirlenmesi için her bir proje alanından blok numuneler alınmıştır. Blok numuneler alınırken kuru ve sulu ortamda yapılan kazılar için ayrı ayrı numuneler alınmıştır (Fotoğraf 4.6). Sulu ortamlardan alınan numuneler arazi şartlarındaki su içeriği özelliklerini kaybetmemeleri için streç film ile sarılmıştır.



Fotoğraf 4.6. Numune alınan soğuk hava deposu proje sahaları; solda kuru ortam sağda sulu ortamda kazılan depolar

Bu çalışma kapsamında 9 farklı proje sahasından blok numune alınmıştır (Fotoğraf 4.7). Alınan blok numunelerden karot numuneler elde edilmiştir. Elde edilen karot numuneler laboratuvar deneyleri için standartlara uygun olarak Fotoğraf 4.8’ de görülen karot düzeltme makinesi yardımıyla boyutlandırılmıştır. Deneysel çalışmalar için hazırlanan numuneler Fotoğraf 4.9’ da verilmiştir.



Fotoğraf 4.7. Proje sahasındaki blok numuneler (solda); blok numunelerden karot alınması (sağda)



Fotoğraf 4.8. Numune hazırlama makinesi görüntüsü



Fotoğraf 4.9. Fiziksel ve mekanik testler için hazırlanan numuneler

4.2.2 Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Proje kapsamında yapılan çalışmaların bir bölümünü kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler oluşturmaktadır. Dokuz farklı proje sahasından alınan blok alınan numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler Amerikan Standart ve Test Metotları (ASTM) ve Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği'nin (ISRM) belirlediği standartlara göre yapılmıştır (ISRM, 2007; ASTM, 2005). Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar genel olarak sırasıyla; araziden elde edilen blok numunelerin laboratuvara getirilmesi, blok numunelerden karot numune alınması, alınan karot numunelerinin standartlara göre boyutlandırılması ve boyutlandırılan numuneler üzerinde ilgili testlerin yapılması şeklinde sürdürülmüştür. Kaya mekaniği deneyleri hem kuru hem de suya doymun numuneler üzerinde yapılmıştır. Numunelerin suya doymun hale gelmesi için en az 24 saat suda bekletilmiştir.

4.2.2.1 Yoğunluk (doğal birim hacim ağırlığı) tayini deneyi

Düzgün şekilde kesilen karot numunelerin boy ve çapları birkaç kumpas okuması ile ölçülmüş ve hacimleri hesaplanmıştır. Hacimleri hesaplanan bu numunelerin daha sonra hassas terazide ağırlıkları belirlenmiş (m) (Fotoğraf 4.10). Ağırlıklar toplam hacme bölünerek yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Her numune grubu için deney en az beş defa tekrarlanmış ve ortalama yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Elde edilen ortalama yoğunluk değerleri Çizelge 4.12' de verilmiştir.



Fotoğraf 4.10. Karot numunelerin ağırlıklarının belirlenmesi

4.2.2.2 Porozite ve ağırlıkça su emme tayini

Karot numunelerinin her iki ucu da düzgün olarak kesilmiş ve etüvde 105 – 110 °C’ de 24 saat etüvde bekletilmiş, ardından hassas terazide tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Bu numuneler daha sonra su dolu bir kapta 48 saat bekletilmiş, ardından yine hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları tespit edilmiştir. Elde edilen bu değerler kullanılarak her bir kayaç grubu için Porozite ve ağırlıkça su emme değerleri belirlenmiştir. Belirlenen ortalama değerler Çizelge 4.12’ de verilmiştir.

4.2.2.3 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyleri

Bu deneyde, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarının dolaylı olarak belirlenmesi amaçlanır. Deney için kalınlık/çap oranı 0.5-1.0 arasında olacak şekilde sağlam ve çatlaksız karot numuneleri hazırlanmıştır. Her bir kayaç grubu için en az 7 farklı numune kullanılmıştır. Bununla birlikte standart sapması yüksek olan kayaçlarda test edilen numune sayısı artırılmıştır. Dolaylı çekme dayanımı deneylerinden elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.12’ de verilmiştir.

4.2.2.4 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı (UCS) deneyleri ASTM (2008) standardına uygun olarak 47 mm çapa sahip ve boy/çap oranı 2.0 – 2.5 olan, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz-düz ve herhangi bir kırık ve çatlak içermeyen karot örnekleri üzerinde yapılmıştır. Deneylerde en az 7 adet karot numune kullanılmış olup, standart sapma değerleri yüksek olan numuneler için daha fazla sayıda karot test edilmiştir. Kayaç grupları için elde edilen ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.12’ de verilmiştir.

4.2.2.5 Numunelerin P dalga hızlarının belirlenmesi

1 MHz transduserlere sahip ultrasonik cihaz (PUNDIT) yardımıyla numunelerin P dalga hızları ölçülmüştür (Fotoğraf 4.11). Ortalama değerler Çizelge 4.12’ te verilmiştir.



Fotoğraf 4.11. Kayaçların ultrasonik hızının Pundit Lab (+) ile belirlenmesi

4.2.3 Cerchar Aşındırıcılık İndeks Deneyi

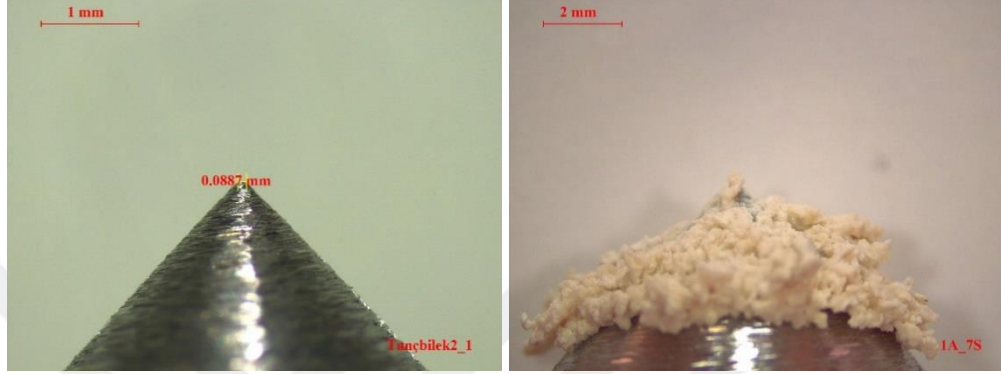
Cerchar aşındırıcılık testi Fotoğraf 4.12’ de verilen Cerchar aşındırıcılık deney aleti kullanılarak kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılmıştır. Bu deneyde Brazilian çekme dayanımı testlerinden elde edilen numuneler kullanılarak yeni kırılmış taze kayaç yüzeyi, ucu 90° konik, çekme dayanımı 2000 N/mm² olan deney uçları 70 N’ luk baskı kuvveti altında 10 mm çizilmiştir (Fotoğraf 4.12). Yapılan bu işlem sonunda keski ucunda meydana gelen aşınma yüzeyinin uzunluğu mikroskop altında ölçülmüş ve belirlenen değer Cerchar aşınma indeks değeri olarak kaydedilmiştir (West, 1989).

Bu test her bir kayaç numunesi için en az 10 kere tekrarlanmış olup okunan değerlerin ortalaması alınarak numuneye ait nihai Cerchar aşınma indeks değeri belirlenmiştir. Belirlenen ortalama Cerchar indeks değerleri Çizelge 4.12’ de verilmiştir.



Fotoğraf 4.12. Cerchar aşındırıcılık deney aleti (sol), deneyde kullanılan uçlar (orta) ve deney sonunda kayaç yüzeyinde oluşan deney çizgi hatları (sağ)

Cerchar aşındırıcılık deneyi yapılırken kuru ve suya doymun şartlarda yapılan testler arasında önemli bir farklılık gözlemlenmiştir. Kuru numuneler üzerinde yapılan deneyler sırasında kesici uçlara herhangi bir kaya malzemesi yapışmadığı ancak doymun numuneler üzerinde yapılan deneylerde kaya malzemesinin deney ucuna yapıştığı belirlenmiştir. Bu duruma ait fotoğraflar Fotoğraf 4.13’ da verilmiştir.



Fotoğraf 4.13. Kuru ve suya doymun numuneler üzerinde kullanılan deney uçlarının deney sonrası görüntüleri

Çizelge 4.12 Çalışma kapsamında kullanılan kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerine ait ortalama değerler.

Numune No	Kuru Yoğunluk (gr/cm ³)	Doymun Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Ağırlık Su Emme (%)	UCS (MPa)		BTS (MPa)		P-Dalga Hızı (Km/sn)		Cerchar İndeks Değeri	
					KURU	DOYGUN	KURU	DOYGUN	KURU	DOYGUN	KURU	DOYGUN
1	1,39	1,72	24,75	19,02	7,95	4,81	1,15	0,65	3,16	3,06	1,38	1,02
2	1,47	1,78	23,68	18,28	9,54	5,79	1,52	0,78	2,01	1,43	1,47	1,08
3	1,24	1,60	26,74	21,37	5,21	2,63	0,82	0,36	1,67	0,84	1,63	1,18
4	1,28	1,63	25,12	21,89	6,13	3,11	0,86	0,45	1,91	1,47	1,45	1,15
5	1,42	1,74	23,08	19,81	9,5	4,96	1,22	0,69	2,66	2,36	1,39	1,21
6	1,42	1,74	21,85	16,24	6,71	3,15	0,71	0,22	1,69	0,90	1,12	0,91
7	1,41	1,73	21,06	17,22	10,12	6,31	1,74	2,46	1,91	3,45	1,43	1,11
8	1,31	1,65	23,52	19,33	7,56	4,25	0,92	1,79	1,06	3,69	1,27	0,89
9	1,35	1,68	22,76	17,44	8,63	4,03	0,73	2,02	1,34	3,06	1,28	0,93

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı; BTS: Brazilian (dolaylı) çekme dayanımı

BÖLÜM V

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde laboratuvar ve arazi çalışmaları sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Öncelikle yapılan analizler sonucunda artan su içeriğinin KGAM'lar tarafından soğuk hava deposu projelerinde kazılan kaya malzemelerinin tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımı değerleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Daha sonra kuru ve sulu ortamlarda kaydedilen KGAM arazi verileri arasındaki ilişkiler analiz edilmiş ve sulu ortam kazılarında KGAM arazi verilerindeki değişimin sebepleri araştırılmıştır. İstatistiksel analiz, genel olarak basit regresyon analizi yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

5.1 Artan Su İçeriğinin Kayaların Dayanımları Üzerindeki Etkileri

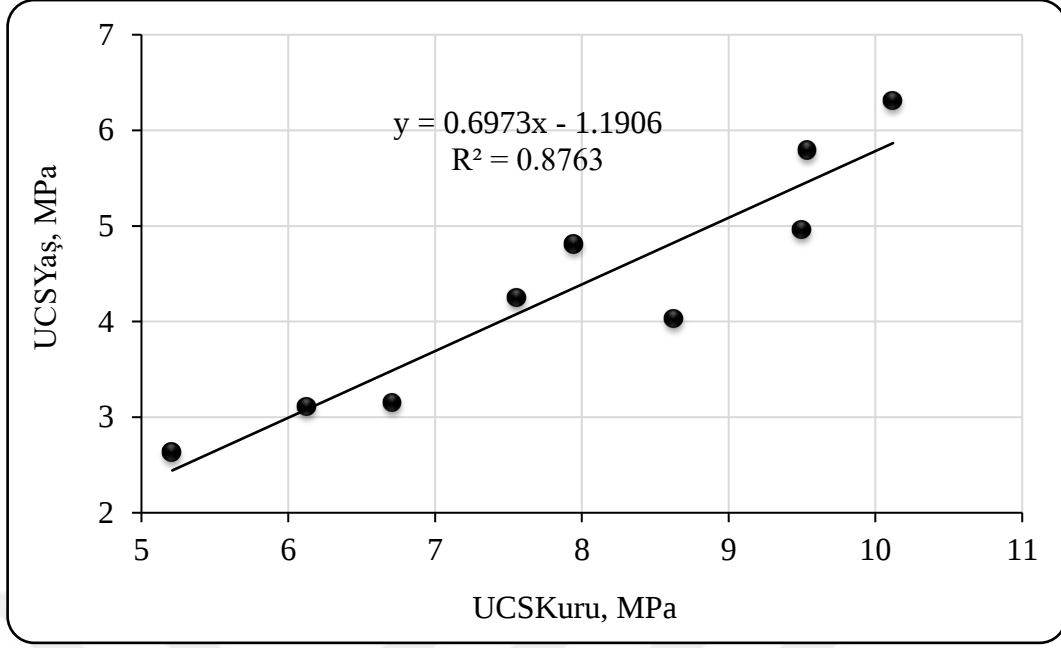
Kayaların tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS) gibi dayanım parametreleri kazılabilirliklerini ve mekanize kazıcıların performansını etkileyen önemli parametrelerdendir (Bilgin vd. 2014). Nitekim birçok performans tahmin modeli kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak geliştirilmiştir (Gehring, 1989; Copur vd. 1998, 1997; Bilgin vd. 2004, 1990; Tumaç vd. 2007; Ocak ve Bilgin, 2010; Ebrahimabadi vd. 2011; Kahraman ve Kahraman, 2016; Çomaklı, 2019a). Diğer taraftan artan su içeriğinin kayaların dayanım özelliklerini etkilediği bilinmektedir ve bu etkiler birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır (Li vd. 2012; Luo, 2020; Vásárhelyi ve Davarpanah, 2018; Vásárhelyi ve Ván, 2006; Yilmaz, 2010; Zhou vd. 2016). Bu araştırmalardan elde edilen sonuçlar genellikle suyun kayaçların UCS değerleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu ve kayaçların UCS değerlerini düşürdüğünü göstermiştir. Rajabzadeh vd. (2012) kireçtaşı numunelerini kullanarak yaptıkları çalışmada suya doygun durumda kayaçların UCS değerlerinin %70 oranında azaldığını göstermişlerdir. Kıl içerikli kumtaşları için Hawkins ve McConnell (1992) tarafından yapılan çalışmada ise UCS değerindeki azalmanın %78'lerde olduğu belirtilmiştir. Suyun etkisiyle kayaçların UCS değerindeki azalmanın kazılabilirliklerine de etki etmesi kaçınılmazdır.

Önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, artan su içeriği mekanize kazıcıların performanslarının tahmin edilmesinde önemli bir parametre olan kayaçların dayanımları üzerinde belirli bir etkiye sahiptir. Bundan dolayı bu tez çalışmasında da artan su içeriğinin KGAM' lar tarafından kazılan kayaçların dayanım değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen UCS değerleri arasındaki ilişki Şekil 5.1' de verilmiştir. İlgili şekilde görüldüğü gibi kuru ve suya doymun şartlarda elde edilen UCS değerleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Elde edilen bu ilişkinin $0,88 R^2$ değeri ile anlamlı olduğu belirtilmelidir.

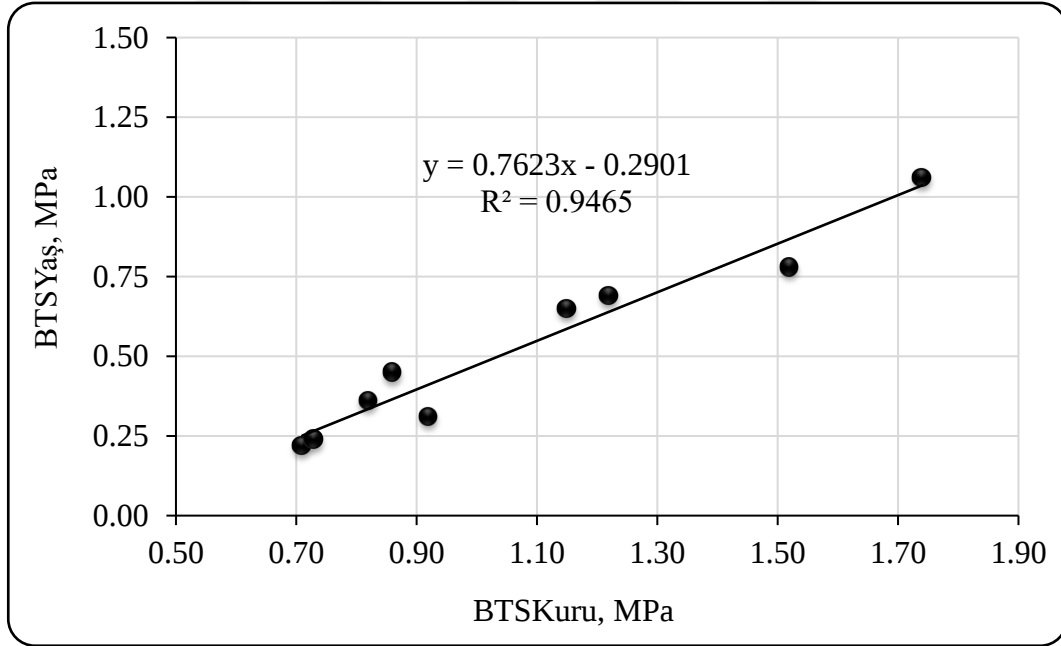
Kayaçların kazılabilirliklerini etkileyen önemli mekanik özelliklerinden birisi de BTS değerleridir. Birçok araştırmacı bu konuda çalışmalar yapmış ve farklı kayaç türleri için artan su içeriğinin kayaçların BTS değerleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır (Ergüler ve Ulusay, 2009; Wong ve Jong, 2014; Zhao vd. 2017; Zhou vd. 2018). Yapılan çalışmalarda artan su içeriğinin kayaçların genel olarak BTS değerlerini azalttığı bildirilmiştir. Ancak marn gibi kil içerikli kayaç türlerinde BTS değerinin artabileceği de bildirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında da kazı sahalarından elde edilen ve KGAM' lar tarafından kazısı yapılan kayaçların suya doymun hale gelmesinin BTS değerleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. 9 farklı kayaç numunesinin kuru ve suya doymun durumlarda elde edilen BTS değerleri arasındaki ilişki basit regresyon analizi yöntemiyle araştırılmıştır. Elde edilen ilişkiye ait grafik Şekil 5.2' de verilmiştir. İlgili şekilde görüldüğü gibi kuru ve suya doymun şartlarda elde edilen BTS değerleri arasında doğrusal bir ilişki elde edilmiş olup ilgili ilişkinin $0,95 R^2$ değeri ile anlamlı olduğu görülmektedir.

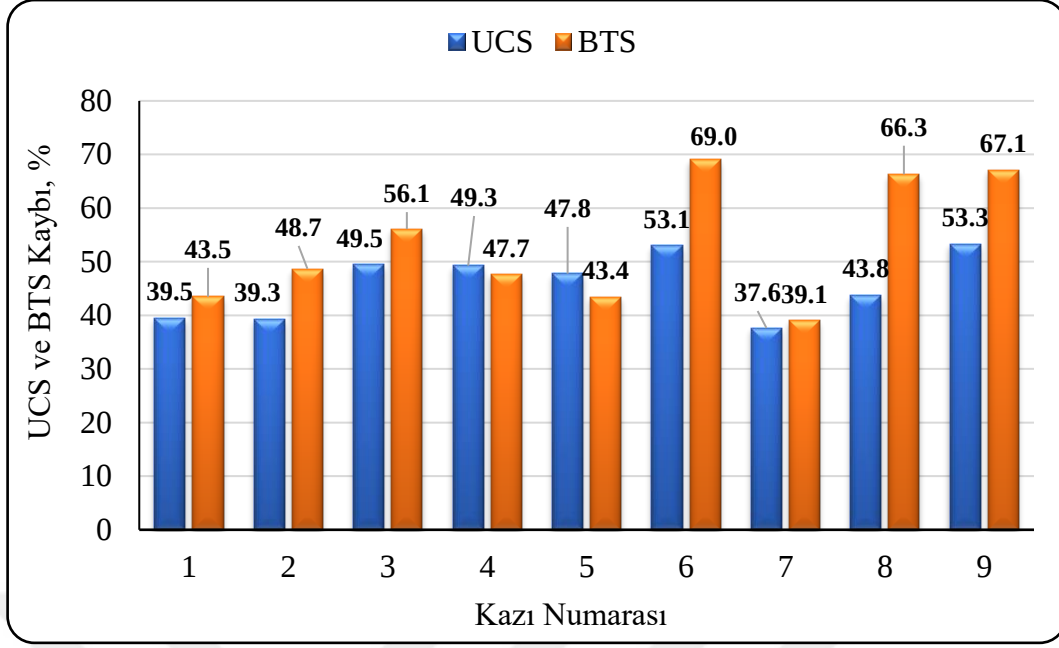
Suya doymun durumda kayaçların UCS ve BTS değerlerindeki değişim oranlarının daha net şekilde anlaşılabilmesi için, suya doymun şartlarda kayaçların dayanım değerlerinde oluşan değişim oranları da ayrıca Şekil 5.3'te verilmiştir. İlgili şekilde görüldüğü gibi tüm numunelerin UCS ve BTS değerleri suya doymunluk etkisiyle azalmıştır. UCS değerlerinde azalma oranları %37,6 ile %53,3 arasında meydana gelmişken, BTS değerlerindeki azalma oranı %39,1 ile %69,0 arasında olmuştur. Kayaçların genel olarak gözenekli ve düşük dayanımlı olmaları göz önüne alındığında elde edilen değişim oranlarının literatürde benzer kayaçlar için elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği söylenebilir.



Şekil 5.1. Kuru ve yaş numunelerin UCS değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.2 Kuru ve yaş numunelerin BTS değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.3. Artan su içeriği etkisiyle kayaların dayanım değerlerindeki değişim oranları

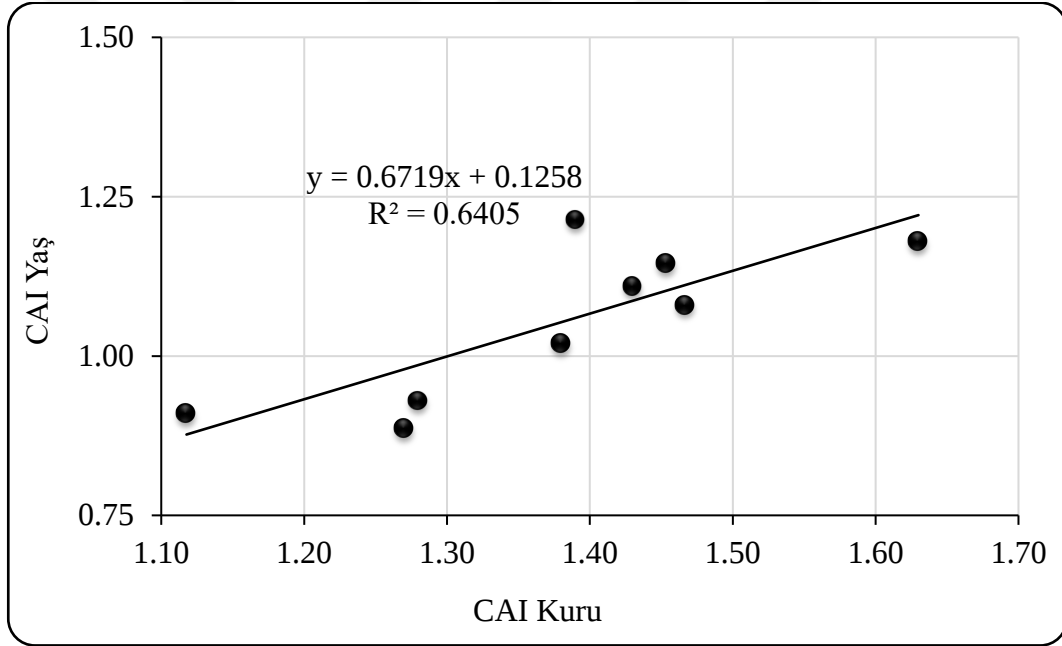
5.2 Artan Su İçeriğinin Kayaların aşındırıcılıkları Üzerindeki Etkileri

Kayaçların mekanize kazısı sırasında önemli bir parametre de hiç şüphesiz kesici uç tüketim oranıdır. Kesici uç tüketim oranının tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılan deneysel yöntemlerden birisi de Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) deneyidir (Johnson ve Fowell, 1986; Copur vd.1998, 1997; Çomaklı, 2019a,b). Ayrıca CAI değeri ile kayaçların UCS ve BTS değeri gibi mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişki olduğunu gösteren birçok çalışma da mevcuttur (Çapık ve Yılmaz, 2017; Er ve Tuğrul, 2016; Kahraman vd. 2014; Moradzadeh vd. 2016; Zhang vd. 2021; Ko vd. 2016; Rostami vd. 2014). Bu çalışmalarda genel olarak kayaçların artan dayanım değerleri ile CAI değerlerinin de arttığı bildirilmiştir. Bu doğrultuda bu çalışma kapsamında kullanılan kayaçların CAI değerlerinin suya doygun şartta değişimi incelenmiştir.

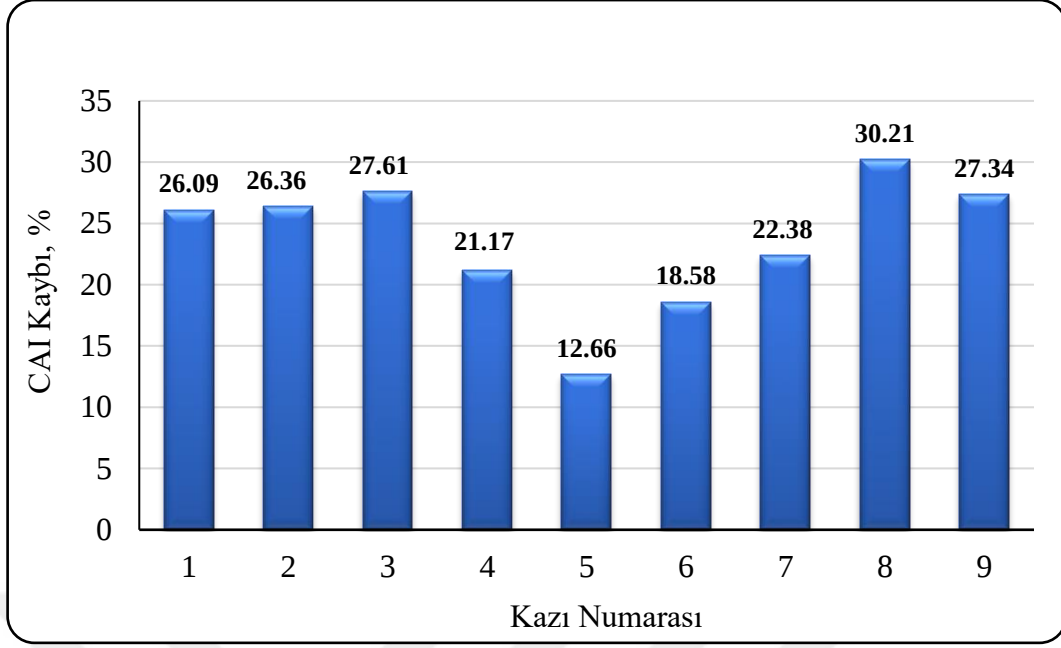
Kayaçların kuru ve suya doygun durumdaki CAI değerleri arasındaki ilişki Şekil 5.4'te verilmiş olup, R^2 değeri 0,64 olan doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Kuru ve suya doygun CAI değerleri arasındaki değişim oranlarının grafiksel gösterimi ise Şekil 5.5'te verilmiştir. İlgili grafikte görüldüğü gibi tüm kayaç numuneleri için suya doygun halde elde edilen CAI değerleri azalmaktadır. Bu da kayaçların aşındırıcılığının azaldığı şeklinde yorumlanabilir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar farklı

araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir. Abu Bakar vd. (2016) 33 farklı sedimanter kayaç üzerinde kuru ve suya doymuş şartlarda yaptıkları CAI testleri sonucunda suya doymuş halde kayaçların CAI değerlerinin kuru halde elde edilenlere kıyasla yaklaşık 0.8 kat daha az olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde Mammen vd. (2009) yaptıkları çalışmada suya doymuş şartlarda kayaçların CAI değerlerinin yaklaşık %13 azaldığını bildirmişlerdir.

Kayaçların CAI değerlerindeki değişim oranlarına bakıldığında en fazla değişimin 7 numaralı Aktaş-1 numunesinde olduğu söylenebilir. En az değişim oranının ise 5 numaralı Seyitömer numunesi için elde edildiği görülmektedir. Diğer numunelerdeki değişim oranlarının da belirli bir aralıkta gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 5.4 Kuru ve yaş numuneler üzerinde yapılan CAI testlerinden elde edilen değerler arasındaki ilişki



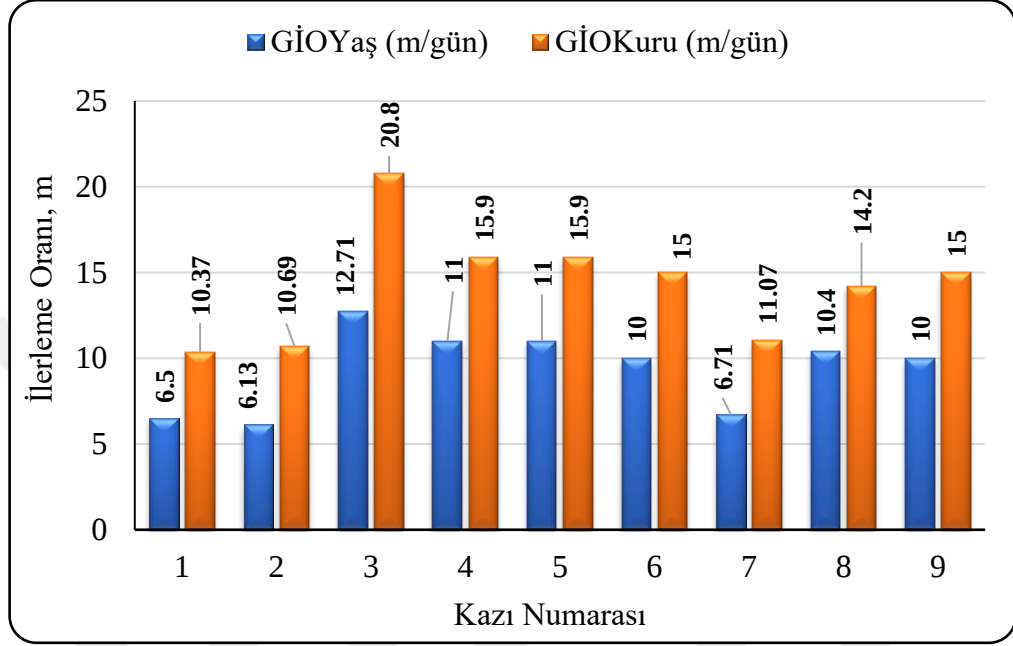
Şekil 5.5 Artan su içeriği etkisiyle kayaların dayanım değerlerindeki değişim oranları

5.3 Artan Su İçeriğinin KGAM Performans Parametreleri Üzerindeki Etkileri

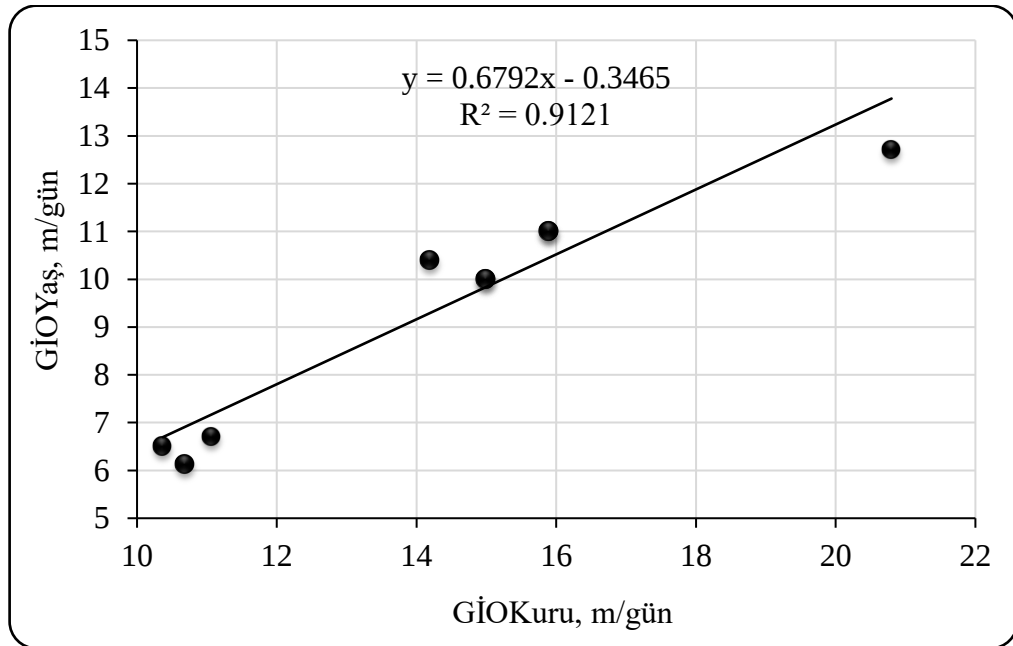
Bu tez kapsamında incelenen en önemli konu, Kapadokya bölgesinde bulunan ve yeraltı soğuk hava deposu projeleri için kazılan piroklastik kayaçların artan su içeriklerinin KGAM kazı performans parametreleri üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Bu kapsamda KGAM'ların 9 farklı proje sahası için kuru ve suya doymuş şartlardaki kazıları sırasında elde edilen performans parametreleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Kuru ve yaş şartlarda elde edilen arazi performans parametreleri arasındaki ilişki analiz edilirken, günlük kazı miktarı, günlük ilerleme oranı ve makine kullanım oranları dikkate alınmıştır.

Öncelikle kuru ve suya doymuş şartlarda KGAM günlük ilerleme oranları arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Arazi verileri incelendiğinde sulu ortamlarda yapılan kazılarda günlük ilerleme oranının tüm proje sahalarında azaldığı görülmektedir. Bu durumun daha net anlaşılabilmesi için kuru ve sulu ortam kazılarında elde edilen günlük ilerleme oranlarının grafiksel gösterimleri Şekil 5.6'da verilmiştir. İlgili grafikte görüldüğü gibi kuru ortamda yapılan kazılarda KGAM günlük ilerleme oranı 20,8 metreye kadar çıkarken bu oran sulu ortam kazılarında 12,71 metrede kalmıştır. 9 farklı proje sahası için ortalama KGAM günlük ilerleme oranının kuru ortamda 14,33 metre yaş ortamda ise 9,38

metre olduğu belirlenmiştir. Kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM günlük ilerleme oranları arasındaki ilişkileri gösterir grafik ise Şekil 5.7’ de verilmiştir. İlgili şekilde görüldüğü gibi kuru ve sulu ortam kazılarında elde edilen günlük ilerleme oranları arasında anlamlı doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.6 Kuru ve sulu ortamlarda KGAM günlük kazı oranları

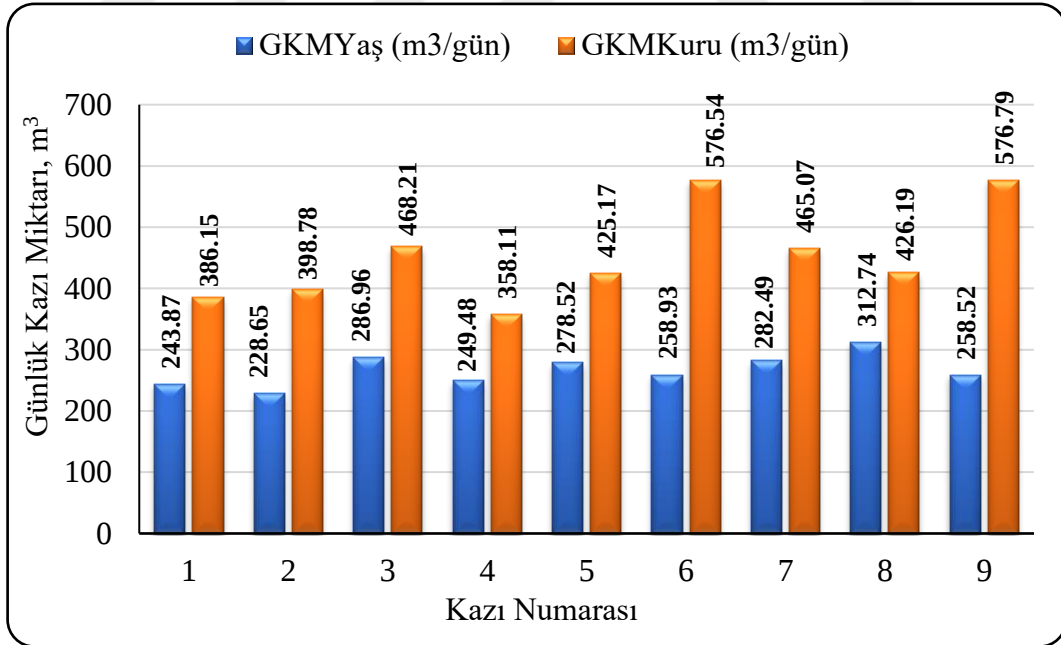


Şekil 5.7 Kuru ve sulu ortamlarda KGAM günlük kazı oranları arasındaki ilişki

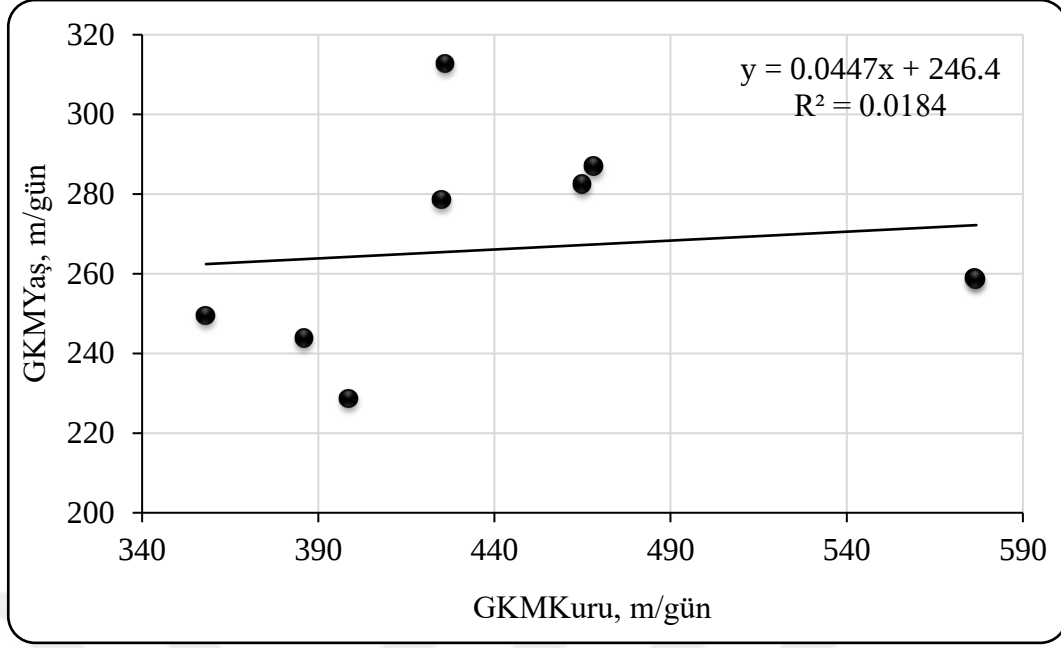
KGAM günlük kazı miktarları arasındaki değişimi gösterir grafik Şekil 5.8’ de verilmiştir. İlgili şekilde görüldüğü gibi KGAM günlük ilerleme oranlarına benzer şekilde günlük kazı miktarlarının da sulu ortam kazılarında tüm proje sahaları için azaldığı görülmektedir. Günlük ilerleme oranının düşmesi bunun beklenen bir durum olmasına sebep olmuştur.

Şekil 5.8’de görüldüğü gibi kuru ortam kazılarında KGAM günlük kazı miktarı 576,79 – 358,11 m³ arasında değişirken, sulu ortam kazılarında elde edilen değerler 312,74-228,65 m³ arasında değişmektedir. Ortalama kazı miktarları ise kuru ortam kazılarında 453,45 m³ olarak elde edilirken sulu ortamlarda bu değer 266,68 m³’ e düşmüştür.

Kuru ve sulu ortam kazılarında elde edilen günlük kazı miktarları arasındaki istatistiksel ilişkiye bakıldığında ise elde edilen ilişkinin anlamlı olmadığı görülmektedir (Şekil 5.9). Kazılan depo boyutlarının farklı olmasının elde edilen bu ilişkinin günlük ilerleme oranına kıyasla anlamlı olmamasına sebep olduğu söylenilebilir. Ayrıca özellikle ilişkiyi bozan 6 ve 9 numaralı proje sahalarından elde edilen veriler olduğu söylenebilir.

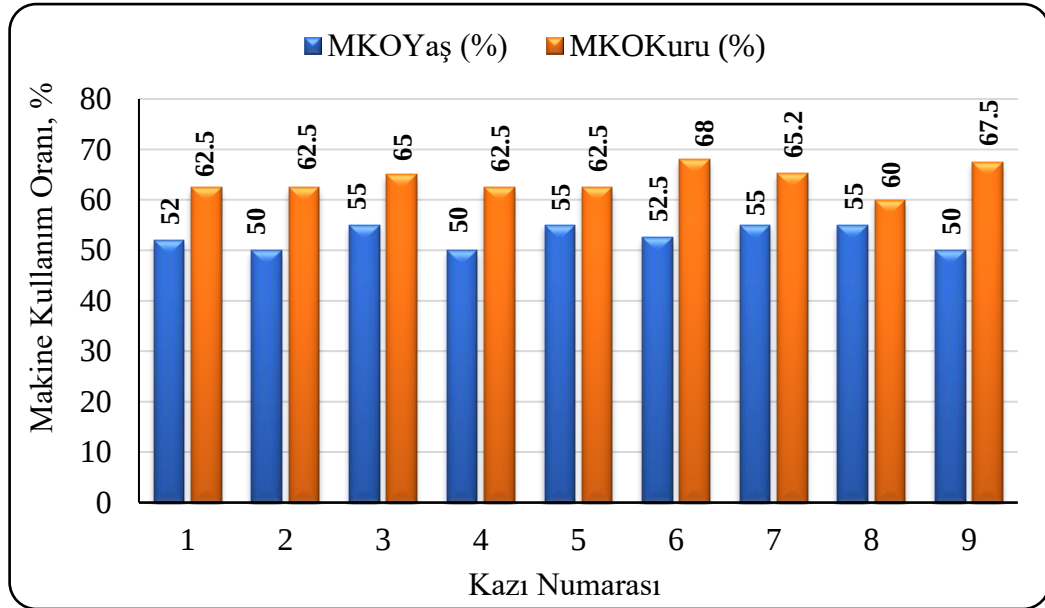


Şekil 5.8 Kuru ve sulu ortamlarda KGAM günlük kazı miktarları



Şekil 5.9 Kuru ve sulu ortamlarda KGAM günlük kazı oranları arasındaki ilişki

En önemli KGAM arazi kazı performans parametrelerinden birisi de makine kullanım oranıdır. Makine kullanım oranının artması verimli bir kazı için oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM makine kullanım değerleri de analiz edilmiş ve her iki ortam kazılarındaki makine kullanım oranları Şekil 5.10’ da verilmiştir.

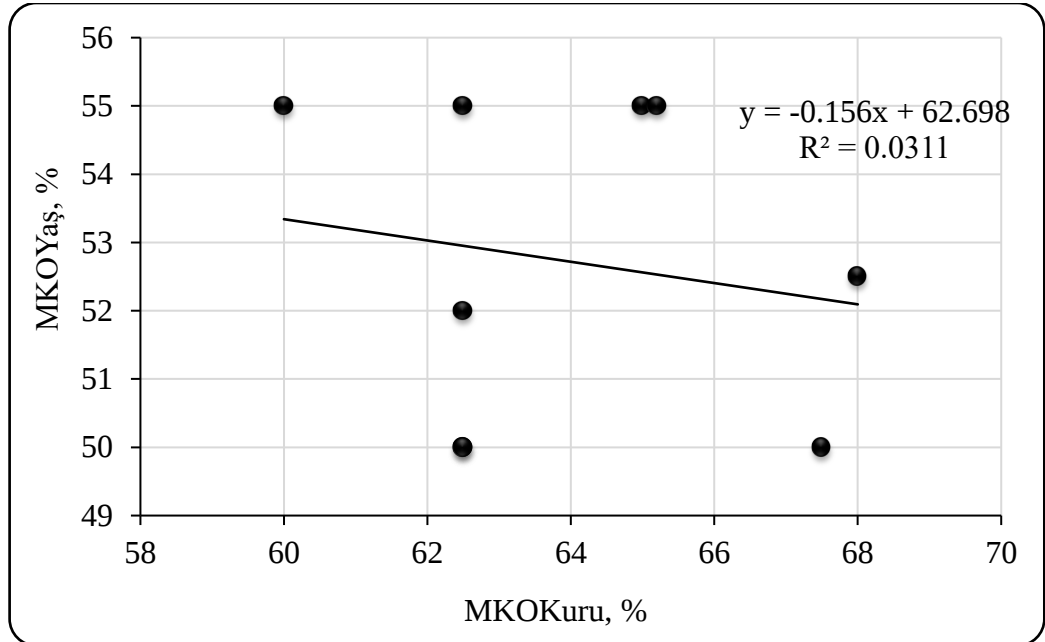


Şekil 5.10 Kuru ve sulu ortamlarda KGAM makine kullanım oranları

Şekil 5.10’ da görüldüğü gibi diğer tüm performans parametrelerinde olduğu gibi tüm proje sahaları için makine kullanım oranları da sulu ortam kazılarında azalmıştır. Kuru ortam kazılarında makine kullanım oranı %68’e kadar çıkarken sulu ortam kazılarında bu değer %55’ i geçmemiştir.

Kuru ve sulu ortam kazılarında makine kullanım oranları arasındaki ilişki de istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Şekil 5.11’ de görüldüğü gibi kuru ve sulu ortam kazılarında hesaplanan makine kullanım oranları arasında anlamlı bir ilişki elde edilememiştir.

Arazide yerinde yapılan veri toplama işlemlerinde kuru ortamlarda yapılan kazılara kıyasla sulu ortamlarda yapılan kazılarda makine kullanım oranının düşmesindeki ana sebebin makine tamir bakım işlemlerinde yaşandığı söylenebilir. Kuru ortamda yapılan kazılara kıyasla sulu ortam kazılarında makine tamir bakım işlemlerinin artmasını sağlayan ana parametrenin kesici uçlar, kesici kafa ve bant konveyöre yapışan malzemelerin temizlenmesi için beklenilmesi olduğu söylenebilir. Temizleme işlemleri yapılırken sistem tamamen durmakta ve bu durum da makine kullanım oranının önemli derecede düşmesine sebep olmaktadır.

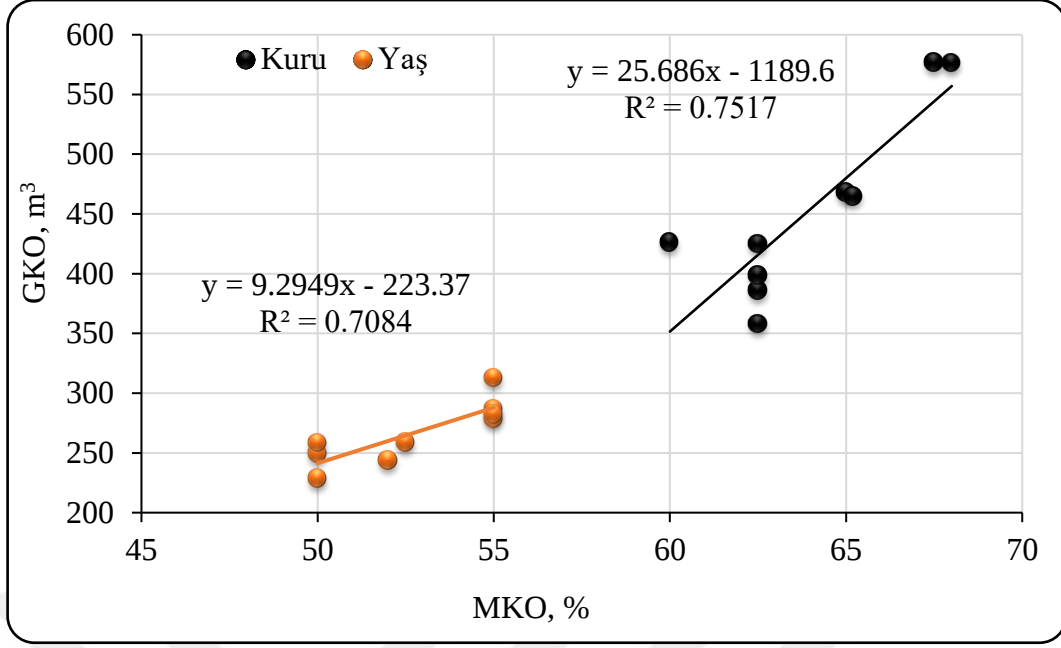


Şekil 5.11 Kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM makine kullanım oranları arasındaki ilişki



Fotoğraf 5.1. Sulu ortamda yapılan kazılar sırasında kesici uç, kesici kafa ve bant konveyöre yapışan kazılmış malzemeler

Kuru ve sulu ortamlarda yapılan kazılarda farklı kazı performans parametreleri arasında ilişkiler de yine detaylı olarak analiz edilmiştir. Makine kullanım oranı doğrudan genel kazı performansını etkilediği için günlük kazı miktarı ile aralarındaki ilişki analiz edilmiştir. Şekil 5.12’ te görüldüğü gibi hem kuru hem de sulu ortamlarda yapılan kazılarda makine kullanım oranı ile günlük kazı miktarı arasında anlamlı doğrusal bir ilişki vardır. Şöyle ki, makine kullanım oranı arttıkça kazı oranı da beklenen şekilde artmıştır.



Şekil 5.12. Kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM makine kullanım oranları ile günlük kazı miktarı arasındaki ilişki

5.3 Sulu Ortam Kazılarında KGAM Kesici Uç Tüketimi

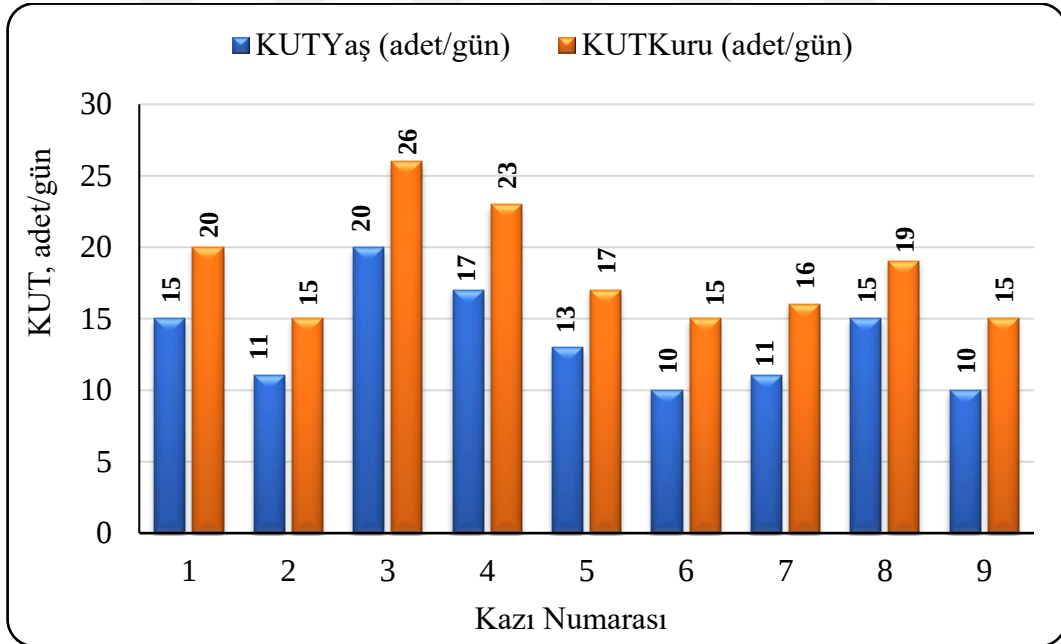
Mekanize kazıcıların kullanıldığı projelerde hem kazı maliyetini hem de kazı performansını etkileyen önemli parametrelerden birisi de kesici uç tüketimidir. Bu doğrultuda yapılan bu tez çalışması kapsamında KGAM arazi verileri değerlendirilirken kuru ve suya doymun şartlardaki kazılarda kesici uç tüketim değerleri de her bir proje sahası için ayrı ayrı kaydedilmiştir.

Arazi çalışmaları kapsamında kazılan malzemenin kuru ortamda yapılan kazılara kıyasla sulu ortamda yapılan kazılar esnasında kesici kafaya ve keskilere önemli derecede yapıştığı gözlemlenmiştir (Fotoğraf 5.1). Kuru ortamda yapılan kazılarda ise bu durum ortaya çıkmamıştır. Yapışan malzeme KGAM performansını olumsuz etkilemektedir. Proje kapsamında yapılan çalışmalarda KGAM' lara ait arazi kuvvet ve spesifik enerji değerleri uygun ekipman olmadığı ve KGAM' lar üzerinde bu verileri kaydeden bir sistem olmamasından dolayı kaydedilememiştir.

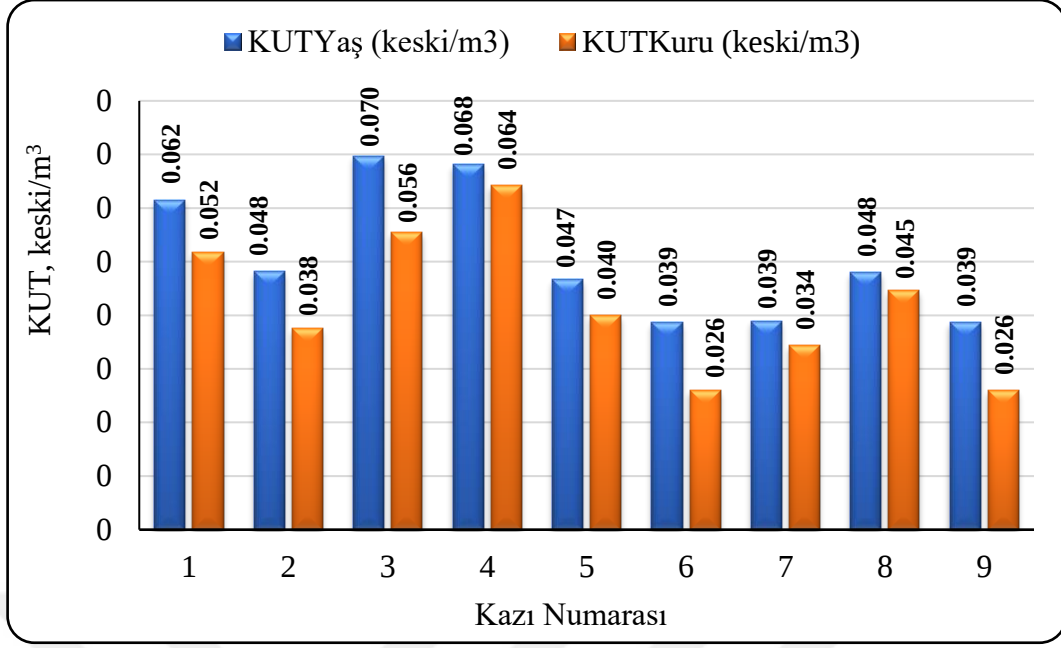
Sulu ve kuru ortam kazılarında KGAM arazi verileri değerlendirilirken kesici kafaya ve kesici uçlara yapışan malzemenin özellikle kesici uçların kazılacak formasyonla temasını

engellediği görülmüştür. Bununla birlikte kesici uçların kesici kafaya sabitlendiği kısımlara dolan malzemenin kesici uçların dönüşünü de engellediği belirlenmiştir. Kazı performansının sulu ortam kazılarında olumsuz etkilenmesinden dolayı kazı sık sık durdurulmakta ve kesici kafaya yapışan malzemeler temizlendikten sonra kazıya devam edilebilmektedir. Bu durumun makine kullanım oranını ve dolayısıyla da kazı hızını olumsuz etkileyen öncelikli parametre olduğu söylenebilir. Bununla birlikte kesici kafaya yapışan malzemenin KGAM enerji tüketim değerlerini de artırdığı gözlemlense de detaylı analiz edilemediği için bu parametre değerlendirmeye alınamamıştır.

Kuru ve sulu ortam kazılarında kesici uç tüketim değerlerinin değişimini gösterir grafik Şekil 5.13’ te verilmiştir. İlgili şekilde görüldüğü gibi günlük kesici uç tüketimi tüm proje sahalarında kuru ortamlarda daha fazladır. Ancak daha doğru bir kesici uç tüketimi analizi için harcanan kesici uç miktarı ile günlük kazılan malzeme miktarı bölünerek hesaplama yapılmıştır. Yapılan hesaplama neticesinde sulu ortam kazılarında tüm proje sahalarında kesici uç tüketiminin daha fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.13 Kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM günlük kesici uç tüketimi



Şekil 5.14. Kuru ve sulu ortam kazılarında kazılan malzeme miktarına göre KGAM günlük kesici uç tüketimi

5.4 Kuru ve Sulu Ortam Kazılarında Arazi ve Teorik Modellerden Elde Edilen Kazı Hızlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde KGAM kazı hızının tahmini için farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen performans tahmin modelleri kullanılarak 9 farklı proje sahası için KGAM saatlik kazı hızı değerleri hem kuru hem de sulu ortam kazıları için hesaplanmıştır. Teorik modeller Bölüm 2.3'te verilmiştir. Bu teorik modeller kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda 9 farklı proje sahası için kuru ve sulu ortam kazıları için tahmin edilen saatlik kazı hızı değerleri Çizelge 5.1' de verilmiştir. Teorik modellerden elde edilen değerlerin grafiksel gösterimi ise Şekil 5.15' de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 9 farklı soğuk hava deposu kazı sahası için KGAM' lar arazi performans verileri.

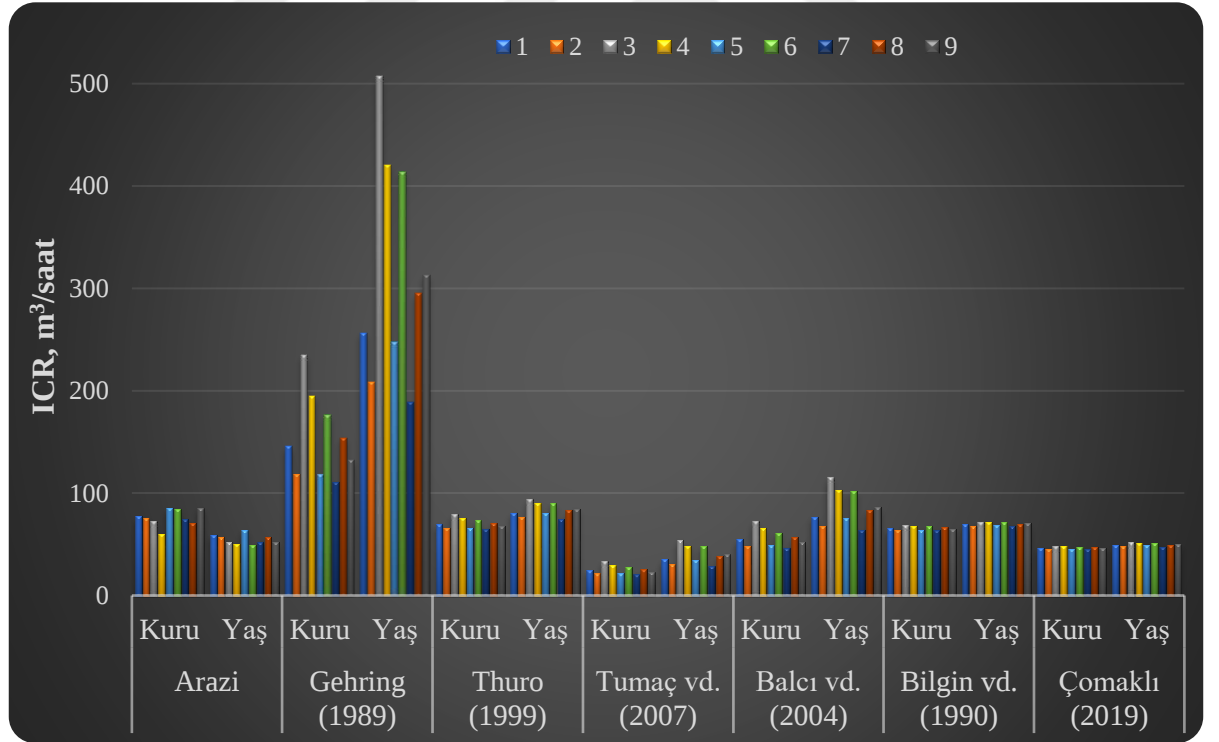
Kazı No	Saatlik Kazı Hızı ICR (m ³ /(saat))											
	Gehring (1989)		Thuro (1999)		Tumaç vd. (2007)		Balcı vd. (2004)		Bilgin vd. (1990)		Çomaklı (2019)	
	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş
1	145.3	256.4	69.8	80.7	24.6	35.3	54.7	76.6	65.8	69.3	46.4	48.8
2	118.3	208.0	65.8	76.6	21.5	30.9	48.4	67.7	64.1	68.2	45.6	47.9
3	234.3	507.3	78.9	93.7	33.3	54.5	72.6	114.8	68.8	71.8	48.4	51.7
4	195.0	419.8	75.4	90.1	29.6	48.3	65.1	102.6	67.8	71.3	47.6	50.9
5	118.8	247.7	65.9	80.0	21.6	34.5	48.6	75.1	64.1	69.1	45.6	48.6
6	176.0	413.7	73.5	89.8	27.7	47.8	61.3	101.8	67.1	71.2	47.2	50.8
7	110.7	188.7	64.5	74.8	20.6	29.0	46.6	63.9	63.4	67.6	45.4	47.5
8	153.8	294.9	70.9	83.3	25.5	38.5	56.6	83.3	66.2	69.9	46.7	49.3
9	132.5	313.2	68.0	84.5	23.1	40.0	51.8	86.3	65.0	70.2	46.1	49.6

Bölüm 2.3' te verilen ve bu tez çalışması kapsamında 9 farklı proje sahasında kullanılan KGAM' ların saatlik kazı hızlarının teorik olarak hesaplanmasında kullanılan modeller temel olarak kayaçların UCS değerini kullanmaktadır. Bu modellerde genel olarak kayaçların UCS değerleri ile kazı hızları arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Şöyle ki, artan UCS değeri ile birlikte KGAM kazı hızının azalması beklenmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında kazı sahalarından alınan kayaçların da artan su içeriği etkisiyle dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda teorik olarak kuru ortamda yapılan kazılara kıyasla sulu ortam kazılarında KAGM kazı hızının artması beklenmektedir. Nitekim Şekil 5.15'te görüldüğü gibi tüm proje sahaları için farklı modeller kullanılarak belirlenen değerlere bakıldığında, suya doymun şartlarda kazı hızının daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Özellikle Gehring (1989) ve Balcı vd. (2004) modellerine göre kuru ve suya soygun şartlardaki kazı hızları arasındaki fark daha fazladır. Bununla birlikte özellikle Bilgin vd. (1990) ve Çomaklı (2019) modellerinde ise kuru ve suya doymun ortam kazılarında KAGM kazı hızı değerleri arasındaki farkların çok fazla olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi, Bilgin vd. (1990) modelinde kayaçların UCS değeri ile birlikte RQD değerinin de kullanılıyor olması gösterilebilir. Diğer taraftan Çomaklı (2019) modelinin ise bu çalışmanın yapıldığı aynı kayaç türlerine göre

geliştirilmiş olması kuru ve sulu ortamlar için hesaplanan değerlerin yakın olmasına sebep olduğu söylenebilir.

Teorik modellerin tümüne göre kuru ortam kazılarına kıyasla sulu ortam kazılarında KGAM kazı hızının artması beklenmektedir. Ancak kazı sahasından alınan gerçek arazi verileri teorik olarak beklenilenin aksine suya doygun şartlarda saatlik kazı hızının azaldığını göstermiştir. Genel olarak bakıldığında Kapadokya bölgesindeki düşük dayanımlı piroklastik kayaların kazısının kolaylıkla yapıyor olduğu görülse de özellikle sulu formasyonların kazılarında kazılan malzemenin kesici uçlara, kesici kafaya ve bant konveyöre yapıştığı gözlemlenmiştir. Yapışan malzemelerin temizlenmesi amacıyla kazı sistemi tamamen durduğu için kazı verimi de sulu ortam kazılarında azalmakta ve saatlik kazı hızı düşmektedir. Bundan dolayı artan su içeriği etkisiyle yapışma potansiyeline sahip kayaların kazılabilirlikleri tahmin edilirken teorik hesaplamalar yanında yapışma potansiyellerinin de göz önüne alınması gerekmektedir.



Şekil 5.15. Kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM arazi ve teorik anlık kazı hızları değişimi.

BÖLÜM VI

SONUÇ

Yapılan bu tez çalışmasında Kapadokya bölgesindeki piroklastik kayalar içerisinde soğuk hava deposu olarak kazısı yapılan çalışma sahalarında kullanılan KGAM' ların kazı performanslarının sulu ortam kazılarında nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu amaçla 9 farklı soğuk hava deposu kazı çalışmasında kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM arazi kazı performans parametreleri kaydedilmiştir. Bununla birlikte çalışma sahalarından alınan kuru ve suya doymuş numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış ve kazılan malzemelerin artan su içeriği etkisiyle dayanımlarının nasıl değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, kuru ve suya doymuş şartlarda belirlenen kayaların dayanım özelliklerine bağlı olarak KGAM kazı performansı, farklı performans tahmin modelleri kullanılarak teorik olarak hesaplanmıştır. Suya doymuş şartlarda kayaların dayanım özelliklerinin değişimi ve yerinde kaydedilen ve teorik olarak hesaplanan KGAM performans değerleri bir bütün olarak değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Dokuz farklı yeraltı soğuk hava deposu kazısı sırasında proje sahalarından alınan blok numuneler üzerinde kuru ve suya doymuş şartlarda yapılan kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, suya doymuşluk etkisiyle kayaların tek eksenli basınç ve dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Suya doymuşluk etkisiyle kayaların tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımlarının tahmin edilebilmesi için eşitlikler elde edilmiştir.

- Kazı sahalarında alınan kuru ve suya doymuş numuneler üzerinde Cerchar aşındırıcılık indeks deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda kayaların aşındırıcılıklarının suya doymuş yüzeylerde azaldığı belirlenmiştir. Kayaların kuru ve suya doymuş yüzeylerinde elde edilen Cerchar aşındırıcılık indeks değerleri arasında anlamlı bir ilişki elde edilmiştir.
- Dokuz farklı kazı sahası için kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM arazi performans parametreleri kaydedilmiştir. Elde edilen veriler sulu ortam kazılarında KGAM' ların kazı hızlarının azaldığını ortaya koymuştur. KGAM' ların kuru ortam kazılarında günlük ilerleme hızları 20,8 m' ye kadar çıkarken, sulu ortam kazılarında bu değer en fazla 12,71 m olarak hesaplanmıştır.

Kuru ve sulu ortam kazılarında KGAM' ların günlük kazı hızları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki elde edilmiştir.

- Günlük kazı hızlarına paralel olarak KGAM' ların günlük kazı miktarlarının da sulu ortam kazılarına kıyasla kuru ortam kazılarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kuru ortam kazılarında günlük kazı miktarı 576,79 – 258,11 m³/gün arasında değişirken, sulu ortam kazılarında bu değer 312,74 – 286,96 m³/gün arasında değişmektedir. Kuru ve sulu ortam kazıların için günlük kazılan malzeme miktarları arasında anlamlı bir ilişki elde edilmemiştir.
- Mekanize kazıcıların kullanıldığı kazılarda kazı performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisi de makine kullanım oranıdır. Bu doğrultuda kuru ve sulu ortam kazıları için makine kullanım oranları arasındaki ilişki de ayrıca analiz edilmiştir. Diğer performans parametrelerinde olduğu gibi tüm çalışma sahaları için makine kullanım oranları da sulu ortam kazılarında azalmıştır. Kuru ortam kazılarında makine kullanım oranı %68'e kadar çıkarken sulu ortam kazılarında bu değer %55' i geçmemiştir. Bu kapsamda sulu ortam kazılarında kazı performansının azalmasının en büyük nedeninin makine kullanım oranının düşmesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Şöyle ki, sulu ortam kazılarında artan su içeriği etkisiyle kazılan malzeme kesici uçlara, kesici kafaya ve bant konveyörlere yapışmaktadır. Bu durumun giderilmesi için kazı işlemi durdurulmakta ve yapışan malzemeler temizlenmektedir. Sonuç olarak bu durum makine kullanım oranının düşmesine ve kazılan malzemenin azalmasına sebep olmaktadır. Kuru ve suya doymuş şartlardaki makine kullanım oranları arasında anlamlı bir ilişki elde edilememiştir. Ancak kuru ve sulu ortam kazılarında hesaplanan makine kullanım oranı değerleri ile günlük kazı miktarı değerleri arasında doğrusal ilişkiler elde edilmiştir.
- Mekanize kazıların performanslarının kazı işlemi başlamadan önce tahmin edilebilmesi projenin başarılı şekilde tamamlanabilmesi için oldukça önemlidir. KGAM kazı performans tahmini için de farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen modeller bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında 6 farklı araştırmacı tarafından geliştirilen teorik performans tahmin modeli kullanılarak

kazılan kayaçların dayanım değerlerine bağı olarak KGAM performansları 9 farklı proje için tahmin edilmiştir. Tüm modellerden elde edilen değerler sulu ortam kazılarında KGAM kazı hızının artacağını öngörmüştür. Ancak gerçek arazi performans verileri KGAM kazı hızlarının 9 proje sahası için de sulu ortam kazılarında azaldığını göstermiştir. Buradan teorik olarak hesaplanan değerlerin tüm şartlar için doğru sonuç veremeyeceğini ve kazılan formasyon özelliklerinin detaylı olarak analiz edilerek performans tahmini için göz önüne alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında düşük dayanımlı piroklastik kayaçların KGAM kullanılarak kazısı sırasında arazide karşılaşılan ve kazı performansını olumsuz etkileyen önemli bir problem araştırılmıştır. Şöyle ki, elde edilen sonuçlar sulu ortam kazılarında KGAM ile kazılan piroklastik kayaçların KGAM kesici uç, kesici kafa ve bant konveyörüne yapıştığı ve bunun da kazı performansını olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Kapadokya bölgesindeki piroklastik kayaçların belirli oranlarda ve farklı türlerde kil içeriğine sahip olmaları belirtilen yapışma probleminin artmasına sebep olarak değerlendirilebilir. Bu kapsamda marn ve kil taşı gibi farklı türdeki kayaçların mekanize kazıcılar ile kazılması sırasında benzer problemler ile karşılaşılabileceği öngörülmektedir. İleride farklı çalışmalarda bu tür kayaçlar üzerinde benzer problemlerin araştırılması bu tez kapsamında belirtilen problemlerin daha net anlaşılmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abdullah, W.S., Alshibli, K.A., Al-Zou'bi, M.S., "Influence of pore water chemistry on the swelling behavior of compacted clays", ***Applied Clay Science***, Vol. 15, pp.447-462, 1999.

Al-Rawas, A.A, Taha, R., Nelson, J.D., Al-Shap, T.B., Al-Siyabi, H., "A comparative evaluation of various additives used in the stabilization of expansive soils", ***Geotechnical Testing Journal, GTJODJ***, Vol. 25, No. 2, pp. 199-209, 2002.

Avsar, E., Ulusay, R., Sonmez, H., "Assessments of swelling anisotropy of Ankara clay", ***Engineering Geology***, 105: 24–31, 2009.

ASTM D 4318., "Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils", ASTM D 4318, West Conshohocken, 2013.

Balci, C., Bilgin, N., "Correlative study of linear small and full-scale rock cutting tests to select mechanized excavation machines", ***International Journal of Rock Mechanics and Mining sciences***, Vol. 44, Issue 3, Pages 468-476, 2007.

Bilim, N., "Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağı'nda Kazı Makinalarının Performanslarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile ilişkilendirilmesi", ***Selçuk Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, 2007.

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

Çomaklı, R., "Niğde ve Kayseri yöresindeki metalik cevherlerin makine ile kazılabilirliğinin araştırılması", ***yüksek lisans tezi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Niğde, 2010.

Çomaklı, R., “Performance of roadheaders in low strength pyroclastic rocks, a case study of cold storage caverns in Cappadocia”, *Tunnelling and Underground Space Technology* **89**, 179–188. doi:10.1016/J.TUST.2019.04.007, 2019b.

Çomaklı, R., “Niğde Bölgesi Kalsitlerinin Kazısında Kollu Galeri Açma Makinesinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *ÖHÜ Müh. Bilim Derg.* Cilt 7 Sayı 2. 2018.

Çomaklı, R., “Taşınabilir Doğrusal Deney Seti Kullanılarak TBM Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi”, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2015.

Comakli, R., “Effects of the physico-mechanical properties of low-strength pyroclastic rocks on cutter wear of roadheaders”, *Wear*, Volumes 428–429, Pages 205-216, 2019.

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

Ebrahimabadi, A., Goshtasbi, K., Shahriar, K., 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.

Erguler, Z.A., Ulusay, R., “Water-induced variations in mechanical properties of clay-bearing rocks”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 355–370. 2009.

Ersoy, C., “Kollu Galeri Açma Makinaları Seçim Kriterleri ve Zonguldak Havzasına Uygulanması”, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2012.

Guha, Roy.D., Singh, TN., Kodikara, J., Das, R., “Effect of Water Saturation on the Fracture and Mechanical Properties of Sedimentary Rocks”, *Rock Mechanics and Rock Engineering* 50:2585–2600 . doi: 10.1007/S00603-017-1253-8/FIGURES/17, 2017.

Haberfield, CM., Johnston, IW., “Determination of the fracture toughness of a saturated soft rock”, <https://doi.org/10.1139/t90-038> 27:276–284 . doi: 10.1139/T90-038, 2011.

Hao, R., qing, Li.J., teng, Cao, P., “Test of subcritical crack growth and fracture toughness under water-rock interaction in three types of rocks”, *Journal of Central South University* 22: . doi: 10.1007/s11771-015-2568-9, 2015.

Hollmann, F., Thewes, M., “Assessment method for clay clogging and disintegration of fines in mechanized tunneling”, TUST, 37, 96–106, 2013.

Jin, Y., Yuan, J., Chen, M., “Determination of rock fracture toughness KIIC and its relationship with tensile strength”, *Rock Mechanics and Rock Engineering* 44: doi: 10.1007/s00603-011-0158-1, 2011.

Dibavar, B., Kahraman, S., Rostami, M., Fener, M., “A New Rock Mass Cuttability Classification for Roadheaders Used in Coal Mining”, *Mining, Metallurgy & Exploration* 40, 1141–1152. doi.org/10.1007/s42461-023-00788-0, 2023.

Kahraman, E., Kahraman, S., “The performance prediction of roadheaders from easy testing methods”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 75, 1585–1596. doi:10.1007/s10064-015-0801-2, 2016.

Karakul, H., Ulusay, R., “Empirical correlations for predicting strength properties of rocks from P-wave velocity under different degrees of saturation”, *Rock Mech Rock Eng*, 46, 981–99, 2013.

Li, D., Wong, LNY., Liu, G., Zhang, X., “Influence of water content and anisotropy on the strength and deformability of low porosity meta-sedimentary rocks under triaxial compression”, *Eng Geol.*, 126, 46–66, 2012.

Luo, Y., “Influence of water on mechanical behavior of surrounding rock in hard-rock tunnels: An experimental simulation”, *Eng. Geo.* 277, 2020.

Li, Z., Reddish, DJ., “The effect of groundwater recharge on broken rocks”, *Int J Rock Mech Min Sci.* 41, 1–6, 2004.

Langmaack, L., Lee, K.F., “Difficult ground conditions? Use the right chemicals! Chances–limits–requirements”, *Tunn. Undergr. Sp. Tech. Incorporat. Trenchless Technol. Res.* 57, 112–121, 2016.

Langmaack, L., “Advanced technology of soil conditioning in EPB shield tunnelling”, *In: Proceedings of North American Tunneling*, pp 525–542, 2000.

Lim, IL., Johnston, IW., Choi, SK., Boland, JN., “Fracture testing of a soft rock with semi-circular specimens under three-point bending”, Part 1—mode I. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* 31:185–197, 1994.

Mahdi, I.M., Ahmed M., Ebid, A.M., Khallaf, R., “Decision support system for optimum soft clay improvement technique for highway construction projects”, *Ain Shams Engineering Journal, In press*, corrected proof, Available online 26 September 2019.

Malayoğlu, U., Akar, A., “Killerin Sınıflandırılmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranan Kriterlerin İrdelenmesi”, *1. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 125-142 pp., İzmir, Türkiye, 1995.

Ocak, I., 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., Miller, R. S., Wang F.D., “Mechanical tunnel boring prediction and machine design”, *Report to National Science Foundation, Colorado School of Mines, Golden*, pp. 313, 1978.

Pakes, G., “Selection of Methods”, *World Tunneling*, 4, No: 9. 1991.

Peila, D., Picchio, A., Chiericato, A., “Earth pressure balance tunnelling in rock masses: laboratory feasibility study of the conditioning process”, *Tunn. Undergr. Sp. Tech.* 35, 55–66, 2013.

Rajabzadeh, MA., Moosavinasab, Z., Rakhshandehroo, G., “Effects of rock classes and porosity on the relation between uniaxial compressive strength and some rock properties for carbonate rocks”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2012.

Rostami, J., Ozdemir, L., Neil, D.M., “Performance prediction: A key issue in mechanical hard rock mining”, *Mining Engineering, November* 1994: 1263-1267, 1994.

Roxborough, F. F. “Elements of machine mining”, *Minerals council of Australia*, 2004.

Shepherd, R. and Withers., “A G Mechanized cutting and loading of coal . London , Odbams Press”, 1960.

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

Török, Á., Vásárhelyi, B., “The influence of fabric and water content on selected rock mechanical parameters of travertine, examples from Hungary”, *Eng. Geol.* 115, 237–245, 2010.

Tunçdemir, H., Bilgin, N., “Kollu galeri açma makinelerinin cevher kazısında kullanımının araştırılması”, *İTÜ Mühendislik Dergisi*, Cilt:1, Sayı:2, 14 – 26, 2002.

Tunçdemir, H., “KGAM veya benzer makinelerin cevher kazısında kullanılabilirliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Haziran 2002.

Vásárhelyi, B., Davarpanah, M., “Influence of water content on the mechanical parameters of the intact rock and rock mass”, *Period. Polytech.-Civ.* 62, 2018.

Vásárhelyi, B., “Statistical analysis of the influence of water content on the strength of the miocene limestone”, **Rock Mechanics and Rock Engineering** 38:69–76 , 2005.

Vutukuri, VS., “The effect of liquids on the tensile strength of limestone”, **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, 1974.

Yinga, P., Zhub, Z., Renb, L., Dengb, S., Niub, C., Wanb, D., Wang., F., “Deterioration of dynamic fracture characteristics, tensile strength and elastic modulus of tight sandstone under Kuru-Yaş cycles”, **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**. 109, 102698, 2022.

Yilmaz, I., “Influence of water content on the strength and deformability of gypsum”, **Int. J. Rock Mech. Min. Sci.** doi:10.1016/j.ijrmms.2009.09.002, 2010.

Yıldırım, Ü. E., “Şişen killer ve tünel tasarımına etkisi”, **Yüksek lisans tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, 2009.

Wong, LNY., Jong, MC., “Water saturation effects on the Brazilian tensile strength of gypsum and assessment of cracking processes using high-speed video”, **Rock. Mech Rock Eng.**, 4, 1103–15, 2014.

Zhou, Z., Cai, X., Ma, D., Cao, W., Chena, L., Zhou, J., “Effects of water content on fracture and mechanical behavior of sandstone with a low clay mineral content”, **Engineering Fracture Mechanics Volume 193**, Pages 47-65, 2018.

Zhou, J., Tang, Y., “Artificial ground freezing of fully saturated mucky clay: Thawing problem by centrifuge modeling”, **Cold Regions Science and Technology, Volume 117**, September , Pages 1-11, 2015.

ÖZGEÇMİŞ

Ali Tolga SÖNMEZ, ... yılında ...'de doğdu. İlk-Orta ve Lise eğitimini İskenderun'da tamamladı. 1989 yılında lisans eğitimini Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 1996 yılında Polat Holding bünyesinde çine öğütme tesislerinde maden mühendisi olarak çalışma hayatına başladı. Daha sonra Niğde' de Nidaş Anonim Şirketi bünyesinde mikronize öğütme tesisi kurulum ve işletme aşamalarında görev aldı. 2001 yılından itibaren Atabek Ltd. Şti.'de farklı pozisyonlarda görev aldı. Hali hazırda Niğde' de Tema Beton firmasında maden mühendisi olarak çalışmaktadır.

