



**ÇİMENTO DOLGULU KAYA
SAPLAMALARIN ÇEKME DAYANIMI
ÜZERİNDE DONMA ÇÖZÜLME
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Metin ÖZLEKLİ

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı
Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU
2020**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇİMENTO DOLGULU KAYA SAPLAMALARIN ÇEKME
DAYANIMI ÜZERİNDE DONMA ÇÖZÜLME ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Metin ÖZLEKLİ

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Geoteknik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2020**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**ÇİMENTO DOLGULU KAYA SAPLAMALARIN ÇEKME DAYANIMI ÜZERİNDE
DONMA ÇÖZÜLME ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU danışmanlığında, Metin ÖZLEKLİ tarafından hazırlanan bu çalışma 03/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Geoteknik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (3./3..) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

İmza :

Üye : Prof. Dr. Mehmet ORHAN

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih IŞIK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun .09.../ .01.../ 2020... tarih ve 02.../ .37..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇİMENTO DOLGULU KAYA SAPLAMALARIN ÇEKME DAYANIMI ÜZERİNDE DONMA ÇÖZÜLME ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Metin ÖZLEKLİ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

Kaya saptamalar, kaya zeminde bulunan açıklığı çevreleyen kaya kütlelerinin kendisini taşımasına yardımcı olan tahkimat elemanlarıdır. Çimento dolgulu kaya saptamalar zayıf, orta ve sert kayalarda, şevlerde, tünel aynalarında ve tünel tabanlarında kullanılmaktadır. Bu saptamalar karasal iklime sahip bölgelerde imalat yapıldıktan sonra özellikle yüzeye yakın kısımları (don derinliği) donma çözölmeye maruz kalmaktadırlar. Bu ise saptamanın çekme dayanımı üzerinde olumsuz yönde etki edebilmektedir. Literatürde kaya saptamaları ile ilgili oldukça fazla çalışma olmasına karşın çimento dolgulu kaya saptamalarda donma çözölmeye etkisi ile ilgili az sayıda çalışma yer almaktadır. Bu amaçla çalışmada çimento dolgulu kaya saptamaların çekme dayanımı üzerinde donma çözölmeye etkisi incelenmiştir. Çimento dolgulu kaya saptamalarda kullanılacak dolgu malzemesinin (grout) seçiminde su/çimento oranı (s/ç=0.4) sabit tutularak çimentonun ağırlıkça %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında ince kum ilave edilmiştir. En yüksek serbest basınç dayanımını veren (%3 kum oranı) karışım dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Kaya olarak dasit-riyolit malzemesi seçilmiştir. Dolgu malzemesinin donma çözölmeye davranışını belirlemek için 0-25-50 ve 100 donma çözölmeye çevrimine tabi tutularak çevrimler sonrasında dolgu malzemesinin basınç dayanımları belirlenmiştir. Seçilen dolgu malzemesi ile hazırlanan kaya saptamalarının donma çözölmeye çevrim sayısı etkilerini belirlemek amacıyla bu numuneler 0-25-50 ve 100 donma çözölmeye çevrimine tabi tutulmuştur. Her bir çevrim sonunda çimento dolgulu kaya saptamalarının çekme mukavemetleri ve aderans gerilmeleri belirlenmiştir.

Yapılan laboratuvar deney sonuçlarından donma çözölmeye çevrimlerine maruz kalan çimento dolgulu kaya saptamalarının çekme dayanımının ve aderans gerilmesinin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca donma çözölmeye çevrimleri sonucunda dolgu malzemesi basınç dayanımları ile bu malzeme ile üretilen kaya saptamalarının çekme mukavemeti davranışlarının paralellik arz ettiği gözlenmiştir.

2020, 65 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çimento dolgulu kaya saptama, kaya tahkimat, kaya güçlendirme, donma çözölmeye, aderans gerilmesi, çekme kuvveti

ABSTRACT

Master's Thesis

INVESTIGATION OF THE FREEZE – THAW EFFECT OF CEMENT FILLED ROCK BOLTS ON TENSILE STRENGTH

Metin ÖZLEKLİ

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Department of Geotechnical

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIÑOĞLU

Rock bolts are the support elements that help the rock masses surrounding the opening in the rock ground to carry itself. Cement-filled rock bolts are used in slopes of weak medium and hard rocks, tunnel faces and tunnel bases. These bolts are subjected to freeze-thawing, especially in areas close to the surface (frost depth) after producing in terrestrial climates. This can have a negative effect on the tensile strength of the bolt. Although there are many studies on rock bolts in literature, there are a few studies on the effect of freeze-thaw in cement filled rock bolts. For this purpose, the effect of freeze-thaw on the tensile strength of cement-filled rock bolts was investigated. Water / cement ratio ($w/c = 0.4$) was kept constant in the selection of the filling material (grout) to be used in the cement-filled rock bolts and 0, 1%, 2%, 3%, 4% and 5% by weight of fine sand was added to the cement. The mixture which gives the highest uniaxial compressive strength (3% sand content) is used as filling material. Dacite-rhyolite material was chosen as rock. In order to determine the freeze-thaw behavior of the filling material, the compressive strengths of the filling material were determined by applying 0-25-50 and 100 freeze-thaw cycles. These samples were subjected to 0-25-50 and 100 freeze thaw cycles in order to determine the effects of the number of freeze thaw cycles of the rock bolts prepared with the selected filling material. At the end of each cycle, tensile strength and adherence stresses of cement filled rock bolts were determined.

It was determined from the laboratory test results that the tensile strength and adherence stress of cement filled rock bolts exposed to freezing and thawing cycle decreased. In addition, as a result of the freeze-thaw cycles, it was observed that the compressive strengths of the filling material and the tensile strength behavior of the rock bolts produced with this material were in parallel.

2020, 65 pages

Keywords: Rock bolts, ground fortification, ground support, rock reinforcement, ground reinforcement.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU'na içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma kapsamındaki deneyler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği ve Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarlarında yürütülmüştür. Bu kapsamda deneysel çalışmalar esnasında yardımları ve önerilerini sunan Sayın Dr. Öğretim Üyesi Rahim Kağan AKBULUT, Sayın Dr. Öğretim Üyesi Fatih IŞIK, Sayın Araştırma Görevlisi Fatih ARTUK ve Sayın Araştırma Görevlisi Elif AYIK ve Sayın İnşaat Mühendisi Sümeyye GÜNDÜZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman ve her konuda beni asla yalnız bırakmayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli aileme şükranlarımı sunarım.

Metin ÖZLEKLİ

Ocak, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Kaynak Özetleri.....	2
2. KURAMSAL TEMELLER.....	12
2.1. Kaya Saplamlarda Zemin Güçlendirme Mekanizmaları.....	12
2.1.1. Askıya alma (Süspansiyon) etkisi.....	12
2.1.2. Kiriş etkisi.....	13
2.1.3. Kilitleme etkisi.....	13
2.1.4. Kemerleme etkisi.....	14
2.2. Kaya Saplamlarının Ankraj Mekanizmaları.....	15
2.3. Kaya Saplamların Sınıflandırılması ve Türleri.....	16
2.3.1. Mekanik ankrajlı kaya saplamlar.....	17
2.3.1.a. Kama – yarık ankrajlı kaya saplamlar.....	18
2.3.1.b. Genişleme başlıklı kaya saplamlar.....	19
2.3.2. Dolgu ankrajlı kaya saplamları.....	21
2.3.2.a. Çimento dolgulu kaya saplamları.....	22
2.3.2.b. Reçine dolgulu kaya saplamları.....	23
2.3.3. Sürtünmeli kaya saplamları.....	24
2.3.3.a. Split – set kaya saplamlar.....	25
2.3.3.b. Swellex kaya saplamlar.....	27
2.3.4. Yüksek enerji emme kapasiteli kaya saplamları.....	28
2.3.5. Delici bitli kaya saplamlar.....	29
2.3.6. Kablo saplamlar.....	30

2.3.7. Perfo kaya saptlamaları (perfobolt)	31
2.3.8. Fiberglas ve ağaç kaya saptlamaları	32
2.3.9. Kendinden matkaplı kaya saptlamaları	33
2.3.10. Dübel tipi kaya saptlamaları	33
2.3.11. Genişleyebilen gövdeli kaya saptlamalar	34
2.3.12. Lamalı kaya saptlamalar	34
2.3.13. Kombinasyon saptlamaları	35
2.3.14. Polimer kompozit saptlamalar	36
2.3.15. Tavan askıları (tavan çerçevesi)	36
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	38
3.1. Materyal.....	38
3.1.1. Kum	38
3.1.2. Saplama malzemesi	38
3.1.3. Çimento malzemesi	39
3.1.4. Dasit-riyolit	40
3.1.5. Karıştırıcı.....	40
3.1.6. Kalıp	41
3.1.7. Tek eksenli basınç deney cihazı	42
3.1.8. Donma çözülme deney cihazı.....	42
3.1.9. Çekme deney cihazı.....	43
3.2. Yöntem	44
3.2.1. Dolgu malzemesinin (grout'un) hazırlanması.....	44
3.2.2. Kaya saptlamalarda kullanılacak dolgu malzemesi (grout)nın belirlenmesi.....	46
3.2.3. Kayalara saptlamaların yerleştirilmesi	46
3.2.4. Donma çözülme deneyi	48
3.2.5. Çekme deneyi	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	51
4.1. Dolgu Malzemesi (Grout) Serbest Basınç ve Donma Çözülme Deneyleri	51
4.2. Kaya Saplama Numuneleri Çekme Deneyleri.....	53
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

τ_b	Aderans Gerilmesi
P_{max}	Çekme Kuvveti
d_b	Saplama Çapı
l_b	Aderans Uzunluğu
Cl	Klor
Dk	Dakika
kN	Kilonewton
kPa	Kilopascal
MPa	Megapascal
Rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
Sn	Saniye
SO ₃	Kükürt Trioksit
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
w/c	Su/Çimento

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kaya saplaması uygulaması.....	2
Şekil 2.1. Askıya alma (süspansiyon) etkisi	12
Şekil 2.2. Kiriş etkisi.....	13
Şekil 2.3. Kilitleme etkisi	14
Şekil 2.4. Kemerleme etkisi	15
Şekil 2.5. Kaya saplamaların ankraj mekanizmaları.....	16
Şekil 2.6. Kaya saplamaların sınıflandırılması	17
Şekil 2.7. Mekanik ankrajlı kaya saplama	17
Şekil 2.8. Kama – yarık ankrajlı saplama	19
Şekil 2.9. Genişleme başlıklı kaya saplaması	20
Şekil 2.10. Çimento dolgulu kaya saplama.....	22
Şekil 2.11. Reçine dolgulu kaya saplama	24
Şekil 2.12. Split set kaya saplaması etki mekanizması.....	25
Şekil 2.13. Split set kaya saplaması	27
Şekil 2.14. Swellex kaya saplama montajı.....	28
Şekil 2.15. Roofex kaya saplama davranışı	29
Şekil 2.16. Delici bitli kaya saplama	30
Şekil 2.17. Kablo saplama tipleri.....	31
Şekil 2.18. Ahşap ve fiberglass saplamaların yerleştirilmesi	32
Şekil 2.19. Kendinden matkaplı kaya saplamaları	33
Şekil 2.20. Genişleyebilen gövdeli kaya saplama.....	34
Şekil 2.21. Lamalı kaya saplamaları	35
Şekil 2.22. Kombinasyon saplamaları	35
Şekil 2.23. Tavan askısı	37
Şekil 3.1. Kum	38
Şekil 3.2. 12 mm çapında nervürlü donatı	39
Şekil 3.3. CEM I 42.5 N çimento.....	40
Şekil 3.4. Dasit-riyolit kaya	40
Şekil 3.5. Karıştırıcı	41

Şekil 3.6. Kalıp	41
Şekil 3.7. Basınç deney cihazı	42
Şekil 3.8. Donma – çözülme deney cihazı.....	43
Şekil 3.9. Çekme deney cihazı.....	43
Şekil 3.10. Dolgu malzemesinin hazırlanması ve kalıplara konulması	45
Şekil 3.11. Sertleşmiş dolgu malzemesi (grout) numunelerinin küre konulması	45
Şekil 3.12. Dolgu malzemesi (grout) numunesi.....	46
Şekil 3.13. Kaya saplama oyuğunun hazırlanması	47
Şekil 3.14. Ankraj yapılan kaya saptamalar.....	48
Şekil 3.15. Donma çözülme kabineine koyulan kaya saplama numuneleri	49
Şekil 3.16. Kaya saplama çekme deneyi.....	50
Şekil 4.1. Serbest basınç mukavemeti – kum oranı ilişkisi	51
Şekil 4.2. Serbest basınç mukavemeti-donma çözülme çevrim sayısı ilişkisi.....	52
Şekil 4.3. Çekme kuvveti-deplasman ilişkisi	54
Şekil 4.4. Çekme kuvveti-deplasman ilişkisi	54
Şekil 4.5. Çekme kuvveti-deplasman ilişkisi	55
Şekil 4.6. Çekme kuvveti-deplasman ilişkisi.....	55
Şekil 4.7. Çekme deneyi yapılan kaya saplama numuneleri.....	57
Şekil 4.8. Çekme kuvveti – deplasman ilişkisi	57
Şekil 4.9. Aderans gerilmesi – deplasman ilişkisi	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler.....	39
Çizelge 4.1. Dolgu malzemesi (grout) serbest basınç deneyi verileri.....	51
Çizelge 4.2. Serbest basınç mukavemeti değerleri	52
Çizelge 4.3. Maksimum yük ve deplasman verileri.....	53



1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Literatürde kaya saptamaları ile ilgili oldukça fazla yayın olmasına karşın çimento dolgulu kaya saptamalarda donma çözülmenin etkisi ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu amaçla çalışmada çimento dolgulu kaya saptamaların çekme dayanımı üzerinde donma çözülme etkisi incelenmiştir.

Kaya saptamaları ilk olarak maden sektöründe kullanılmaya başlanmış olsa da 2000'li yılların başına kadar birçok sektör de kullanımı giderek artış göstermiştir. Kaya saptamalar inşaat mühendisliği, maden mühendisliği, tünel mühendisliği gibi birçok sektörde yaygın halde kullanılmaktadır. İnşaat mühendisliğinde; köprü, raylı sistemlerde, otoyollarda güvenlik sağlamak amacıyla, barajlarda, şevlerde, sığınaklarda, yer altı tesislerinde ve santrallerde, maden mühendisliğinde; özellikle tavan çökmelerini engellemek, kömür madenlerinde damarların ve maden içerisinde bulunan çatlaklı kayaların tahkimatını sağlamak gibi birçok alanda güvenliği sağlamak amaçlı kullanılmaktadır (Teymen 2012).

Kaya saptamalar 1800 lü yılların sonlarından itibaren tünel, maden ve inşaat sektörlerinde kullanılmaya başlanmış olup günümüzde kullanımı daha da yaygınlaşarak devam eden tahkimat elemanlarıdır. Kaya saptamaların ilk kullanım tarihi 1872 yılında Kuzey Galler'de bir taş ocağında başlanmıştır (Schach *et al.* 1979). 1910'lu yıllarda Almanya'da kömür ocaklarında uygulanan kaya saptama konsepti için, 1913 yılında patent talebinde bulunulmuş böylece kaya saptaması uygulamaları madencilik terminolojisinde yer edinmeye başlamıştır (Kovari 2003a). Amerika Birleşik Devletleri'nde 1900 lü yıllarda ilk olarak kullanılan kaya saptamalar metal madenlerinde kullanılmıştır. 20. yy'ın ortalarında kaya saptamaların zemin ve kaya tahkimatlarında kullanılmasıyla alakalı araştırmalar yapılmasıyla kaya saptamaların kullanımı ve konu hakkındaki araştırmalar hız kazanmıştır. Aynı dönemlerde kaya

saplamaların zemine ankrajında püskürtme beton kullanılabileceği yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Kaya saplamlara dair 20.yy da meydana gelen gelişmeler özellikle madencilik sektörü açısından bir dönüm noktası olmuştur. (Kovari 2003b). Kaya saplamasına ait bir uygulama örneği Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Kaya saplaması uygulaması (Anonim 2018a)

1.2. Kaynak Özetleri

Benmokrane *et al.* (1995) tarafından yapılan çalışmada altı farklı tip çimento esaslı harç ve iki tip çelik kaya ankrajı üzerine laboratuvar çalışması yapılmıştır. Silis dumanı, alüminyum tozu, süper akışkanlaştırıcı ve kum kullanılan çimento harçlarının fiziksel ve mekanik özellikleri, geleneksel çimento harçlarının özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Farklı derzlere ve gömülme uzunluklarına, benzer koşullar altında çekme testleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçlardan, verilen bir yerleştirme uzunluğu için çekme direncinin tahmininde ampirik bir denklem elde etmişlerdir.

Ünver (1999) tarafından yapılan çalışmada ülkemiz yeraltı kömür ocaklarında günümüze kadar sınırlı sayıda yerel denemeler yapılmış olmasına karşın endüstriyel ölçekte hemen hemen hiç kullanılmamış olan kaya saplamları ve temel çalışma ilkeleri hakkında bilgiler verilmekte ve dünyada nasıl başarı ile uygulandığını sunmuşlardır. İstatistikler incelendiğinde hem çalışma emniyetinin mukayese kabul etmeyecek

oranlarda artmış olması, hem de maliyet ve işlevsel özellikler açısından büyük avantajlar elde edildiğini belirtmişlerdir. Ülkemizde, özellikle, reçine dolgulu kaya saplama, rutin izleme ve ayrıntılı ölçme istasyonlarının tesisi ile birlikte başarılı olarak kullanılabileceğini ve Zonguldak bölgesi dâhil, bütün yeraltı kömür ocaklarımızda bu yöntemin kullanılması daha verimli uzun ayaklara yerlerine sahip olmamıza olanak sağlayacağını belirtilmişlerdir.

Kılıç ve Anıl (1999) tarafından yapılan çalışmada çimento dolgulu - nervürlü kaya saplama dolgu malzemesi olarak kullanılan çimento içerisine %4'e kadar kum veya uçucu kül ilavesinin saplama taşıma kapasitesini arttırdığını belirtmişlerdir. Öte yandan kaya saplama kullanılan kayacın mekanik özelliklerinde artışa paralel olarak kaya saplama kapasitesini arttırdığını ve buna karşın kaya saplama kullanılan kayacın mekanik özellikleri ve gözeneklerinde artışa bağlı olarak delik çapı/ saplama çapı oranının azalması gerektiğini belirtmişlerdir.

Kılıç vd (2002) tarafından yapılan çalışmada farklı s/ç oranı, karıştırma süreleri, katkı malzemeleri ve priz sürelerine göre değişiklik gösteren grouttan oluşan kaya saplama hazırlanmış ve çekme testlerine tabi tutulmuştur. Kaya saplama çekme dayanımının s/ç oranına, karıştırma süresine, katkı maddelerine ve priz süresine göre değişiklik gösterdiği ve mekanik özelliklerinin bu parametrelere bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Saplama çapı ve uzunluğunun artırılmasının saplamanın taşıma kapasitesini arttırdığını göstermişlerdir. Ancak bu artış saplamanın nihai taşıma mukavemeti ile sınırlı olduğu belirtmişlerdir. Optimum s/ç oranının 0,34–0,4 aralığında olması ve oyuğun içine harç dökülmeden önce iyice karıştırılması gerektiği önerilmiştir. Harç malzemesinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi saplamanın taşıma gücünü logaritmik olarak arttırdığını ve kür süresinin artışı ile kaya saplama çekme dayanımının arttığını gözlemlemişlerdir.

Ansell (2005) kaya patlamaları ve patlayıcılara maruz kalan yeraltı yapılarında kullanılan enerji emici kaya saplama üzerinde çalışma yapmıştır. Enerji soğurucu kaya saplamanın yeni bir türü geliştirilmiş ve laboratuvarında test edilmiştir. Dinamik bir

yüke maruz kaldığında, çelik çubuğun uzatılması çapta bir azalmaya yol açtığı, böylece çubuk ve enjeksiyon arasındaki yapışkan bağın kaybolduğu ve saplamanın dış ucunun serbest kaldığı gözlemlenmiştir. Kaya saplaması, çimentoya tamamen dolanarak korozyona karşı çok iyi koruma sağlandığı belirtilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında, beton silindirlerdeki kaya saplamalar için, 10 m / s'lik bir yükleme hızı ile teste tabi tutulmuştur. Testler, yük dinamik olarak yüklendiğinde, plastik gerilmenin oluklu bir kaya saplama uzunluğu boyunca dağılımının sabit olmadığı belirlenmiştir.

Madenga *et al.* (2006) tarafından madencilik ve inşaat mühendisliği yapılarında kazı alanlarını güçlendirmek için yaygın olarak kullanılmakta olan oluklu kaya saplamaları üzerinde testler yapılmıştır. Kurlenme süresi ve test frekansının, betona dökülen kaya saplamalar boyunca yayılan ultrasonik dalgaların hızı üzerindeki etkilerine ilişkin deneysel bir çalışma yapılmıştır. Kaya saplamaların harç kalitesini test etmek için dalga hızı düşüşüne dayalı yeni bir yaklaşım olasılığını öne sürmenin önemini göstermiş ve harç kalitesinin ölçülebildiği tahribatsız bir teknik ortaya çıktığı belirtilmiştir.

Ivanovic *et al.* (2008) tarafından kaya saplama sisteminin aksel titreşimi için sürekli bir dinamik model üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Model sabit uzunluk, kayaya yapıştırılmış serbest uzunluk, kayaya bağlanmayan ve kayanın ötesine uzanan çıkıntılı uzunluktan oluşturulmuştur. Sonuçlar, sertlik ve uzunluk oranlarındaki değişimlerin saplamanın sabitlenmiş saplama uzunluğu ve bağlanma kalitesi ile ilişkili dinamikleri etkilediğini göstermiştir.

Villaescusa *et al.* (2008) tarafından yapılan çalışmada, Avustralya'daki kaya saplama uygulamalarının çoğunda en iyi reçine karışımının ve saplama kapsüllemesinin, saplamanın orta bölgesinde gerçekleştiği gösterilmiştir. Ek olarak, aşınan saplamaların çoğunda yaka bölgesinde reçine olmadığı, bu da saplamaların da etkili bir şekilde kaplanmasının, saplamaların uzun vadeli etkisi için çok önemli olduğu şeklinde belirtilmiştir. Kapsülleme ve yük transferi açısından en kötü koşulların, saplamaların ayak bölgesine doğru olan kısımlarında bulunduğu gözlemlenmiştir.

Yücel ve Kılıç (2010) tarafından çimento dolgulu kaya saplamlarının taşıma güçlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bazalt bloklara yerleştirilen saplamalara yapılan çekme deneylerinde, saplamanın yük taşıma kapasitesinin dolgu malzemesinin basınç ve makaslama dayanımları ile kür süreleri arasındaki ilişki incelenerek deneysel çalışma yapılmıştır. Kaya saplamlarda kullanılan dolgu malzemelerinden en yüksek tek eksenli basınç değeri silis dumanı ilave edilerek hazırlanan dolgu malzemesinden elde edilmiştir. Saplamların en düşük çekme kuvveti değeri ise 0,4 su/çimento oranına sahip dolgu kullanılarak üretilen saplamada olduğu gözlemlenmiştir. Diğer karışımların 28 günlük kür süresinden sonra aynı dayanıma ulaştığı tespit edilmiştir.

Zou *et al.* (2010) tarafından oyuklu kaya saplamların harç kalitesini tahmini için tahribatsız bir yöntem geliştirmek amacıyla kılavuzlu ultrasonik dalgaların özellikleri araştırılmıştır. Hazırlanan her numune, farklı basınç dayanımıyla tasarlanmış 200 mm çaplı bir beton silindir içine dökülmüştür. Bu numuneler üzerinde 10 ila 100 kHz frekanslı ultrasonik dalgalar kullanılarak çok sayıda test gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar harç kalitesini test etmek için ultrasonik dalgaları kullanma potansiyelini göstermiştir.

Cui *et al.* (2012) tarafından oluklu kaya saplamların kusurlarını tespit etmek için bir çalışma yapılmıştır. Kaya saplama kusurlarını tespit etmek için ultrasonik yöntem kullanılmıştır. Yetersiz inşaat demiri ve eksik harç etkilerini değerlendirmek için sayısal modelleme yapılmıştır. Sayısal sonuçlar ile laboratuvar testleri birbirini doğrulamıştır. Yetersiz saplama ve eksik harçların ultrasonik sinyallerle tespitinin pratikte mümkün olduğu doğrulanmıştır. Ultrasonik dalgaların zayıflaması ve dalga hızındaki değişiklikler ile inşaat demiri ve eksik harcın tespitinin makul bir doğrulukla tespit edildiği gözlenmiştir.

Martín *et al.* (2013) tarafından saplama-harç ara yüzünü incelemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla saplama çubuğu üzerine etki eden eksenel yükler düşünülerek teorik ve deneysel araştırmalar yapılmıştır. Teorik araştırmalara göre saplama, harç ve zeminin tepkisini doğrudan erişilemeyen ara yüz tepkisine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Deneysel bilgi edinmek için çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Saplama-harç ara yüzeyini doğru bir şekilde incelemek için çevresindeki malzemelerin davranışının iyi bilinmesi gerektiği belirtilmiştir. Saplama yük taşıma kapasitesinin saplama profiline bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Ma *et al.* (2014) yaptıkları çalışmada yük altında tamamen harçlı ve serbest kaya saplama davranışları arasındaki fark araştırmışlardır. Yük-kayma ilişkisi, kayma dağılımı, kayma gerilmesi ve gerilme dağılımlarının türetilmiş analitik çözümlerinin tümüyle serbest son kayma ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Analitik yaklaşım, deney sonuçları ile doğrulanmıştır. Serbest son kaymanın, kaya saplama davranışında önemli bir etkiye sahip olduğu ve göz ardı edilmemesi gerektiği ortaya koyulmuştur.

Yu Chen (2014) tarafından iki bağlantı boşluğu (0 mm ve 30 mm) ve üç ana kaya malzemesi (zayıf beton, kuvvetli beton ve beton-granit) olmak üzere beş yer değiştirme açısı (0°, 20°, 40°, 60°, 90°) düşünülmüş ve gerilme ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlar D-Bolt ve rebar saplamanın yer değiştirme kapasitelerinin, zayıf kayada, sert kayaca göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Jiang *et al.* (2014) tarafından kaya saplama üzerinde korozyonunun etkisini araştırmak üzere çalışma yapılmıştır. Sonuçlar korozyon olasılığının, saplama örtüsünün kalınlığı arttıkça azaldığını ve su/çimento oranının artmasıyla birlikte arttığını göstermiştir. Ön gerilmeli kaya saplama tasarımı ve yapımı sırasında belirli bir kalınlıkta saplama kapağı garanti edilmelidir ve kaya saplama sisteminin uzun vadeli istikrar etkisini arttırmak için enjeksiyonun su-çimento oranının sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Changxing *et al.* (2015) tarafından kaya saplama sistemi için sayısal bir model geliştirilmiştir. Kaya saplama sisteminin saplama-grout ara yüzünün davranışını incelemek amacıyla model simüle edilmiştir. Sayısal veriler test sonuçları ile doğrulanmış ve sayısal verilerin test verilerine yakın olduğu gözlemlendiği tespit edilmiştir. Sayısal verilere göre harç malzemelerinde oluşan çatlakların eğimli ve yatay çatlak olarak

tanımlanabileceği belirtilmiştir. Sonuçlarla ara yüzey boyunca kayma gerilmesinin yüklü olan uçtan serbest uca doğru doğrusal olmayan bir şekilde azaldığı gösterilmiştir. Eğimli çatlak olduğunda ara yüz boyunca kayma gerilmesinin azaldığı gözlenmiştir. Dolgu malzemesinin tamamen çatlamasından sonra ara yüzey boyunca sadece çok düşük kayma gerilmesi olduğunun gözlemlendiği belirtilmiştir.

Srivastava *et al.* (2015) tarafından yapılan çalışmada eklemlili kayaların mühendislik davranışı incelenmiştir. Eklemlili kayaların derzlerin varlığına bağılı olarak sağlam kayalara kıyasla büyük ölçüde yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Doğal eklemlili doğal kaya damarları ve düz eklemlili sentetik kaya damarları tek eksenli sıkıştırma altında test edilmiştir. Testler, saplama olan ve saplama olmayan numunelerde yapılmıştır. Kayayı güçlendirmek için groutlu çelik saplama kullanılmıştır. Testlerden elde edilen sonuçlara göre kaya saplama kullanılması, kayadaki yenilmeye karşı kuvvet ve modül değerlerini arttırmıştır.

Ghadimi *et al.* (2015) tarafından yapılan çalışmada saplama profili ve hareket bağlantılarına dayanarak kaya saptamada eksenel yer değıştirmeyi tahmin etmek için yeni bir analitik çözüm üretilmiştir. Tüm teorik modellerin, saplama profillerinden bağımsız olarak yük aktarma mekanizmasını bir kırılma ile belirleyebildiğı tespit edilmiştir. Saplama profili şeklinin ve aralığının, saplama ve çevresindeki tabakalar arasındaki kayma mukavemetinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynadığını ifade edilmiştir. Deneysel yöntem ve sayısal modelleme ile karşılaştırılmıştır. Analitik, sayısal modelleme ve deneysel yöntemlerin karşılaştırılması ile üçünün iyi bir uyum gösterdiği belirtilmiştir. Dolayısıyla, analitik modellerin ve gerçekçi sayısal yöntemlerin kombinasyonu ile daha iyi kaya saplama profillerinin geliştirilebileceğı belirtilmiştir.

Komurlu *et al.* (2016) tarafından, bir dizi laboratuvar ve saha deneyi yapılarak Polyamid-6 tipi mühendislik polimerinin yeni bir kaya saplama malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Dolgulu bir kaya saplama malzemesi olarak test edilen Poliamid-6 tipi polimerin, iyi bir vücut mukavemeti, büyük elastik deformasyon limiti ve yüksek enerji emme kapasitesine sahip olduğu değerlendirilmiştir. Polyamid-6

saplmalı kayanın taşıma kapasitesinin düşük olmasının, saplama ile çimento harcı arasındaki aderansın bir sonucu olarak mekanik ankraja bağlı olduğunu bulunmuştur. Kaya mühendisliğinde hem statik hem de dinamik yük koşulları altında ideal destek reaksiyonlarına sahip poliamid kaya saplamlarının sistematik kullanımına başlanması önerilmiştir.

Li *et al.* (2016) tarafından yapılan çalışmada kaya saplamlarının kritik gömme uzunluğunu belirlemek için bir dizi kaya saplama çekme testi gerçekleştirilmiştir. Saplama çapı 20 mm olup, testlerde üç farklı su-çimento (w/c) oranı kullanılmıştır. Kaya saplamanın bağ kuvvetinin sabit olmadığı fakat gömme uzunluğuyla ilişkili olduğu bulunmuştur. Bağ kuvvetinin, enjeksiyonun basınç dayanımı ile doğrusal orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

Kang *et al.* (2016) tarafından kaya saplamlarının kırılma faktörlerini araştırmak için laboratuvar testleri ve sayısal modelleme içeren kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Saplamanın yerleştirilme açısı, ön gerdirme koşulları ve plaka, somun etkileri değerlendirilmiştir. Eğik bir açıyla yerleştirilmiş bir saplamanın, gerilme, bükülme ve eğilme gibi karmaşık bir gerilme kombinasyonuna sahip olduğu bulunmuştur. Bu karmaşık gerilmenin saplamanın akma dayanımından az olmasına rağmen yenilmesine sebep olarak bükülme bölgesinde çatlama ve genişlemeye yol açtığı gözlenmiştir.

Cao *et al.* (2016) tarafından derz dolgu malzemesine az miktarda sert parçacık ekleyerek, tamamen oyuklu bir kaya saplama sisteminin yük aktarım kapasitesini ve kayma direncini arttırmak için çalışma yapılmıştır. İlave karışım harçlarının yapıştırma etkisi farklı karışım seviyelerinde incelenmiştir. Maksimum bağ kuvvetinde ortalama %14 artışı ve enerji emiliminde normal bir kaya saplama göre yaklaşık %70 artış gözlenmiştir. Katkı maddesi ile harç için yük - yer değiştirme eğrileri yüksek düzensizlik göstermiştir. Katkı harcı ekstra bir parçalama kuvveti oluşturarak, ve saplama yükleme işleminde parçalama aralığını genişlemesine olanak sağlayacağı tespit edilmiştir.

Ma *et al.* (2017) tarafından çelik borulara monte edilmiş tam dolgulu kaya saplama bağ özellikleri saplama itme testleri ile incelenmiştir. Avustralya yeraltı madenlerinin kurulum tekniği kullanılarak kaya saplama tüplere yerleştirilmiştir. İçinde kaya saplama bulunan bu tüpler sahadan alınmış ve 100 mm'lik kesitler halinde kesilmek üzere laboratuvara getirilerek itme testi yapılmıştır. Her bir saplama bölümünün ayrı bir yük yer değiştirme profiline sahip olduğu ve bu bağ kuvvetinin saplama uzunluğu boyunca önemli ölçüde değiştiği bulunmuştur.

Li *et al.* (2017) tarafından yapılan çalışmada kuru ısı ortamında yüksek jeotermal tüneller için degradasyon problemini ve bir destek yapısının emniyetini sağlamak için çeşitli sıcaklıklarda ve farklı pürüzlülük seviyelerinde olan kaya saplama için yapılan çekme dayanımı testleri yapılmıştır. Çevredeki kayaların pürüzlülüğü, farklı tiplerde çelik borularla ve kuru ısı ortamı farklı fırın sıcaklıkları ile simule edilmiştir. 1. Ara yüze (saplama-harç) ve 2.ara yüze (harç- boru) yapılan çekme dayanımı testlerinden kaya saplama dayanımının yük-yer değiştirme eğrileri farklı sıcaklık ve pürüzlülük değerleri için elde edilmiştir. Sonuçlar sıcaklığın çok az etkiye sahip olduğunu, ancak kaya saplama çevresindeki pürüzlülüğün çekme dayanımı üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Teymen (2017) tarafından çimento esaslı oluklu çatlaklı kaya burkulmaları için gelişmiş derz dolgu malzemeleri ile deneysel çalışma yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada, katkı maddelerinin (silis dumanı, yüksek fırın cürufu, uçucu kül vb.) harç ve kaya arasındaki bağ özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Beş değişik kür süresi için (1, 3, 7, 28 ve 90 gün) oyuklu kaya kütükleri için toplam 150 kaya saplama çekme testi on farklı oyuk kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm harç türleri aynı oranlarda hazırlanmış ve ince agrega olarak silis kumu kullanılmıştır. Mineral katkıların %15'inin ağırlık olarak çimento ile yer değiştirdiği harç karışımları hazırlanmıştır. Sonuçlar, tüm karışımlarda silis dumanı (SF) ve metakaolin (MK) ile üretilen harçların her yaşta en yüksek basınç dayanımı ve bağ kuvveti verdiğini göstermiştir. Uçucu kül harçının tüm mukavemet testleri, referans harçına uygun olarak 28 günlük kür süresine kadar düşük değerler sergilerken bu süreden sonra keskin bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Perlit (PRL) ve

yüksek fırın cürufu (BFS) ile birlikte groutlar, referans grouta göre benzer mukavemet değerlerini göstermiştir. Sonuç olarak; tünel uygulamalarında mineral katkı kullanımıyla yüksek mukavemetli ve düşük maliyetli harçların elde edildiği gözlenmiştir. Buna ek olarak, atık maddelerin kullanımı ile çevre sorunlarının çözümüne katkıda bulunabileceği belirtilmiştir.

Liu *et al.* (2017) tarafından tamamen oluklu kaya saplama mekanizmasına dayanarak saplama ve çevresindeki kaya arasındaki etkileşim için analitik bir model oluşturulmuştur. Dinamik sonlu elemanlar yöntemine dayanarak ankraj ara yüzü üzerindeki kayma hasarını dikkate alan saplama için dinamik bir algoritma önerilmiştir. Ardından, yeraltı mağaralarındaki saplama sismik yükler altındaki mekanik özellikleri ile ilgili bir örnek çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, sismik yükün saplamalardan kaynaklanan gerilmelere ve ankraj ara yüzündeki hasara yol açabileceğini göstermiştir. Hesaplanan sonuçların yeraltı mağaralarında antisismik optimal saplama tasarımı için referans olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir.

Brzozowski *et al.* (2017) tarafından yapılan çalışmada çimento harçlarının bir günlük dayanımına doğal katkı maddeleri ve nano katkı maddeleri de dahil olmak üzere altı farklı katkının etkisini incelenmiştir. Ayrıca, test edilen harçların mukavemet geliştirme sürecini arttırmak için ısıtma işleminin kullanılması irdelenmiştir. Testler 0,3, 0,4 ve 0,5 olmak üzere 3 farklı su / bağlayıcı (w / b) oranı ile üç seri halinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar özellikle w / b oranı 0,4 için test edilen katkıların çimento harçlarının erken dayanımını arttırmak için kullanılabilirliğini doğrulamıştır. Ayrıca, ısıtma işlemi (ile), modifiye edilmiş çimento harçlarının mukavemetinin büyüme oranına önemli ölçüde katkıda bulunduğu gözlenmiştir.

Chang *et al.* (2017) tarafından kaya saplama sistemi için sayısal bir model geliştirilmiştir. Bu makalede kaya saplama – grout ara yüzey bağ açılması ve enjeksiyon çatlama ele alınmıştır. Tipik kırılma şekillerinden olan ara yüzey bağ açılması, harç kırılması ve ara yüz bağlanmasının ve harç parçalanmasının bir araya getirilememesi incelenmiştir. Kaya saplama sisteminde, kritik bir değer olan bağ gücü kritik değerden

düşük ise sistem ara yüz bağımlı olarak yenilmeye sebep olduğu belirtilmiştir. Bağ kuvveti kritik değere yaklaştığında ara yüz çözülme ve harç çatlağının birleşimi bir hata ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bağ kuvveti kritik değerden yüksek olduğunda, sadece enjeksiyon çatlaması meydana geldiği belirtilmiştir. Bu durumda, en yüksek yükü elde edilebileceği ve bununla birlikte, sünekliğin, harcın kırılma çatlaması nedeniyle daha düşük olduğu belirtilmiştir. Parametrik bir çalışma, kritik bağ kuvvetinin harç basıncıyla yakından ilişkili olduğunu göstermiştir.

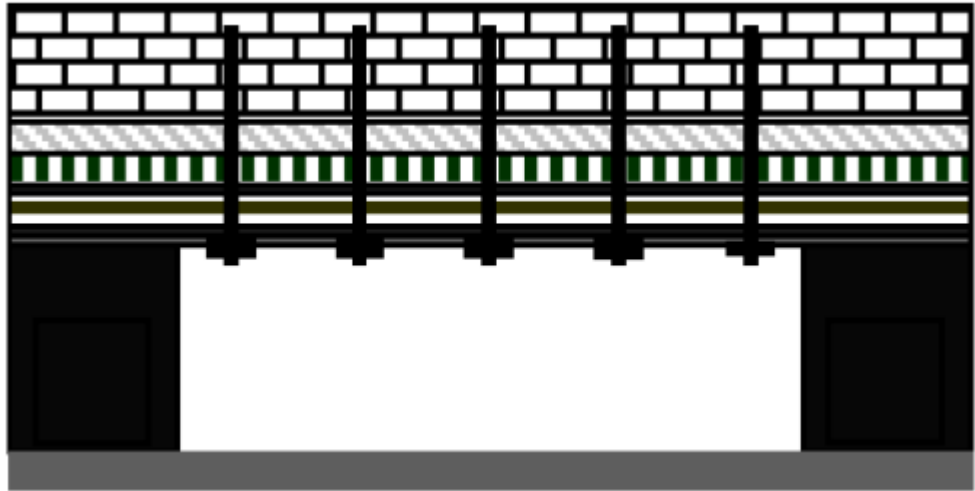


2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kaya Saplamalarda Zemin Güçlendirme Mekanizmaları

2.1.1. Askıya alma (Süspansiyon) etkisi

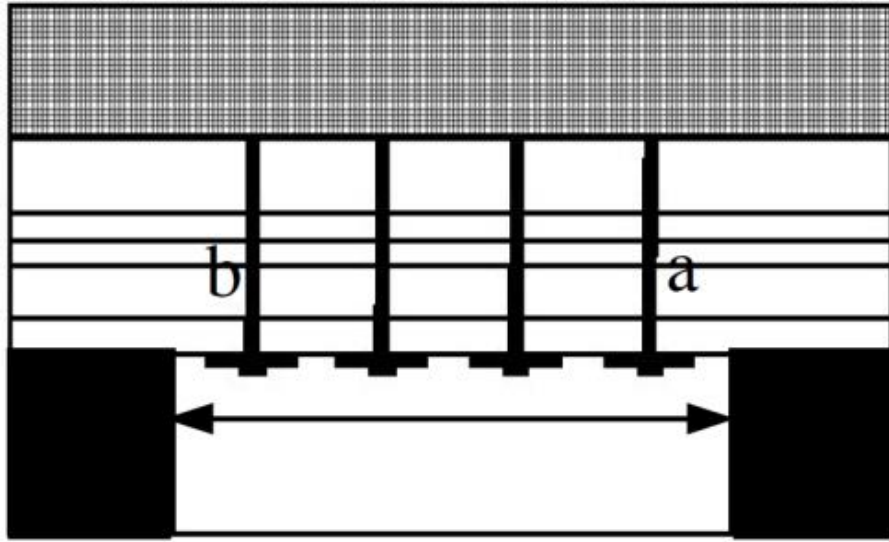
Yeraltı açıklıklarında genellikle kendini tutabilen güçlü zemin formasyonu kendini tutamayan zayıf zemin formasyonunun üzerine gelir. Dolayısıyla zayıf zemin üstünde bulunan zeminin etkisiyle sarkma eğiliminde hareket eder (Mark *et al.* 2005). Kaya saplama uygulamalarıyla zayıf tabakalardan saplama işlemi başlayarak sağlam zemine kadar yapılır ve zayıf zemin yani lamine ani tavan ana tavandan ayrılmaması sağlanarak askıya alma yani diğer deyişle süspansiyon etkisiyle tahkimat sağlanmış olur. Kaya saplama bu sayede ani tavanı askıda kalma etkisiyle ana tavana ankre ederek sabitlerler (Luo 1999). Bu yöntemle kazı boşluğuna gelen ölü yükler saplama tarafından taşınır (Konietzky and Frühwirt 2018). Zayıf zemin tabakasının 0.9 m den kalın olduğu durumlarda süspansiyon etkisinin elde edilmesi daha da zorlaşır (Mark vd. 2005). Saplama kuvveti hesaplanırken düşük mukavemetli yatakların tüm ağırlığı hesaplanarak tasarlanır. Saplama uzunluğunu belirleyici olan en önemli etken yatak kalınlığıdır (Kristjánsson 2014).



Şekil 2.1. Askıya alma (süspansiyon) etkisi (Konietzky and Frühwirt 2018)

2.1.2. Kiriş etkisi

Zeminde boşluklar üzerinde bulunan zemin formasyonlarında, sağlam zeminin yakın bir mesafede bulunmadığı durumlarda ve serbest kaya blokları iri ve sayıca fazla ise süspansiyon etkisinin elde edilmesi söz konusu değildir. Böyle durumlarda düzgün şekilde tabakalanma yapmış ve yatay süreksizliklerle birbirinden ayrı olan ince tabakalar kaya saplamalarıyla birbirine bağlanıp kiriş gibi çalışması sağlanarak zayıf olan bu ince tabakaların yatayda ve düşeyde hareket etmeleri kısıtlanmış olur (Şekil 2.2). Kiriş etkisi ile zayıf tabakalarda oluşacak eğilme gerilmesi eski durumuna göre yüzde elli oranında azalmaktadır (Karabin and Debebevec 1976).

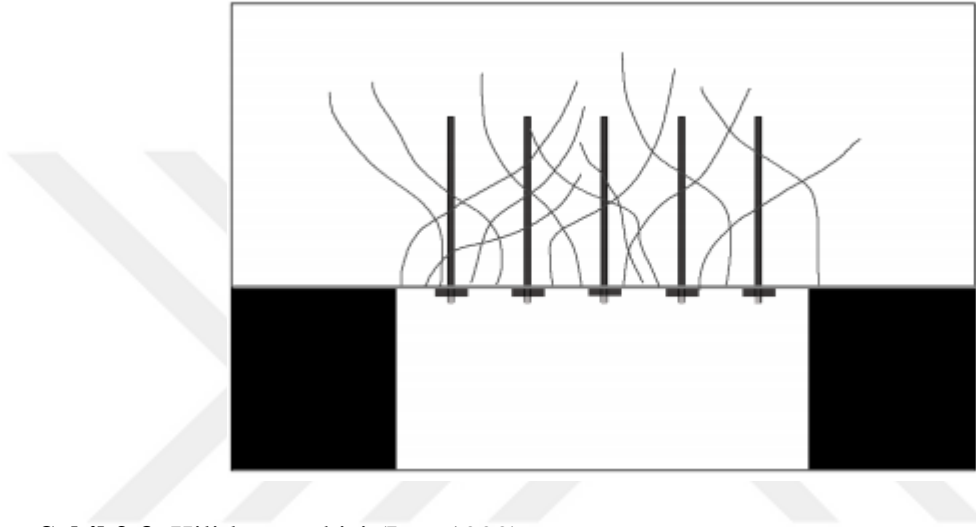


Şekil 2.2. Kiriş etkisi (Konietzky and Frühwirt 2018)

2.1.3. Kilitleme etkisi

Kaya kütlelerinde çatlakların çok olduğu durumlarda kilitleme etkisi ile kaya saplamaları kullanılarak sürtünme ile sağlamlaştırma yapılır ve bu sayede süreksizlikler giderilmiş olur. Kaya formasyonları veya blokları arasında kilitlenemeyen blok olması halinde, bu bloğun kilitlenememesi nedeniyle gevşeme sonucunda diğer bloklarla arasında duraysızlık olmaktadır. Bloklar arasında herhangi bir blokta yer değiştirme olmasa bile

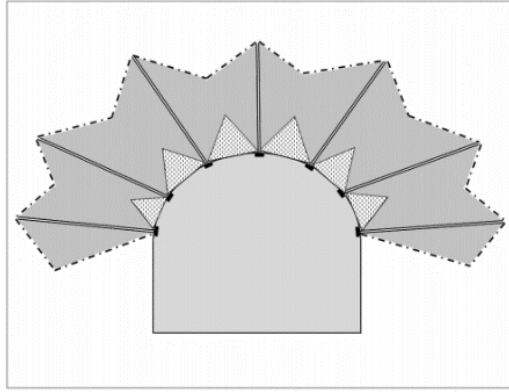
blokların gevşemesi sonucu kaya kütlelerinde ölü yükler artmaktadır. Bu nedenle kaya kütlelerinde tahkimat sağlanması için konverjansın minimum seviyede tutulması gerekir. Kilitlenemeyen kaya formasyonlarının gevşemesi ile birlikte yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvveti, bu blokların yük taşıma kapasitelerini azaltarak yapısal olarak bir duraysızlık oluşturabilmektedir (Kömürlü 2016).



Şekil 2.3. Kilitleme etkisi (Luo 1999)

2.1.4. Kemerleme etkisi

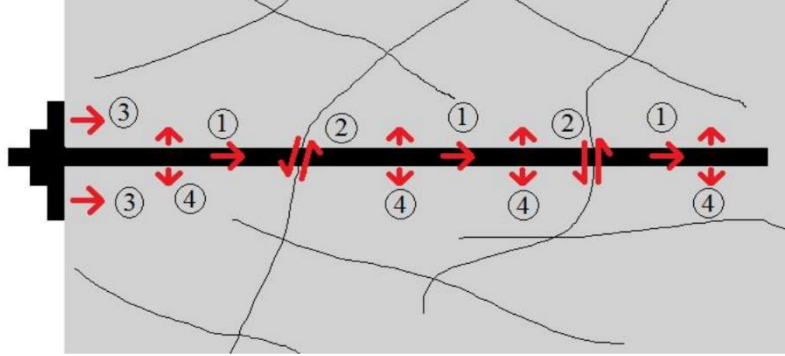
Kaya saptamalarının yakın mesafelerde çalıştığı alanlarda her bir kaya saptamasının etki alanlarının kesişmesi ile kemerleme etkisi oluşarak zemin duraylılığı, stabilitesi açısından önemli bir fayda sağlanıp, bu sayede kaya saptamalarının uygulama verimi artmaktadır. Bir kaya formasyonu üzerinde duraysızlık olması halinde kemerleme etkisiyle bu duraysızlık önlenmektedir (Hoek *et al.* 1995).



Şekil 2.4. Kemerleme etkisi (Kömürlü 2016)

2.2. Kaya Saplamaalarının Ankraj Mekanizmaları

Kaya saplamaalarının sağladığı tahkimat basıncı temel olarak 4 farklı ankraj etkisi altında incelenir. İlk etki, saplama gövdesinin aksel olarak yüklenmesi sonucu oluşan tahkimat basıncıdır. Kaya formasyonlarından oluşan deformasyonlar altında kaya saplamaaları genellikle aksel olarak yük taşıyor olsa da makaslama gerilmelerine de maruz kalmaktadırlar. İkinci etki, saplamaalarının makaslama etkisi altında da tahkimat basıncı sağlamasıdır. Üçüncü etki, saplamaalarda bulunan plakanın zemini itmesi ile oluşur. Tünel cidarından saplama doğrultusunda plaka tarafından uygulanan ankraj etkisi nedeni ile önemli ölçüde tahkimat basıncı sağlanabilmektedir. Dördüncü ankraj mekanizması ise delik yüzeyini itme etkisine dayanır. Sürtünmeli kaya saplamaaları için bu mekanizma önemli ölçüde etkilidir. Sürtünmeli kaya saplamaası türüne bağlı olarak, delik yüzeyine etkiyen yüksek normal gerilmeler nedeni ile zemindeki gerilme dağılımları dikkate değer ölçüde değişebilmektedir. Kaya saplamaaındaki bu 4 ankraj mekanizması birbirini etkileyebilmektedir. Dolgulu kaya saplamaaındaki nervürlü çubuklar aksel yüklenme kapasitesini arttırdığı gibi makaslama etkisi altında da saplamaalarının yük taşıma kapasitesini arttırarak tahkimat basıncını arttırmaktadırlar. Bu başlık altında bahsedilen ankraj mekanizmaları Şekil 2.5'te şematik olarak gösterilmektedir (Kömürlü 2016).



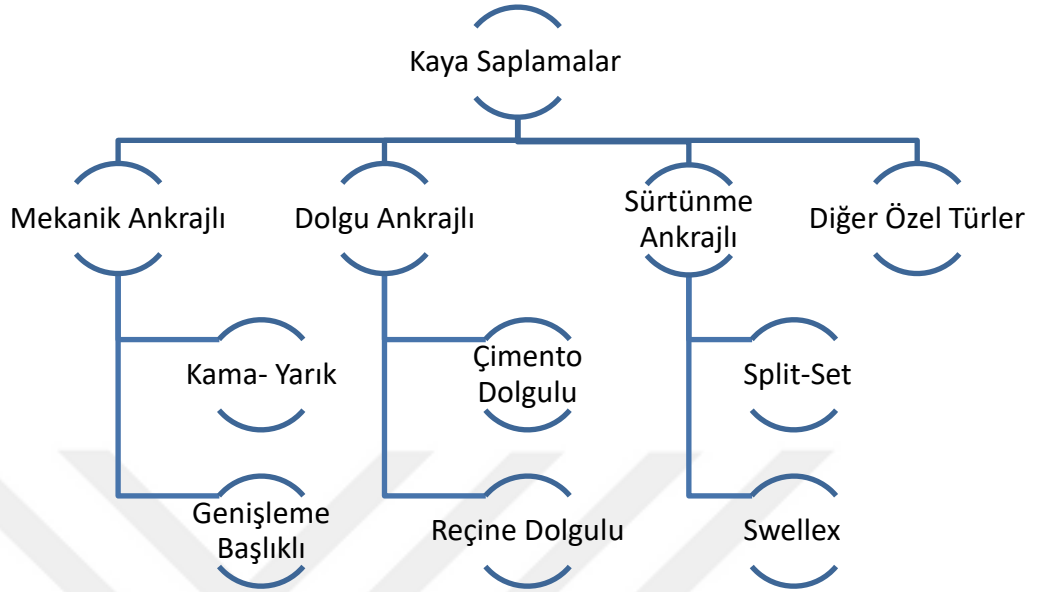
Şekil 2.5. Kaya saptamaların ankraj mekanizmaları

(1:Eksenel yüklenme, 2: Makaslanma etkisi, 3:Plakanın zemini itme etkisi, 4:Delik içi yüzey basıncı etkisi) (Kömürlü 2016)

2.3. Kaya Saptamaların Sınıflandırılması ve Türleri

Tabii durumda kaya kütlesi içinde oluşan doğal gerilmeler yer almaktadır. Zeminde yapılan yeraltı kazıları sonucunda bu doğal gerilmeler değişebilmekte ve zemin formasyonuna göre yeni bir dağılım gösterebilmektedir. Bu gerilmeler sonucunda kaya kütlelerinin yükleri oluşur ve blokların, zeminin karşılayamayacağı öngörülen durumlarda bu yükleri karşılamak ve dengelemek için demir bağ veya ağaç tahkimat elemanları kullanılır.

Kaya saptama uygulamalarında elde edilen tahkimat ise demir bağ ve ağaç tahkimat elemanlarının sağladıklarından daha farklıdır. Tavana kaya saptama uygulaması yapılarak gerilmeler karşılanıp zemin sağlamlaştırılmakta ve kendisini tutabilmesi sağlanmaktadır. Tahkimat ile zeminin bir parçası gibi davranan kaya saptamaları var olan direnci hayata geçirerek zemini sağlamlaştırır. Kaya saptama uygulaması yapılırken ek olarak püskürtme beton ve çelik iksa gibi destekler de kaya kütlelerinde oluşacak hareketleri kısıtlayarak duraylılığın sağlanmasına yardımcı olur (Yücel 2007). Literatürde yer alan kaya saptamala çeşitleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Kaya saplamlarının sınıflandırılması

2.3.1. Mekanik ankrajlı kaya saplamlar

Öngermeli diğer bir adıyla mekanik ankrajlı kaya saplamlar maden sektöründe ve nakliyat geçiş tünellerinde geçici tahkimat elemanı olarak kullanılmaktadır. Çelik çubuk oyuk içerisine itildikten sonra uç kısımları genişleyerek mekanik olarak ankraj sağlamaktadır (Şekil 2.7). Kaya saplamları kullanımının %45 inden fazlası olan ankrajlı saplamlar maden sektöründe kullanılan öngermeli kaya saplamlarıdır. Mekanik ankrajlı kaya saplamların yerleştirmesi hızlı olup maliyet açısından daha avantajlıdır. Bu tür kaya saplamlar orta ve sağlam kaya formasyonlarında oldukça etkilidir (Yücel 2007).



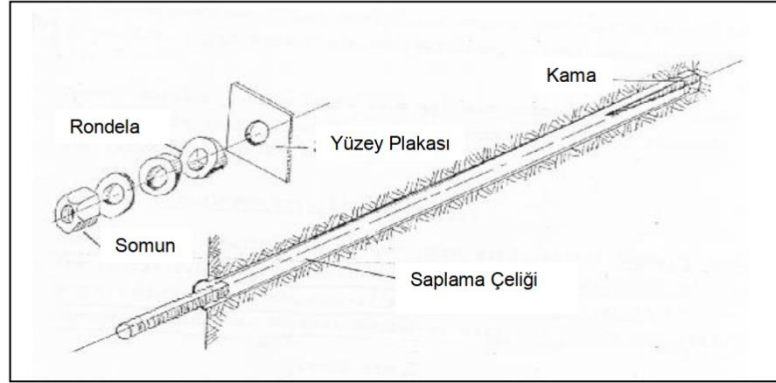
Şekil 2.7. Mekanik ankrajlı kaya saplama (Kömürlü 2016)

Mekanik ankrajlı kaya saplamalarında bulunan genişleme başlığının açılması sonucunda moment sağlanarak aktif tahkimat basıncı sağlanmakla birlikte zeminde oluşan dirençlerden dolayı da oluşan pasif tahkimat basınçları ile de yüksek yük taşıma özelliklerine sahiptirler. Zemin formasyonu olarak yüksek ölçüde oluşacak deformasyonlara direnç gösteremeyen zayıf zeminlerde kullanılması durumunda sert zeminlere göre daha az verim alınmaktadır. Ankraj dolgusu yapılırken saplama zeminde bulunan oyuk içerisine itilir ve ardından ankrajlama işlemi yapılır (Kömürlü 2016)

Mekanik ankrajlı kaya saplamalar yerleştikleri kayalarda yüksek gerilemelerden dolayı oluşan çatlaklar olması halinde yük taşıma kapasitesini kaybeder. Bu sebepten dolayı bu tür saplamalar sağlam kayaçalarda daha etkilidir. Bu saplamalar sağlam bloklarda ve suyun az olduğu koşullarda kullanılmalıdır. Su etkisi taşıma kapasitelerini etkilediğinden dolayı mekanik ankrajlı sisteme çimento veya reçine ilave etme mümkündür. Böylece daha uzun ömürlü bir kullanım sağlanabilir (Yücel 2007).

2.3.1.a. Kama – yarık ankrajlı kaya saplamalar

Kama – yarık ankrajlı saplamalar kullanım ve şekil açısından en ilkel kaya saplamalarıdır. Kama-yarık ankrajlı kaya saplamalar oda-topuk yöntemi kullanılan kömür ocaklarında tavan kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Ekonomik olarak diğer saplamalara göre daha avantajlı olup yerleştirmeleri kolaydır. Şekil 2.8’de gösterildiği gibi bir çelik çubuk, ucuna konikleştirilmiş bir çelik kama girecek şekilde yarılmıştır (Yücel 2007).



Şekil 2.8. Kama – yarı ankrajlı saplama (Yücel 2007)

Kama yarı ankrajlı saplamalar diğer saplamalara göre daha kolay yerleştirilebilir ve daha az maliyetli olmasına karşın uygulama esnasında karşılaşılan pek çok dezavantajı vardır:

Saplama ile kaya arasındaki etkileşim yüzey alanı çok küçüktür. Bu yüzden sert kaya formasyonlarında delik çapı ile çubuk çapı arasındaki fark 6–8 mm daha yumuşak kaya formasyonlarında 4–5 mm olmalıdır. Bu tip kaya saplamalar su etkileri altında yük taşıma kapasitesinin çoğunu kaybettiğinden dolayı delme işlemi sulu yapılmamalıdır. Bu tip kaya saplamalar patlamalardan ve zeminde oluşan arazi hareketlerinden çabuk bir şekilde etkilenirler (Yücel 2007).

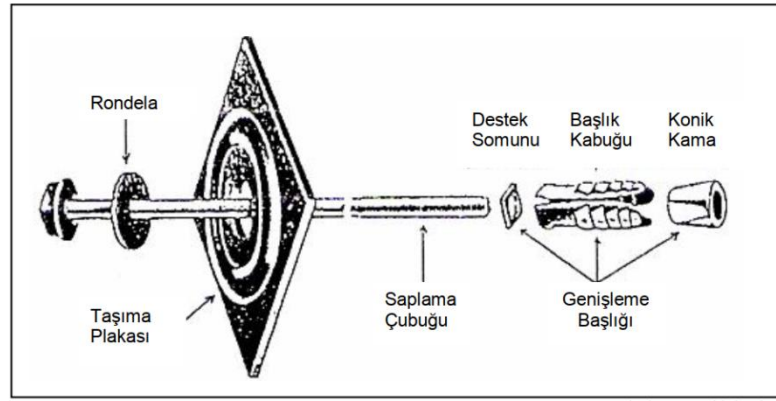
Kaya direncinin 10 MPa'dan düşük olduğu zayıf kayalarda kaya saplamanın ankrajının yapıldığı alanda çatlaklar olma ihtimalinden dolayı saplama delik içerisinde kayarak etkisini kaybedebilir. Bu nedenle sert kayalarda daha iyi ankraj sağlamaktadırlar (Brady and Brown 1993).

2.3.1.b. Genişleme başlıklı kaya saplamalar

Genişleme başlıklı saplamalar ilk kullanılan mekanik öngermesiz saplama türlerindedir. Bu saplamalar genişleyen başlığı sayesinde başlıklarındaki plakayı

sıkıştırarak plaka ve dolgu arasında donatı ile dolgu arasında aderansa ek olarak tahkimat sağlarlar (Kömürlü 2016).

Mekanik ankrajlı kaya saplama türüdür. Bu tür saplama eski tip kullanılan kama-yarık ankrajlı saplamalardan daha kompleks ve maliyetlidir (Yücel 2007). Genişleme başlıklı saplama Şekil 2.9'da ki gibi plaka, somun, donatı ve genişleme başlığından oluşmaktadır. Genişleme başlığı konik kama, başlık kabuğu ve destek somundan oluşmaktadır. Genişleme başlıklı saplama genişleme başlıklı özelliklerine göre, kabuk yaprakları üzerindeki pürüz şekillerine göre kesik koninin açısına göre birçok türü bulunmaktadır (Uysal 2001).



Şekil 2.9. Genişleme başlıklı kaya saplama (Yücel 2007)

Genişleme başlıklı saplama genellikle orta sert ve sert kaya formasyonlarında etkilidirler. Zayıf kaya kütlelerinde de kullanılan plastik başlıklı özel türleri de mevcuttur. Bazı türlerde ise bir ucunda kanca olan sistemler vardır ve bunlar havalandırma boruları gibi özel sistemlerin tavana ankrajında kullanılır (Uysal 2001).

Genişleme başlıklı kaya saplama türünün dezavantajları aşağıdaki gibidir (Yücel 2007).

- Silindirik kesik boruların sık sık arızalanması sonucu kötü imalat ya da tekrar işlem gerektirirler.

- Zeminde oluşan titreşimler sonucu olumsuz etkilenerek özelliklerini kaybedebilirler.

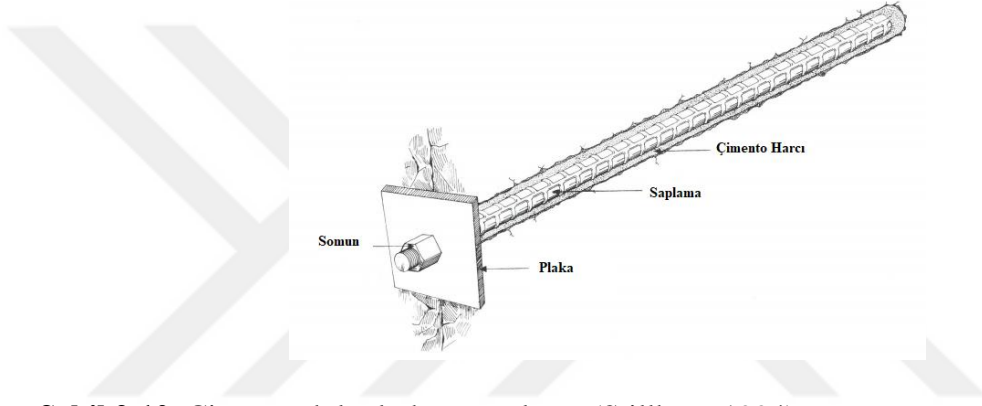
2.3.2. Dolgu ankrajlı kaya saptamaları

Dolgu ankrajlı kaya saptamaları maden ve inşaat sektörlerinde en çok kullanılan ve en yaygın olan türdür. Zeminde oluşan deformasyonların sonucunda pasif tahkimat basıncı oluşur. Dolgu kalitesi zeminde oluşacak deformasyonlara karşı gösterilen tahkimat basıncı açısından önemlidir. Tahkimat basıncının daha kısa bir sürede sağlanması için özel kimyasallı dolgu malzemeleri kullanılabilir. Kullanım açısından en yaygın olanı ve maliyet açısından en avantajlı olanı dolgu malzemesi portland çimento ve su dan oluşan kaya saptamalarıdır. Çimento harcı hazırlanır ve çelik çubuklar deliğe doğru yerleştirilerek ankrajı sağlanır. Bazı durumlarda dolgu malzemesi döküldükten sonra da çelik çubuklar deliğe yerleştirilir. Grout deliğe doldurulurken akışkanlığı ve akmasının önlenmesi için kıvamlı enjeksiyonlar uygulanır. Su/çimento oranı genellikle ağırlıkça 0,30 – 0,35 olarak seçilmektedir ve dolgu ile aderansın artması için çoğunlukla ribarlar nervürlü olarak uygulanmaktadır. Çimento dolgulu kaya saptamaları uygulamalarında malzeme ve işçilik kalitesine bağlı olarak saptama yenilmesi, saptama-donatı veya saptama-kaya veya delik-donatı ara yüzeylerinde başlayabilir (Kömürlü 2016).

Yüksek basınç altındaki kaya ortamlarında uzun süreli olarak tahkimat basıncının oluşması gereken durumlarda uygulanırlar. Kaya kütleindeki çatlaklardan ve duraysızlıklardan dolayı oluşacak olan gevşemeleri ve eklemler boyunca oluşan dilatasyonları önleyerek tahkimat sağlamak amacıyla dolgu ankrajlı kaya saptamalar kullanılır. Kaya bloğunda oluşan ve herhangi bir noktada oluşan gerilme, dolgu ankrajlı saptamalar sayesinde tüm kayaya yayılarak sıyrılmaları önlenir. Bu sıyrılmayı önleme durumu, zayıf kayalarda ve ani değişimlerde oluşan ilave gerilmeleri karşılayarak kayada duraylılığı sağlar (Yücel 2007).

2.3.2.a. Çimento dolgulu kaya saplamaları

Çimento dolgulu kaya saplamalarında genellikle ankraj delik boyunca yapılmaktadır. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi saplamanın bir ucunda nervürlü donatı diğer ucunda ise sabitlemek için plaka ve somun bulunmaktadır. Kayadaki oyuk içerisinde saplama çubuğu ile kaya arasındaki bağlantı, sistemin ana unsurlarından biri olan çimento harcı ile sağlanır (Uysal 2001).



Şekil 2.10. Çimento dolgulu kaya saplama (Stillborg 1994)

Çimento dolgulu kaya saplamalar zayıf, orta ve sert kayalarda, şevlerde, tünel aynalarında ve tünel tabanlarında kullanılır. Tünel tavanlarında yerleştirme işlemi harçtan dolayı zordur böyle ortamlarda püskürtme beton vb. uygulamalar ile yapılmaktadır.

Saplamaların yük taşıma kapasitesini groutun priz süresi ve bu sürede yaşadığı hacim kaybı ve groutun iletim şekli, iletim sırasındaki oluşacak su ve hacim kayıpları etkilemektedir. Bu gibi durumlar çimento dolgulu saplamaların kullanımını kısıtlamaktadır (Uysal 2001).

Portland çimentosu ile doldurulmuş kaya takviyesi kullanıldığında harç, deliklere pompalanır ve çubuklar doldurulmuş deliklere sürülür. Harç, harç girişi veya hava deliği olarak çubuktaki merkezi bir delikten veya çubuğun yanında plastik bir tüpten sokulur

böylece harç deliğe sürüldüğünde çubuğun uygun ve tam bir şekilde dağılması sağlanır. Bu gereklilikler, çubuk çapına uygun delik çapı, çubuk çapına yönelik paketlerin sayısı ve boyutu, deliklerin maksimum delme derinlikleri, çubuk ve ankrajın tam harç dağıtımı ve kapsüllenmesi için gerekli uzunluk gibi bilgiler içerir. Eğer harç saplama etrafına tam olarak dağılmamışsa çubuk korozyona maruz kalır (Kendorski 2003)

Tüm kaya formasyonlarında kullanıldığında etkili ve başarılı sonuçlar veren kaya saplama tam kapasiteyle yük taşıyabilmesi için zemin kazısından hemen sonra yerleştirilmeleri gerekir (Yücel 2007).

Kaya saplama korozyona maruz kalacağı ortamlarda oyuk boyunca tam dolgu, korozyonun etkili olmadığı ortamlarda kısmi olarak dolgu olarak yapılabilirler (Brady and Brown 1993).

Aldorf ve Exner (1986) e göre özel çimentoların üretilmeye başlanmasıyla priz süreleri azalmıştır. Bu da işlenebilirliği arttırmıştır ve özel çimentolar saplama çubuğunun uzunluğunun 4 m yi geçtiği hallerde yerleştirilmelerinde avantaj sağladığından dolayı tercih edilmektedirler.

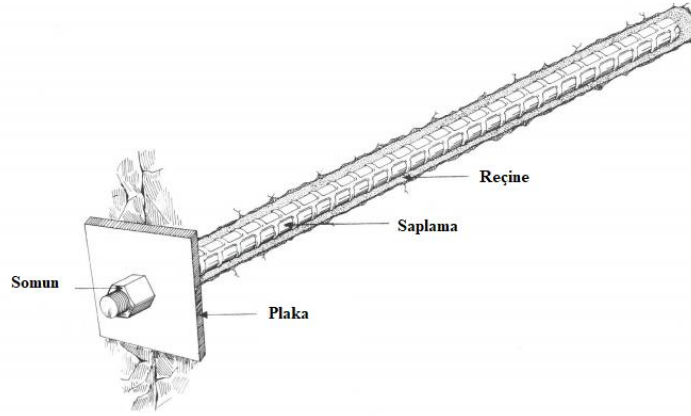
Korozyona karşı çok iyi koruma sağlar ve ekonomik açıdan ucuzdur ve yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptirler. En büyük dezavantajları çimento dolgulardan oluşan groutların priz ve kür sürelerinin uzun sürmesidir (Yücel 2007).

2.3.2.b. Reçine dolgu kaya saplama

Tamamen reçine esaslı kaya saplama, günümüzde kullanılan en karmaşık kaya saplama sistemidir. Diğer saplama sistemlerinin avantajlarının çoğuna ait özellikler içerir. Reçine ve bir katalizör plastik bir tüp içinde paketlenir ve kimyasal etkileşimi önlemek için birbirlerinden ayrılırlar. Bu plastik kapsüller daha sonra, çubuk yerleştirilmeden önce sondaj deliğine bir yükleme çubuğu ile yerleştirilir. Çubuk, plastik boruyu kıran, reçineyi ve katalizörü bir araya getiren deliğe döndürülür (Hoek

and Wood 1987). Reçine ankrajlı saplamlar her türlü kaya veya betona monte edilebilir. Çoğunlukla, genişleme kabuklarının uygun olmayan kaya desteği olduğu yerlerde kullanılır (Anonim 2014). Ayrıca maliyetin hız ve güvenilirlik kadar önemli olmadığı kritik uygulamalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır (Hoek and Wood 1987). Reçine saplamlarının ankraj uzunluğu, değişken kaya koşullarına göre ayarlanabilir (Kristjánsson 2014).

Reçine dolgulu kaya saplamlar, priz süresi ve kür süreleri çimento dolgulu kaya saplamlara göre daha kısa olduğu için daha kısa sürede kullanıma hazır hale gelirler. Bu nedenlerden dolayı çimento dolgulu kaya saplamlara göre daha avantajlıdır. Çok zayıf kaya formasyonlarında bile yüksek taşıma kapasite sağlaması ve başarılı sonuçlar vermesi en önemli avantajlarından biridir. Buna karşın yerleştirilirken kalifiye bir işçilik istemektedir (Hoek and Wood 1987). En önemli dezavantajı ise reçine karışımı hazırlanırken delik içinde iyi bir şekilde karışmaması ve priz ve kür sürelerinin gözlemlenememesidir (Kömürlü 2016).

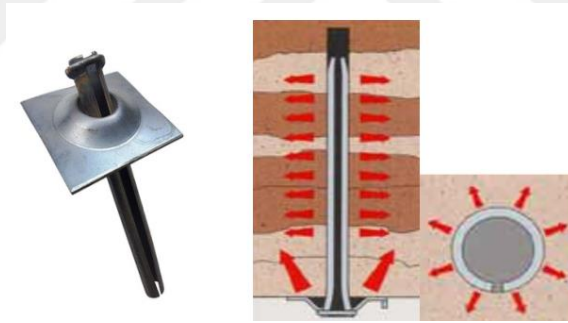


Şekil 2.11. Reçine dolgulu kaya saplama (Stillborg 1994)

2.3.3. Sürtüneli kaya saplamları

Sürtünme tipli kaya saplamlarının uygulamaları kolay ve kurulumları hızlıdır. Kullanımıyla birlikte maden sektöründe geçerlilik kazanmıştır. Sürtünme tipli kaya

saplamaların ilk üretilen çeşidi split-set kaya saplamlardır. JJ Scott tarafından geliştirilmiştir ve Ingersoll-Rand tarafından split set kaya saplamlar üretilmeye başlanıp maden sektöründe yerini almıştır. Split set kaya saplamlar kendi çaplarından daha küçük çapta olan oyuklar içerisine itilerek sürtünme kuvveti elde edilir ve ankrajı yapılır. Silindirik olan kesitinde bulunan yarıkların vasıtasıyla C şeklide olan profil oyuk içerisinde sıkışarak radyal bir kuvvet oluşturur bu sayede tahkimat sağlanır ve split set kaya saplamlar kullanılabilir duruma gelirler. Küçük kaya formasyonlarında etkili olmalarına rağmen büyük zemin ve kütlelerde etkili değildir. Sürtünme tipli kaya saplamlar genellikle daha küçük yüklere karşı direnç ve yük altında kontrollü bir zemin davranışı sağlamak amacıyla kullanılırlar. Çatlaklı kayalarda, sert ve kırılğan kayalarda düşmeleri önlemek amacıyla oldukça etkilidirler. Şekil 2.12’de sürtünmeli kaya saplamların oyuk içerisine ankrajının yapılmasından sonra zemine karşı uyguladıkları gerilme dağılımı gösterilmektedir (Güngör 2018).



Şekil 2.12. Split set kaya saplama etki mekanizması (Anonim 2018b)

2.3.3.a. Split – set kaya saplamlar

Split set, Scott tarafından Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Ingersoll-Rand Şirketi ile işbirliği içinde geliştirilmiştir (Hoek and Wood 1987). Split set gerçek bir sürtünme bağlantılı kaya saplama türüdür. Geçici stabilizasyon sağlamak için uygulanır ve uzunluğu boyunca delikli bir plaka ve yüksek mukavemetli çelik borudan oluşur. Saplamanın çapı, sondaj deliğinin çapından daha büyük olduğundan, saplama biraz daha küçük bir deliğe sürülür (Anonim 2012a). Bölünmüş setin ankraj mekanizması, saplama ile sondaj deliği duvarı arasındaki sürtünmedir (Kristjánsson 2014). Saplama sondaj deliğine

girdiğinde, sürtünme kuvveti, sıkıştırılmış çelik borunun uzunluğu boyunca yay hareketi ile boruyu duvara tutturur. Split Set yüze yakın monte edilmemişse veya tüplere uygulanan gerilmeler çok büyük değilse, kurulum oldukça etkili olabilir. Ayrıca basit ve hızlıdır (Luo 1999)

Şekil 2.13’de gösterilen split set kaya saplamalarının en büyük dezavantajı korozyona karşı dirençsiz olduklarından dolayı kullanım ömürleri kısadır. Ankre edildikleri zeminlerde aşırı korozif etki olduğu takdirde 7–8 ay dan sonra kullanılamaz hale gelip bazen bu süre 2 ay bile olabilmektedir. Korozif veya aşındırıcı ortam olmadığı takdirde kullanım ömürleri ortalama 6 yıldır. Split set üreticisi firmalar tarafından korozyonu önlemek amacıyla çeşitli galvanizli ve paslanmaz çelik kaplama malzemeleri yapılmasına rağmen ankrajı yapılırken sürtünme den dolayı yüzeyinin de zarar görmesiyle korozif etkilere karşı dayanım süresi etkilenmektedir (Güngör 2018)

Bu tür kaya saplamalar zayıf ve sert kaya formasyonlarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Diğer kaya saplamalara göre avantajları şu şekilde sıralanabilir (Uysal 2001):

- Diğer kaya saplama çeşitlerine göre yerleştirilmeleri daha pratiktir ve yerleştirildikten sonra kür istemezler.
- Yük taşıma kapasiteleri mevsim şartlarından etkilenmez.
- Ankrajı için özel bir depolama alanına ihtiyaç yoktur.
- Kaya formasyonlarında oluşan ani hareketlerden (sismik, patlama vb.) kaynaklanan zemin sarsıntılarında etkilenmezler.
- Zeminde oluşan hareketlenmelerle yük taşıma kapasitesi artar.

Yine aynı kaynakta belirtilen dezavantajları ise şunlardır:

- Diğer kaya saplamalara göre ankraj süresi ve malzeme özellikleri düşünülürse maliyetlidirler.

- Oyuuk açılırken dođrultusunun donatı gırecekk Őekilde dűzgűn olması yűk aktarım açısından gereklidir.
- Kaya formasyonları içerisindeki nemden veya sudan etkilenirler.
- Korozif etkilere karŐı dayanıksızdırlar. Donatının i yűzű zeminden dolayı dıŐ yűzű de nemden dolayı korozyon etkilerine karŐı açıktır.



Şekil 2.13. Split set kaya saptlaması (Teymen 2012)

2.3.3.b. Swellex kaya saptlamalar

Swellex kaya saptlamaları ilk olarak 1977–1980 li yıllarda Atlas Copco AraŐtırma Bűlűmű tarafından geliŐtirilmiŐ ve kullanılmaya baŐlanmıŐ yeni bir kaya saptlama tűrűdűr (Yűcel 2007).

Split set kaya saptlamalarının korozyon etkisinden dolayı yűk taŐıma kapasitelerini kaybettiđinden dolayı Őekil 2.14’de montajı gűsterilen Swellex kaya saptlamalar űretilmeye baŐlanmıŐtır. Kayada açılan delik çapından daha kűűk çapta olan saptlama ankrajı yapılırken delik içerisine itme kuvvetine gerek duyulmaksızın yerleŐtirildikten sonra, yűksek su basıncı (ortalama 30 MPa ya da 4300 psi) uygulanarak ŐiŐirilir ve kaya yűzeyi ile temas ederek yűzey sűrtűnmesi sađlanır. Ankraj yapılırken saptlama yűzeyinde herhangi bir çizik olmadıđından uzun vadede korozyon etkisini űnlemek için űnemli bir avantaj elde edilir. Korozyon etkisini ortadan kaldırmak için Swellex kaya saptlamalar paslanmaya karŐı űzel malzemelerle kaplanmaktadırlar (Gűngűr 2018).

Swellex saplamalar çatlaklı zayıf kayalarda uygulandıklarında delik içinde genişlerken kaya kütesine basınç uygular ve bu basınç etkisi ile bloklar kitleme etkisi oluşturur. Swellex saplamaların avantajları şu şekilde sıralanabilir (Uysal 2001):

- Sahadaki uygulamaları ve yerleştirilmeleri hızlı ve kolaydır.
- Yerleştirildikten sonra kullanıma hazır ve basıncı taşıyacak duruma gelerek aktif hale gelir.
- Swellex kaya saplamaların ankrajı sırasında saplama başındaki plak sıkışarak saplamada gerilme oluşturur ve bu gerilme plağı kayaya sıkıca sararak tahkimat sağlar.
- Bu tip kaya saplamaların en büyük dezavantajı, kalifiye bir işçilik ve ankraj sırasında pompaya ihtiyaç duyulduğundan maliyetin yüksek olmasıdır. Ayrıca uzun vadede korozyon etkisinden korunması gerekir (Uysal 2001).



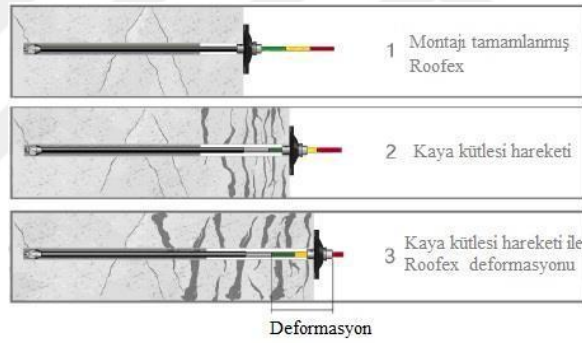
Şekil 2.14. Swellex kaya saplama montajı (Konietzky and Frühwirth 2018)

2.3.4. Yüksek enerji emme kapasiteli kaya saplamaları

Kayada gerçekleşen patlama problemlerine ve dinamik ani yüklere karşı zeminin bu yükleri karşılayabilmesi için ilk uygulanan kaya saplama türü yüksek enerji emebilen konik uçlu kaya saplamalarıdır. Mekanik yapısı kompleks olmayan konik uçlu kaya saplamalar zemine ankre edildikçe donatının uç kısmının çapı genişler ve zemin ile daha iyi aderans sağlanarak tahkimat sağlanmış olur.

2008 yılında Garford ve Roofex isimleri ile geliştirilen kaya saplamları enerji emme kapasitelerinin artırılması ve kaya patlamalarında zeminin tahkimatının sağlanması amacıyla birbiri içerisinde kayan saplama gövdesine sahiptir. Bu saplamlar yüksek miktarlarda enerjiyi emerek zeminde tolere edilen deformasyon limit miktarının artmasını sağlamışlardır ve piyasada yaygın olarak kullanılan kaya saplamlarına göre daha sünek davranış sergileyen ve bu davranışı ile patlama esnasında yenilen kaya kütlelerinin askıda kalmasını sağlayarak oluşması muhtemel zemin göçüklerini engeller ve tahkimat sağlar.

Şekil 2.15’de kaya blokların içerisinde patlama sonucu oluşan deformasyon açıklığı görülmektedir (Kömürlü 2016).



Şekil 2.15. Roofex kaya saplama davranışı (Kömürlü 2016)

2.3.5. Delici bitli kaya saplamlar

Bu tür kaya saplamlar ilk olarak 1980 li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Kaya üzerinde delik hazırlanmadan direkt olarak kullanılabilen bu tür kaya saplamlar, hazırlanış açısından oldukça pratik ve zaman açısından hızlı bir şekilde ankre edilmektedir. Zayıf zeminlerde kaya saplamların montajı yapılırken yaşanan sorunlar düşünüldüğünde delici bitli kaya saplamlar bu problemlerin giderilmesi adına çok önemlidir. Şekil 2.16’de delici bitli bir kaya saplaması görülmektedir (Kömürlü 2016).



Şekil 2.16. Delici bitli kaya saplama (Güngör 2018)

2.3.6. Kablo saplamalar

Kablo saplamalar dolgu ankrajlı olarak imal edilip, kayadaki yapıların güçlendirilmesinde kullanılan bir takviye elemanıdır. Gergin çelik tellerden yapılmıştır ve çimento harcı ile gerilmiş olarak monte edilir. Maden endüstrisinde ve inşaat mühendisliğinde oluklu kablo kanalları kullanılır ancak bu durumlarda farklı roller oynar. Madenlerde, kablo destekleri geçici destek için gerdirilmemiş ve tamamen doldurulmuştur, ancak inşaat mühendisliğinde kalıcı bir destek sağlarlar (Kristjánsson 2014).

Kablo saplamaların kullanılmaya başladığı ilk uygulama Kanada Willroy madenidir ancak 1970 li yıllarda Avustralya, Kanada ve Güney Afrika'daki madenciler tarafından yapılan katkılar sonucu dünyaya yayılmıştır. 1970 li yıllardan itibaren Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanıma başlarken ilk olarak maden sektörünün aksine inşaat sektöründe zemin sağlamlaştırma da kullanılmıştır. Günümüzde basit kablo saplama tasarımları, yüksek dayanımlı, 25,4 mm - 76 mm arası çaplardaki deliklere uygulanan öngerilmeli beton demetleri şeklindedir. İlk kullanımından günümüze kadar çimento ile ankrajlanmaktadır. 1990'lü yıllarda farklı türde kablo saplamalar üretilmiş ve çalışma prensipleri anlaşılmaya başlanmıştır. Kablo saplamada bulunan çelik halat ile dolgu malzemesi arasındaki aderansın sağlanması amacıyla birçok ürün ortaya çıkmıştır. Madencilikte kullanılan bazı kablo saplamaların sarmal düzenleri Windsor tarafından Şekil 2.17'deki şekilde özetlenmiştir. Bu prototiplerin arasından, 1983 Avustralya'daki

Mount Isa Madenleri'nde uygulanmış, en basit ve ucuz tasarıma sahip olan kafes (birdcage) tip saplamanın geliştirilmesi diğer ürünleri geride bırakmıştır. Kablo saplamlar diğer kaya saplamlara göre daha esnek olduklarından dolayı zemin ve kaya içerisinde diğerlerine göre çok daha fazla mesafelerde ankre edilebilirler. Kablo saplamlar kullanılacağı yerlere göre istenilen uzunluklarda imal edilebilirler. Dolayısıyla birçok sektör de genişçe bir kullanım alanına sahiptirler. Diğer kaya saplamlara göre yük taşıma kapasiteleri oldukça yüksektir. Dolgu kalitesi ve kablo ile dolgu arasındaki aderansın da iyi olması da yük taşıma kapasitesine etki etmektedir. Çalışma prensipleri dolgu ankrajlı kaya saplamlarda çimento ve reçine ile birlikte ankrajı yapılan ribar çubuklara benzemektedir (Güngör 2018).

TYPE	LONGITUDINAL SECTION	CROSS SECTION
Multi-wire tendon (Clifton, 1974)		
Birdcaged multi-wire tendon (Lirovec, 1973)		
Single strand (Hunt & Askew, 1977)		
Coated single strand (Hunt & Askew, 1977)		
Barrel and wedge anchor on strand (Mathews et al, 1984)		
Swaged anchor on strand (Schmuck, 1979)		
High capacity shear joint (Mathews et al, 1985)		
Birdcaged strand (Schmuck et al, 1980)		
Bulboid strand (Garford, 1990)		
Femaled strand (Windsor, 1990)		



Şekil 2.17. Kablo saplama tipleri (Güngör 2018)

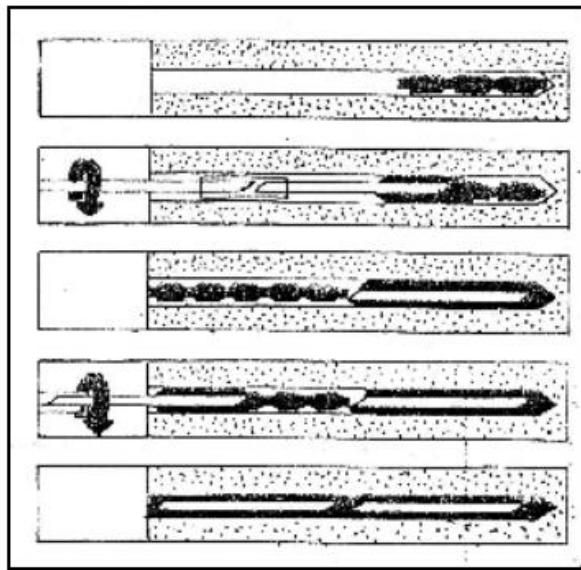
2.3.7. Perfo kaya saplamları (perfobolt)

Perfo kaya saplamları esasında çimento dolgulu kaya saplamlarla aynı özelliklere sahiptir ancak aralarındaki tek fark yerleştirilme şekilleridir. Perfo kaya saplamların kullanılmasındaki esas amaç dolgu işlemini kolaylaştırmak ve dolgu yapılırken oluşan

zaman kaybını azaltmaktır. Perfo kaya saplamaların yapılma şekli; delik çapından küçük ve donatı çapından büyük etrafı deliklerle dolu olan boş silindir boylamasına ikiye bölünür. Bu silindirin içerisinde grout doldurulduktan sonra oyuk içine itilir ve arkasından donatı deliğe itilir. Donatı yerleştirilirken darbeli bir şekilde yerleştirilir. Donatı deliğe itilirken silindir üzerinde bulunan deliklerden grout sızarak donatı parça ve kaya arasındaki aderans sağlamış olur (Yücel 2007).

2.3.8. Fiberglas ve ağaç kaya saplamaları

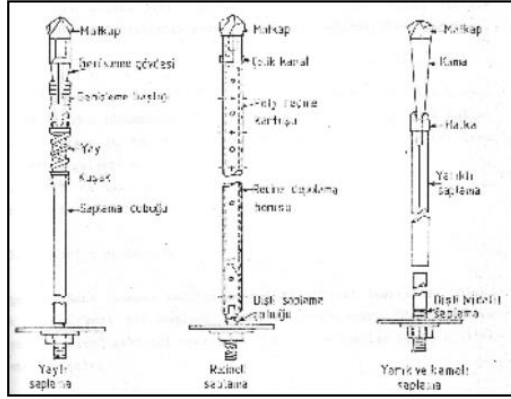
Ağaç kaya saplamalar genellikle kalın ve zayıf damarlarda tavan tahkimatlarında kullanılırlar. Yapımları basittir ve ağaç kaya saplamaların en çok kullanıldığı alanlar kömür madenleridir. Düşük tahkimat gerektiren yerlerde kullanılırlar. Ağaç kaya saplamaların yeterli tahkimatı sağlamadığı alanlarda ise fiberglas tipli saplamalar kullanılır. Fiberglas saplamaların ağırlıkları düşüktür ve taşıma kapasiteleri yüksektir ayrıca kesilebilir özelliğe olduğundan dolayı uygulama alanı geniştir. Şekil 2.18’de yerleştirilme şekilleri gösterilen bu tip saplamalar maden ayaklarında arının, galeride ise yanal blokların kendilerini tutarak akmasını önlemek amacıyla kullanılırlar (Yücel 2007).



Şekil 2.18. Ağaç ve fiberglas saplamaların yerleştirilmesi (Teymen 2012)

2.3.9. Kendinden matkaplı kaya saptamaları

Bu tip kaya saptamaların yerleştirilmesinde izlenen işlem sırası diğer saptamalarda uygulanan işlem sırasından farklıdır. Delik delme ve saptama işlemleri olmadığından dolayı verimi arttırmaktadır. Şekil 2.19'da gösterilen bu tip saptamalar işçilikten kaynaklanan hataları da ortadan kaldırmaktadır. Bu tür kaya saptamaları da yaylı, reçineli ve yarık – kamalı olmak üzere üçe ayrılırlar (Yücel 2007).



Şekil 2.19. Kendinden matkaplı kaya saptamaları (Peng and Tang 1984)

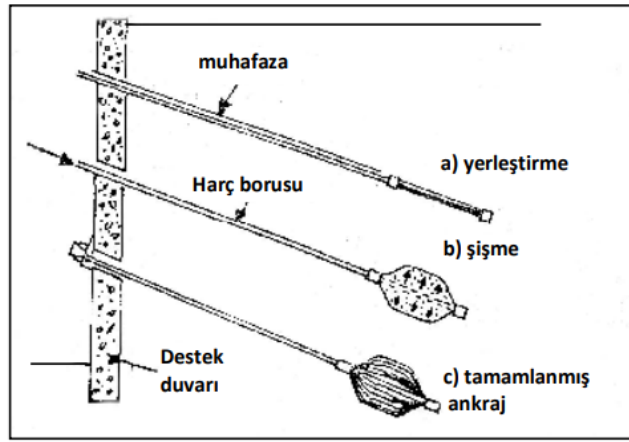
2.3.10. Dübel tipi kaya saptamaları

Mekanik ankrajlı çimento ve reçine dolgulu kaya saptamaların en iyi özelliklerini bir araya getirerek oluşturulan, birçok kaya kütleğinde uygulanabildiğinden maden ve inşaat sektöründe tünelticilik alanında kullanılmaktadır (Yücel 2007).

Dübel tipi kaya saptamalar taşıma plakası, yük taşıma kapasitesi yüksek olan çelik çubuk ve plastik bir tüpten oluşmaktadır. Saptama plastik tüp içerisinde döndürülerek yerleştirilir ve yerleştirme işlemi yapılırken saptama plastik tüpü deforme etmesiyle birlikte kaya ile saptama arasında daha kuvvetli bir bağ oluşmuş olur (Teymen 2012).

2.3.11. Genişleyebilen gövdeli kaya saptamalar

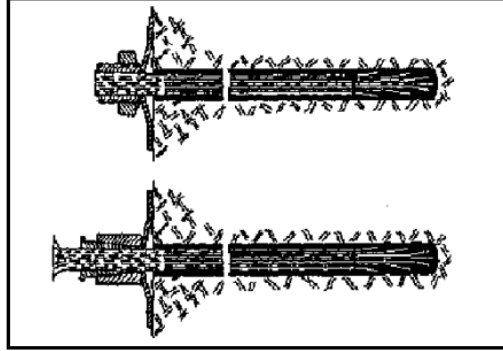
Şekil 2.20’de gösterilen genişleyebilen gövdeli kaya saptamalar genellikle zemin koşullarının çamurlu ve çok gevşek olduğu kendini taşıyamayacak durumda olduğu bölgelerde derin kanal açılması işlemlerinde ve istinat duvarı güçlendirmelerinde kullanılırlar (Teymen 2012).



Şekil 2.20. Genişleyebilen gövdeli kaya saptama (Teymen 2012)

2.3.12. Lamalı kaya saptamalar

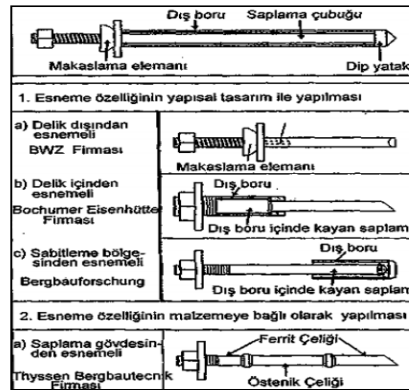
Makaslama mukavemetleri düşük olan kaya saptamalar yerine daha dirençli olan lamalı kaya saptamalar Almanya’da geliştirilmiştir (Teymen 2012). Lamalı kaya saptamalar Şekil 2.21’de de görüldüğü üzere lamaların bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Almanya kömür madenlerinde kazı boşluklarındaki yüksekliklerin fazla olmasından dolayı oluşan yüksek gerilmelerin ve taban yollarından kaynaklanan yüksek basınçlara ek olarak dinamik yüklerden oluşan gerilmelerin olması bu tip yüksek yük taşıma kapasitesine sahip ve sünek davranış gösteren kaya saptamaların gelişmesine sebep olmuştur (Ünver 1999).



Şekil 2.21. Lamalı kaya saplamaları (Teymen 2012)

2.3.13. Kombinasyon saplamaları

Almanya’da geliştirilen ve taban yollarının çevresinde oluşan deformasyonları önlemek amacıyla kullanılan kombinasyon kaya saplamalar sünek özelliğe sahiptir. Şekil 2.22’de, değişik türleri bulunan esneyen kombinasyon saplamaları görülmektedir. Bu tür saplamaların yapısı diğer türlere oranla hem daha karmaşık hem de maliyetleri daha yüksektir (Teymen 2012).



Şekil 2.22. Kombinasyon saplamaları (Teymen 2012)

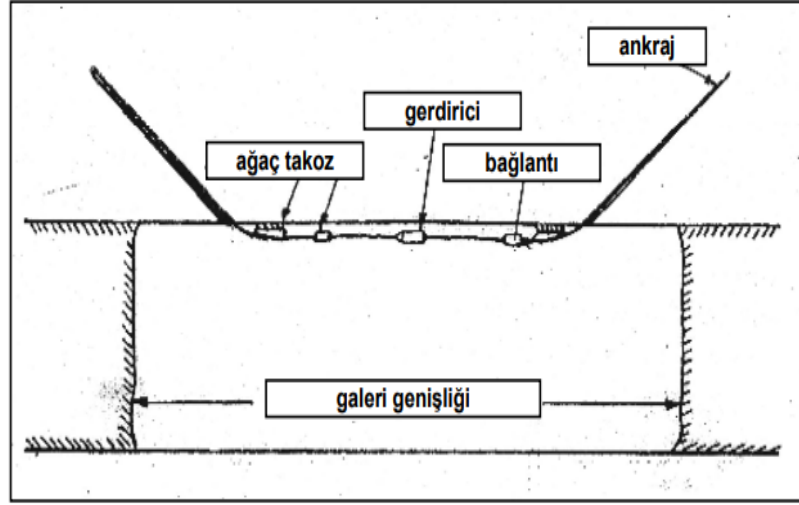
2.3.14. Polimer kompozit saptlamalar

Kaya saptlamaların başlıca sorunlarından birisi olan korozyon etkisi kaya saptlamaların yük taşıma kapasitelerini ve nihai kullanım sürelerini ciddi bir şekilde etkilemektedir (Güngör 2018).

1980 li yıllarda İsviçreli bilim adamı Widmann kaya saptlamalarda karşılaşılan bu başlıca problemi çözmek amacıyla kompozit kaya saptlamaları geliştirmiştir. Kompozit kaya saptlamalar maden ve inşaat sektörlerinde yer edinmeye başlamıştır (Anonim 2013a).

2.3.15. Tavan askıları (tavan çerçevesi)

Zeminde bulunan kazı boşluklarının olduğu alanlarda sağlam zeminin zayıf zeminin üstünde olduğu formasyonlarda zayıf zemin, tavan ve kendi ağırlığının etkisi ile çöker. Zayıf zeminin çökmesi esnasında tavadaki tabakanın alt lifleri çekme gerilmesine çalışır. Kaya bloklarının çekme mukavemeti basınç mukavemetine göre daha düşüktür. Tavan askısı uygulaması ile zayıf zemin üzerinde bulunan tavan tabakasının kazı boşluğu boyunca basınç gerilmesine çalışması sağlanmaktadır. Tavan askıları kırıklı yapıdaki zayıf zeminin kazı boşluğunca tavan kayacına bağlayarak çökmesini engellemek için kullanılır. Tavan askısının ankrajını yapmak için dolgu ankrajlı ya da sürtünme ankrajlı kaya saptlamalar kullanılabilir. Zayıf zemini taşıtmak amacıyla saptlamanın yatayla 45- 60° derece bir açı oluşturarak ankrajı yapılmalıdır. Bu tip saptlamalar, ayrışmış çatlaklı yapıdaki tavan kayacını galeri genişliğince askıya alan çelik çubuğu, daha derinlerdeki sağlam tavan kayacı içerisinde tutturmak amacı ile kullanılırlar. Ankrajı sağlamak amacıyla tam ya da kısmen çimento ya da reçine dolgulu veya sürtünme ankrajlı-reçine dolgulu bileşik tip saptlamalar kullanılabilir. Sistemden etkili sonuç alabilmek için saptlamaların yatayla 45- 60° lik bir açıyla uygulanması gerekmektedir. Taşıyıcı blokların deliklere mesafesi en az 25 cm olmalıdır. Taşıyıcı blokların kalınlığı en az 8 cm'dir. Deliğe paralel olarak delik içine yerleştirilir. Şekil 2.23'de tavan askılarının çalışma prensibi gösterilmektedir.



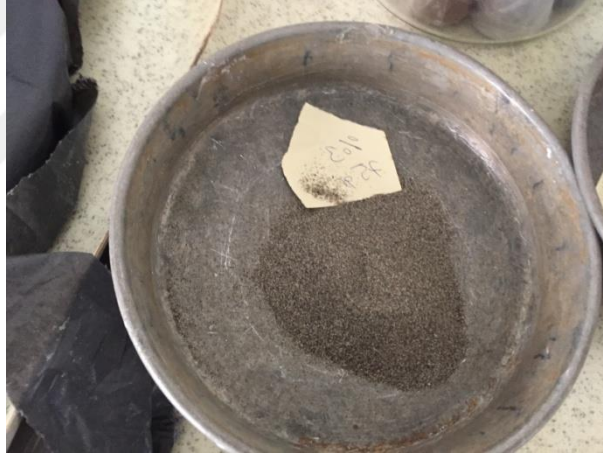
Şekil 2.23. Tavan askısı (Peng and Tang 1984)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kum

Deneyleerde kullanılan kum dere kumu olup Erzurum ili Horasan ilçesinde bulunan özel bir kum ocağından temin edilmiştir. Kaya saplamalarda kullanılacak dolgu malzemesi (grout)nın hazırlanmasında 0,5 mm altında kalan ince kum kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan kuma ait bir görsel Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kum

3.1.2. Saplama malzemesi

Deneyleerde saplama malzemesi olarak özel bir firmadan temin edilen çapı 12 mm, uzunluğu 30 cm olan S420 çelik donatısı (dişli) kullanılmıştır. TS708 standardına göre S420 sınıf çeliğinin mekanik özellikleri; minimum akma dayanımı 420 N/ mm², minimum çekme dayanımı 500 N/ mm², minimum çekme dayanımı / akma dayanımı oranı 1,15, deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı oranı 1.3 (en fazla) ve

minimum deplasman %10 olarak verilmiştir. S420 çeliğine ait görsel Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. 12 mm çapında nervürlü donatı

3.1.3. Çimento malzemesi

Deneylede özel bir firmadan temin edilen TS EN-197-1 e uygun olarak üretilen CEM I 42,5 N sınıfı portland çimento kullanılmıştır. Literatürde kaya saplama uygulamalarında en çok kullanılan çimento çeşitlerinden biri olduğu için deneylede bu çimentonun kullanımı tercih edilmiştir. Çimentoya ait TS EN 197-1 den alınan bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çimentoya ait görsel Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler (TS EN 197-1)

Priz Başlangıcı (dak)	Min 60 dk
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	Min 10
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	Min 42,5 – Max 62,5
SO ₃ (%)	Max 3,5
Cl (%)	Max 0,1



Şekil 3.3. CEM I 42.5 N çimento

3.1.4. Dasit-riyolit

Deneyleerde özel bir firmadan alınan ve Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde ince kesit analizi yaptırılan dasit-riyolit kaya malzemesi kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan kayalar özel bir firmada 10 cm x 10 cm x 20 cm dikdörtgen prizma şeklinde kestirilmişdir. Kullanılan kayaya ait görsel Şekil 3.2'de gösterilmişdir.



Şekil 3.4. Dasit-riyolit kaya

3.1.5. Karıştırıcı

Deneyleerde Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda bulunan TS EN 196-1 belirtilen özelliklere sahip karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırıcı 10 litre kapasite hacmine sahip, minimum 140

rpm/dakika, ortalama hız 200 rpm/dakika hızı ve maksimum 280 rpm/dakika karıştırma hızına kadar çıkabilen laboratuvar tipi harç karıştırıcısıdır. Karıştırıcıya ait görsel Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Karıştırıcı

3.1.6. Kalıp

Hazırlanan dolgu malzemelerinin serbest basınç dayanımlarını belirlemede TS EN 12390-1'e uygun 50x50x50 mm boyutunda üçer küpten oluşan çelik kalıpları kullanılmıştır. Kalıplara ait görsel Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kalıp

3.1.7. Tek eksenli basınç deney cihazı

Sertleşmiş dolgu malzemelerinin basınç mukavemetlerinin belirlenmesinde Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda bulunan AUTO TEST 3000 tipinde 300 ton kapasiteli, yükleme hızı otomatik olarak ayarlanabilen hidrolik pres kullanılmıştır. Deney aletine ait görsel Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Basınç deney cihazı

3.1.8. Donma çözülme deney cihazı

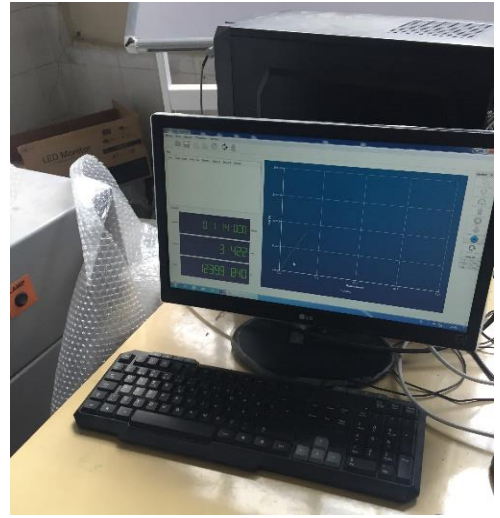
Deneylerde Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'n da bulunan tamamen otomatik donma-çözülme kabini kullanılmıştır. Donma-çözülme kabini 110 cm x 55 cm x 55 cm boyutlarında olup minimum sıcaklığı -25°C maksimum sıcaklığı $+60^{\circ}\text{C}$ olan ve programlanma özelliğine sahip deney aletidir. Donma-çözülme deney aletine ait görsel Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Donma – çözülme deney cihazı

3.1.9. Çekme deney cihazı

Çimento dolgulu kaya saplamaların çekme deneyleri Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda bulunan 100 ton eksenel çekme kuvveti uygulayan deney cihazında gerçekleştirilmiştir. Eğilme, uygulama ünitesi ve kontrol panelinden oluşan toplam 3 bileşenli ve dijital kontrollü bir sisteme sahip olan deney aletine ait görsel Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Çekme deney cihazı

3.2. Yöntem

3.2.1. Dolgu malzemesinin (grout'un) hazırlanması

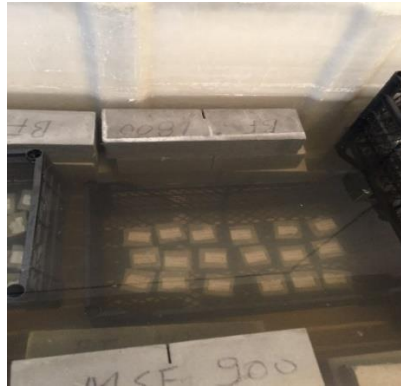
Çalışmada tüm deneyler Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı ve Yapı Laboratuvarında yürütülmüştür. Kaya saplamalarında kullanılacak olan dolgu malzemesi (grout)nın su/çimento oranı literatürde (Benmokrane *et al.* 1995; Kılıç *et al.* 2002; Martin *et al.* 2013; Jiang *et al.* 2014; Li *et al.* 2016; Cao *et al.* 2016; Kömürlü *et al.* 2017; Brzozowska *et al.* 2017) sıkça kullanılan 0.4 oranı tercih edilmiştir. Dolgu malzemesi (grout) yapımında kullanılacak kum 0.5 mm lik elekten geçirildikten sonra yıkanmış ve 24 saat etüvde kurutulmuştur. Dolgu malzemelerinde (grout) kum çimentonun kütlece %0-1-2-3-4-5 oranlarında kullanılmıştır. ASTM C305 standardına uygun olarak deneylerde kullanılacak olan dolgu malzemesi (grout) hazırlanmıştır. Saplamaların yük taşıma kapasitesi dolgu malzemesinin (grout) reolojik özellikleri ile yakından ilişkili olduğu bilinmektedir (Zaimoğlu 2003). Bu amaçla kaya saplamalarda kullanmak üzere belirlenen dolgu malzemesinin (%3 kum oranı) ASTM C940 a uygun olarak çökme, ASTM C939 a uygun olarak viskozite ve ASTM C191 e uygun olarak priz başlangıç ve bitiş süreleri de belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda dolgu malzemesinin çökme değeri yaklaşık olarak %1,3, priz başlangıç süresi 105 dakika, priz bitiş süresi 270 dakika olarak bulunmuştur. Dolgu malzemesinin viskozitesi için Marsh Hunisi deneyi yapılmıştır ancak dolgu malzemesi Marsh Hunisinden geçmemiştir. Dolgu malzemesi (grout) kalıplara dökülmeden önce kalıba yapışmasını önlemek ve düzgün yüzey elde etmek için kalıplar ince bir film tabakası oluşturacak şekilde yağ ile kaplandı. Dolgu malzemesi (grout) nin terleme yaparak hacim kaybetmesini önlemek amacıyla kalıpların üzeri naylon bir örtü ile dolgu malzemesi (grout) ile temas etmeyecek şekilde kaplanmıştır. Ayrıca kalıbın alt kenarlarından suyun sızmasını önlemek amacıyla kalıp kenarları dışarıdan macun ile kaplanmıştır. Hazırlanan dolgu malzemesi (grout) 5 x 5 x 5 cm boyutlarındaki küp kalıplara dökülmüştür. Dolgu malzemesi (grout)nın içerisinde boşlukların oluşmaması ve iyi yerleşmesi için kalıplarda şişleme işlemi yapılmıştır. Dolgu malzemesi (grout)nın

prizini tamamlaması için 24 saat kalıplarda bekletilmiştir. Dolgu malzemesi (grout)nun hazırlanma aşamasına dair görseller Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Dolgu malzemesinin hazırlanması ve kalıplara konulması

Prizi tamamlanan dolgu malzemesi (grout) numuneleri kalıptan çıkarıldıktan sonra 28 günlük kür süresini tamamlamak üzere $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kirece doygun kür ortamında bekletilmiştir. Farklı kum yüzdelerinde hazırlanan her bir dolgu malzemesi (grout) numuneleri kür havuzundan çıkarıldıktan sonra serbest basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Kür havuzuna konulan numunelere ait görsel Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Sertleşmiş dolgu malzemesi (grout) numunelerinin küre konulması

3.2.2. Kaya saplamalarda kullanılacak dolgu malzemesi (grout)nın belirlenmesi

Sertleşmiş dolgu malzemeleri numuneleri 28 günlük kür süresinden sonra serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deney aletinin yükleme hızı 0,9 kN/sn olarak alındı (Okucu ve Değirmenci, 2002). Her bir karışım hazırlanan 3 adet numune kırıldıktan sonra ortalamaları kaydedilmiştir. Maksimum serbest basınç mukavemeti değerine sahip olan numune kaya saplamalarında dolgu malzemesi (grout) olarak seçilmiştir. Ayrıca seçilen dolgu malzemesi (grout) 25–50 ve 100 donma çözülme çevrim sayısına tabi tutularak davranışı hakkında bilgi edinilmiştir. Kaya saplamalarında kullanılacak dolgu malzemesi (grout) numunelerinin kırımına ait görsel Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Dolgu malzemesi (grout) numunesi (kırılma Sonrası)

3.2.3. Kayalara saplamaların yerleştirilmesi

Saplama ankrajı yapılacak olan kaya numunelerine literatüre uygun olarak donatı çapı 12 mm olan saplama çubuğu için kayada 22 mm çapında ve 20 cm derinliğinde oyuklar açılmıştır. Bu işlem için özel bir firmadan hizmet alımı ile yapılmıştır. Kaya saplamalara dolgu malzemesi (grout) ilave edilmeden önce iç yüzeyleri iyice temizlenmiş ve dolgu malzemesi (grout)-kaya yüzeyindeki aderansın daha iyi olması amacıyla nemlendirilmiştir. Oyuk açılan kayalara ait resimler Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Kaya saplama oyuğunun hazırlanması

Belirlenen dolgu malzemesi (%3 kum oranı) kayalarda açılan oyukların içerisine derinliğin üçte biri olacak şekilde üç kademede doldurulmuş ve her bir kademede boşluk oluşmaması için şişleme işlemine tabi tutulmuştur. S420 saplama malzemesi 90° olacak şekilde 20 cm si dolgu malzemesi (grout) içerisinde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Geriye kalan 10 cm lik saplama malzemesi ise çekme deneyi çenesi için bırakılmıştır. Priz süresince saplama malzemesinin düşey konumunun korunması amacıyla etrafı ağırlıklarla kuşatılmıştır. Kaya saplamalara yapılan ankraj işlemlerine ait resimler Şekil 3.14’de gösterilmiştir.

Bu şekilde hazırlanan kaya saplama numunelerinin priz alması için 24 saat beklenilmiştir. Prizi tamamlanan kaya saplama numuneleri 28 günlük kür süresini tamamlamak üzere uygun kür şartlarında bekletilmiştir. Her bir kaya saplama numunesinden 3’er adet imal edilmiş ve sonuçlarının ortalamaları kullanılmıştır.



Şekil 3.14. Ankraj yapılan kaya saplamalar

3.2.4. Donma çözülme deneyi

Seçilen dolgu malzemesi (grout) ile hazırlanan her bir kaya saplama numunesi kür havuzundan çıkarıldıktan sonra 25–50 ve 100 donma çözülme çevrimlerine tabi tutulmak üzere donma çözülme kabinine yerleştirilmiştir. Donma çözülme kabininde 2 saat -18°C 'de donma ve 2 saat $+4^{\circ}\text{C}$ de çözülmeye tabi tutulmuştur. Bu numuneler için literatürdeki çalışmalara paralel olarak bu süre, sıcaklıklar ve çevrim sayıları seçilmiştir (Riberio *et al.* 2010; Çavdar 2014; Borinaga-Trevino *et al.* 2014). Çevrim süresini tamamlayan kaya saplama numuneleri kabinden çıkarılarak çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Donma çözülmeye tabi olan kayaların kabine koyulma şeklini gösteren görsel Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Donma çözülme kabinine koyulan kaya saplama numuneleri

3.2.5. Çekme deneyi

Donma çözülme çevrim sayılarını tamamlayan kaya saplamalar donma çözülme kabininden çıkarıldıktan sonra çekme testleri yapılmıştır. Çekme deney aletinin hızı literatüre uygun olacak şekilde 10 kN/dk olarak seçilmiştir (Kim *et al.* 2017). 10 cm çekme için bırakılan serbest pay çekme deney aletinin çenesine otomatik kumanda ile yerleştirilmiş ve çekme hızı sabit kalacak şekilde testler yapılmıştır. Çekme kuvveti uygulanırken sensörler aracılığıyla saniyenin onda biri zaman aralıklarında deformasyonlar ve deformasyonlara karşılık gelen yük değerleri bilgisayar vasıtasıyla kaydedilmiştir.

Kaya saplamalarında çekme kuvvetine bağlı olarak gelişen aderans gerilmesi aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır (Benmokrane *et al.* 1995; Kılıç vd 2002; Durmuş vd 2006; Li *et al.* 2016).

$$\tau_b = \frac{P_{max}}{\pi \times d_b \times l_b} * 10^3 \quad (3.1.)$$

Burada;

τ_b = Aderans Gerilmesi (kPa)

P_{max} = Çekme Kuvveti (N)

d_b = Saplama Çapı (mm)

l_b = Aderans Uzunluğu (mm)

Kaya saplama çekme deneyine ait görsel Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Kaya saplama çekme deneyi

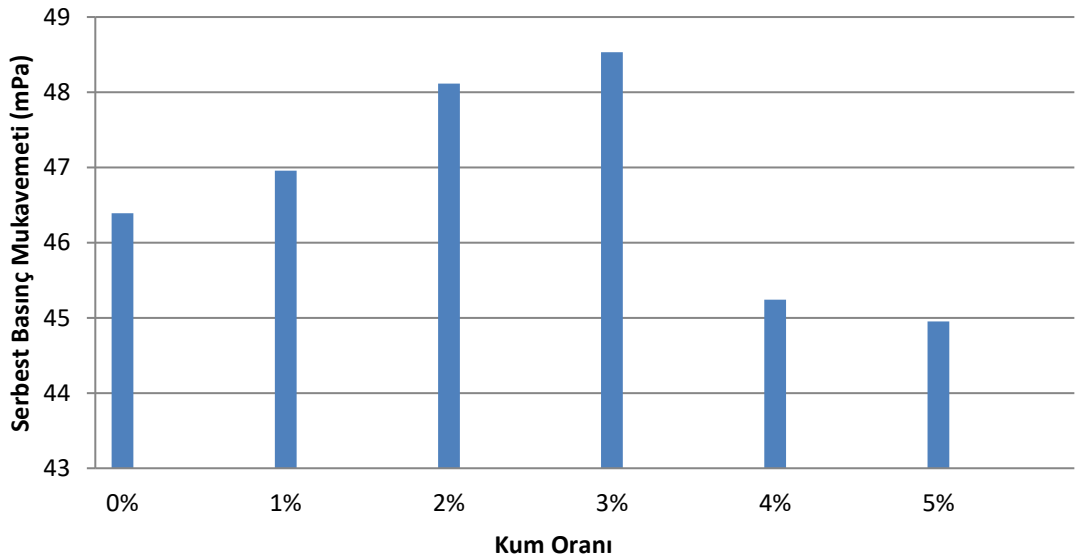
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Dolgu Malzemesi (Grout) Serbest Basınç ve Donma Çözülme Deneyleri

Dolgu malzemesi (grout) için hazırlanan deney numuneleri üzerinde yapılan serbest basınç deney sonuçlarından elde edilen her bir numuneye ait maksimum serbest basınç mukavemet değerleri Çizelge 4.1’de toplu olarak verilmiştir. Çizelge 4.1’deki veriler kullanılarak maksimum serbest basınç mukavemeti-kum oranı grafiği Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Dolgu malzemesi (grout) serbest basınç deneyi verileri

Basınç Dayanımı (mPa)						
Numune /Kum Oranı	%0	%1	%2	%3	%4	%5
1.Numune	45,52	45,87	47,53	51,38	44,87	44,32
2.Numune	46,38	48,04	48,70	45,10	49,61	47,39
3.Numune	47,28	46,90	48,10	49,11	45,10	43,14
Ortalama	46,39	46,95	48,11	48,53	45,24	44,95

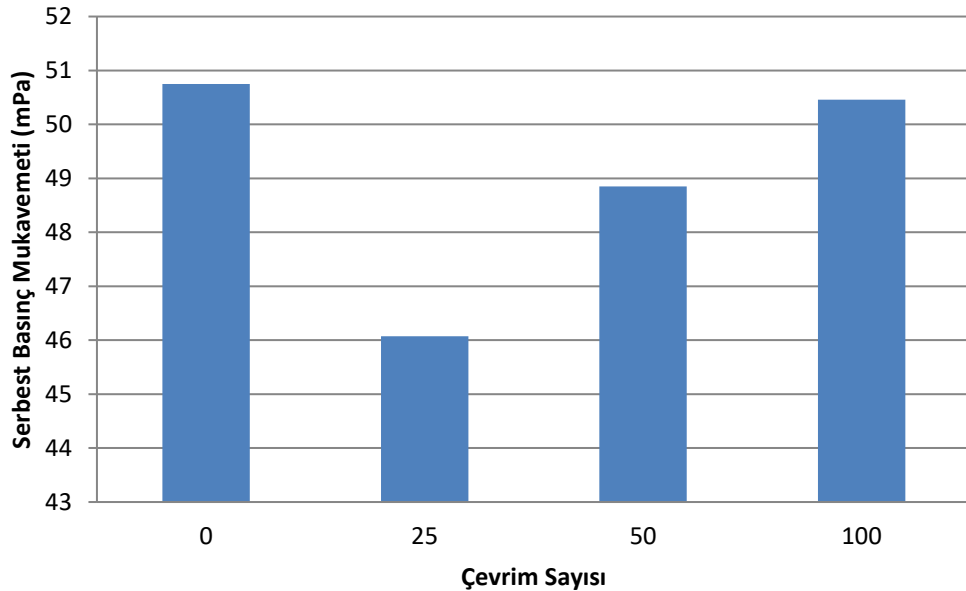


Şekil 4.1. Serbest basınç mukavemeti – kum oranı ilişkisi

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1 incelendiğinde kum oranının %3 olduğu numunenin en yüksek serbest basınç mukavemeti değerine sahip olduğu görülmektedir. Kaya saplama deneylerinde dolgu malzemesi (grout) olarak bu karışımın kullanılmasına karar verilmiştir. Seçilen dolgu malzemesi (grout) ile hazırlanan numuneler 25–50 ve 100 donma çözülme çevrimine tabi tutulmuştur. Her bir çevrimden sonra numunelerin serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir. Elde edilen serbest basınç mukavemeti değerleri Çizelge 4.2’de, bu değerler kullanılarak çizilen maksimum serbest basınç mukavemeti-donma çözülme çevrim sayısı ilişkisi ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Serbest basınç mukavemeti değerleri

Basınç Dayanımı (mPa)				
Numune/Çevrim Sayısı	0 Çevrim	25 Çevrim	50 Çevrim	100 Çevrim
1.Numune	51,38	45,70	48,62	50,01
2.Numune	50,75	46,31	48,56	52,14
3.Numune	50,11	46,20	49,37	49,24
Ortalama	50,75	46,07	48,85	50,46



Şekil 4.2. Serbest basınç mukavemeti-donma çözülme çevrim sayısı ilişkisi

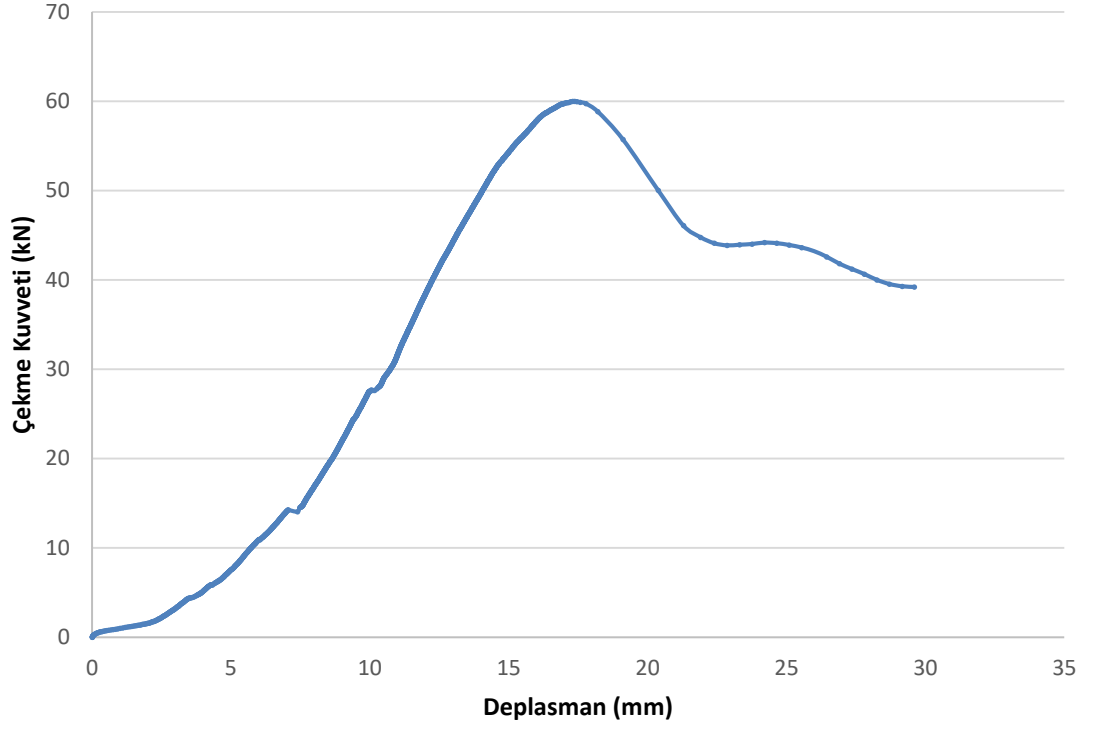
Her bir donma-çözülme çevrimini tamamlayan numuneler donma-çözülme deney cihazından çıkarılmış ve hiçbir numunede donma-çözülmeden kaynaklı bir kaybin olmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.2’de görüldüğü üzere kaya saplamalarında kullanılacak dolgu malzemesi (grout)nın serbest basınç mukavemeti, genel olarak donma çözülme tabii tutulmayan numuneye göre tüm çevrim sayılarında düşüş göstermiştir. Ancak donma çözülme çevrim sayıları kendi içlerinde kıyaslandığında çevrim sayısının artmasıyla kısmi olarak serbest basınç mukavemetinde artış sergilediği görülmektedir. Bu duruma donma çözülme çevrim sayısı için geçen zaman zarfının dolgu malzemesinin (groutun) hidratasyonu için ekstra bir süre sağlanmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Benzer kanıya literatürde de rastlanılmıştır (Çavdar 2014). Çavdar 2014’te yapmış olduğu çalışmada donma çözülme zaman dilimlerinin enjeksiyon numuneleri için ekstra bir hidratasyon süresi sağladığını ve bu durumun enjeksiyon sıvılarının basınç dayanımları için önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmektedir.

4.2. Kaya Saplama Numuneleri Çekme Deneylei

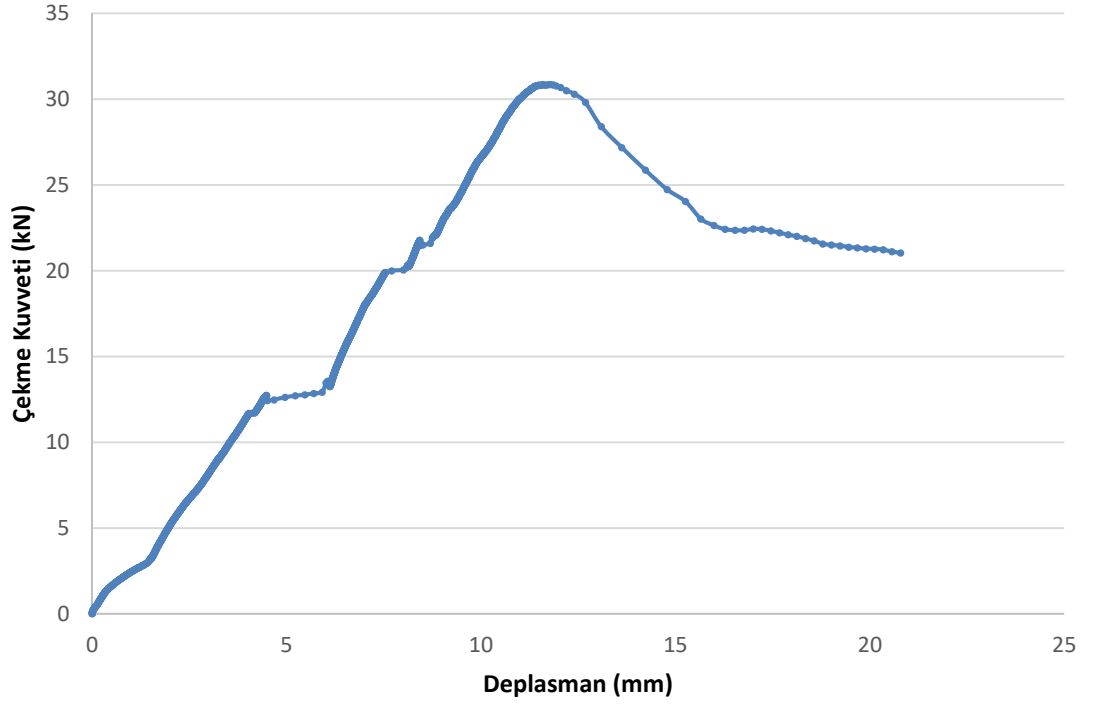
Her bir donma çözülme çevrimi için 3 er adet numune olmak üzere toplamda 12 adet kaya saplama numunesi hazırlanmış ve 0–25–50 ve 100 donma çözülme çevrim sayısına tabii tutulmuştur. Her bir çevrimden sonra kaya saplama numunelerinin çekme deneyi yapılmış ve pik çekme kuvveti değerleri Çizelge 4.3’de, çekme kuvveti-deplasman ilişkileri sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Maksimum yük ve deplasman verileri

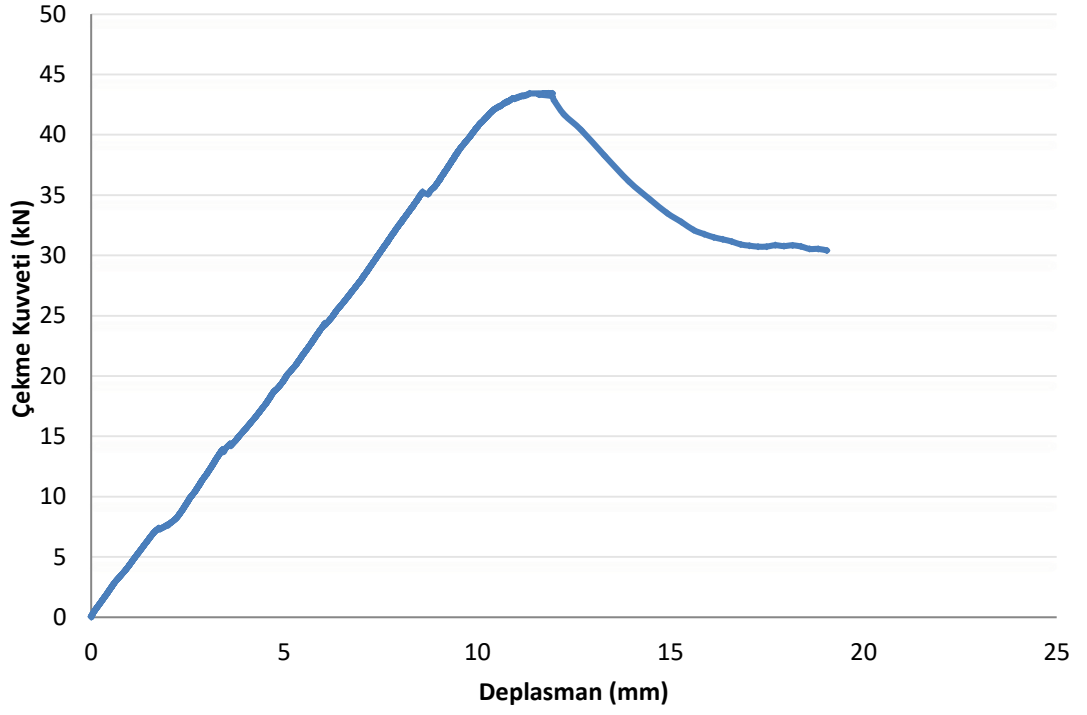
	0 Çevrim	25 Çevrim	50 Çevrim	100 Çevrim
Çekme Kuvveti (kN)	59,99	30,86	43,40	54,21
Deplasman (mm)	17,36	11,73	11,95	14,24



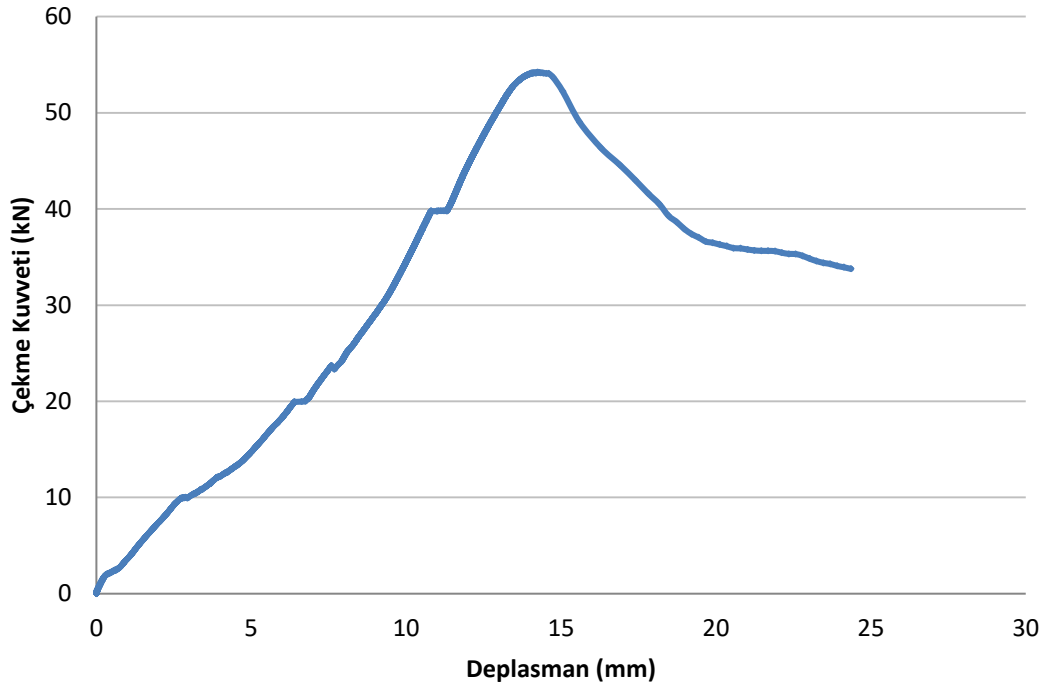
Şekil 4.3. Çekme kuvveti-deplasman ilişkisi (0 çevrim)



Şekil 4.4. Çekme kuvveti-deplasman ilişkisi (25 çevrim)

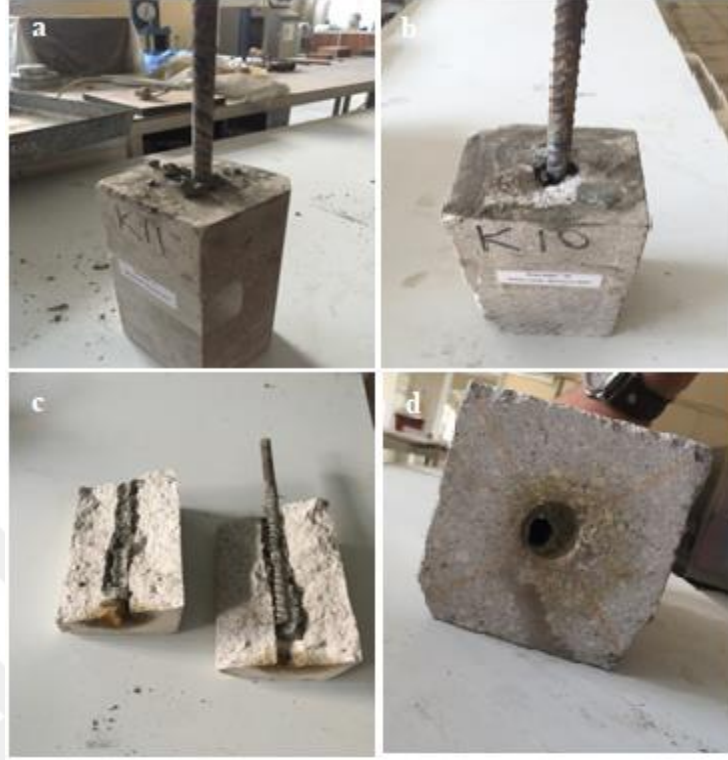


Şekil 4.5. Çekme kuvveti-deplasman ilişkisi (50 çevrim)

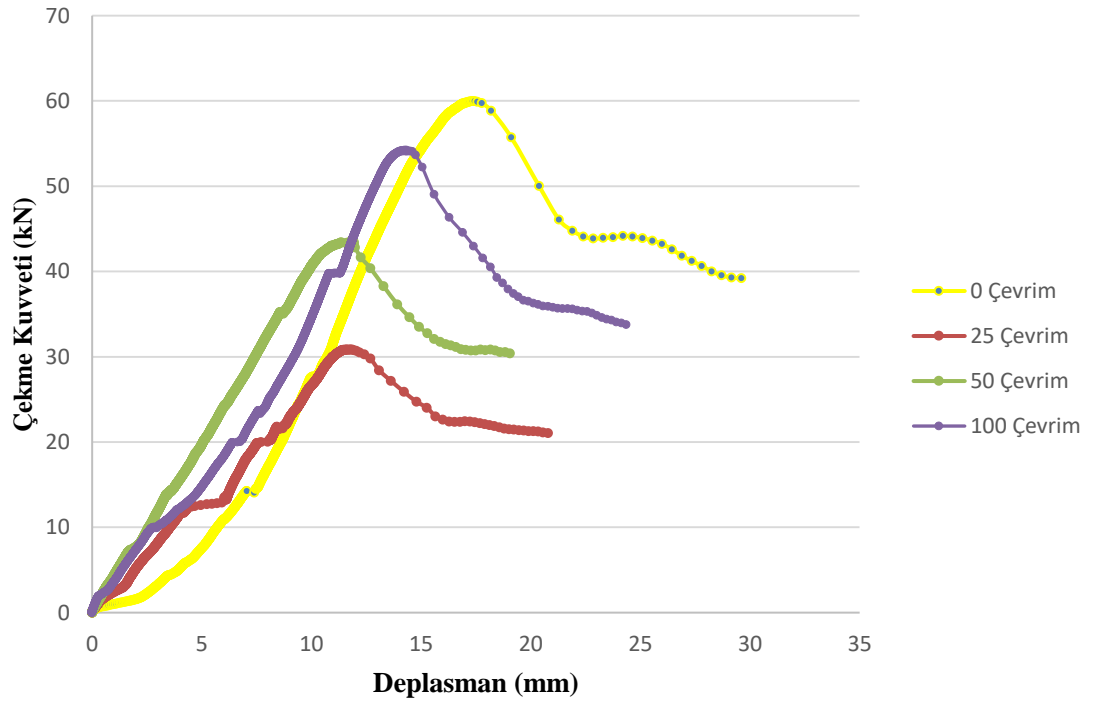


Şekil 4.6. Çekme kuvveti-deplasman ilişkisi (100 çevrim)

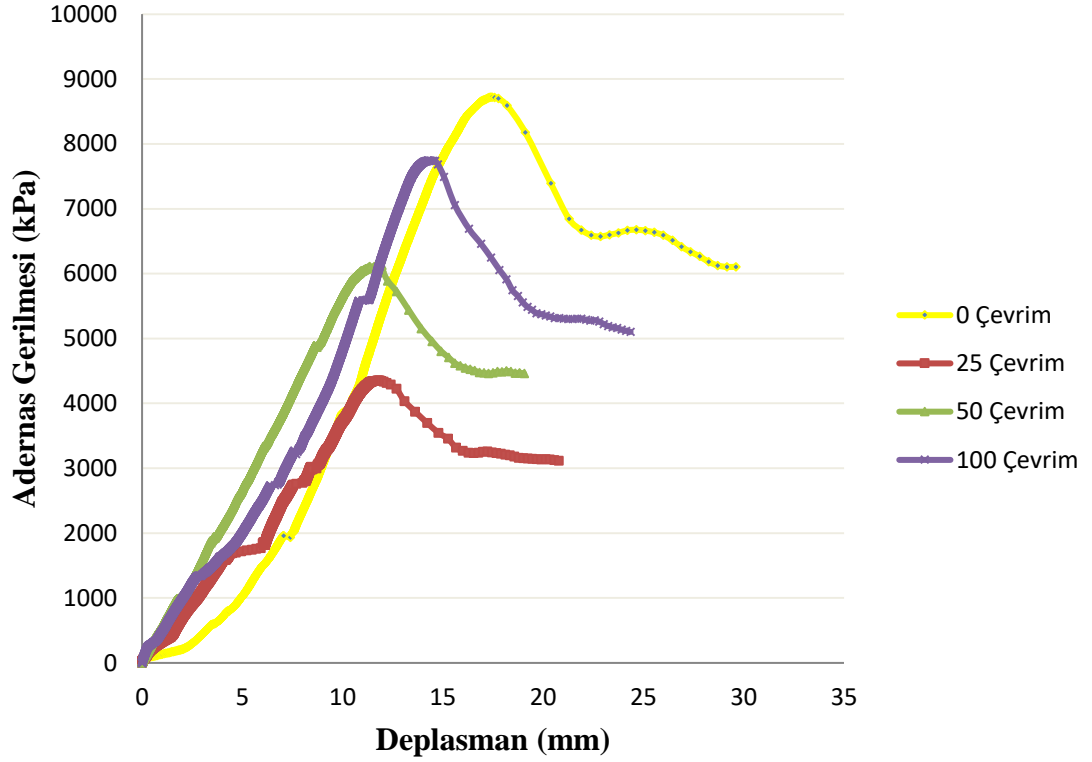
Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3 – Şekil 4.4 – Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 birlikte incelendiğinde maksimum çekme kuvveti ve deplasman değerlerinin 0 çevrime maruz bırakılan kaya saplama numunesinde sırasıyla 59,99 kN ve 17,36 mm, minimum çekme kuvveti ve deplasman değerlerinin ise 25 donma çözülme çevrime maruz bırakılan kaya saplama numunesinde sırasıyla 30,86 kN ve 11,73 mm olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç kaya saptamasında kullanılan dolgu malzemesi (grout) nın basınç dayanımı davranışı ile paralellik arz etmektedir. Benzer sonuç Kılıç vd (2002)'de görülmektedir. Kılıç'a göre groutun mekanik özelliklerinin saptama çubuğunun kapasitesi üzerinde önemli rol oynadığını ifade etmektedir. Tüm donma çözülme çevrim sayılarında çekme kuvveti ve deplasman değerleri donma çözülmeye maruz kalmayan numuneye nazaran daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Ancak donma çözülmeye maruz bırakılan numuneler kendi içerisinde değerlendirildiğinde, çevrim sayısının artmasıyla hem çekme kuvveti hem de deformasyon değerlerinde kısmen artış olduğu Çizelge 4.3'de gözlenmektedir. Bu durum dolgu malzemesi (grout)nın basınç mukavemeti ile paralellik arz etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Li (2017)'ye göre bağ kuvvetinin, enjeksiyonun basınç dayanımı ile doğrusal orantılı olduğu belirtilmiştir. Aynı şekilde Chang (2017) kritik bağ kuvvetinin harç basıncıyla yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Her bir donma çözülme çevrimi sonrası numunelerin görselleri sırasıyla Şekil 4.7a, Şekil 4.7b, Şekil 4.7c, ve Şekil 4.7d'de gösterilmiştir. Tüm donma çözülme çevrimine tabi tutulan numunelere ait çekme kuvveti – deplasman ve aderans gerilmesi – deplasman ilişkisi sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Çekme deneyi yapılan kaya saplama numuneleri



Şekil 4.8. Çekme kuvveti – deplasman ilişkisi (0,25,50 ve 100 Çevrim)



Şekil 4.9. Aderans gerilmesi – deplasman ilişkisi (0,25,50 ve 100 Çevrim)

Şekil 4.8’de genel olarak donma çözülmeye maruz kalan kaya saplama numunelerinin davranışı incelendiğinde, az deformasyonda çok yük taşıma eğilimi sergileyerek daha düşük maksimum çekme kuvveti değerlerinde deplasmanı tamamlamıştır. Buna karşılık donma çözülmeye maruz kalmayan kaya saplama numunesinde nisbeten daha büyük deformasyonlarda daha düşük yük taşıma eğilimi sergileyerek yüksek maksimum çekme kuvveti değerinde deplasmanı tamamladığı Şekil 4.8’de gözlenmektedir. Bu sonuç; uygulamada donma çözülmeye maruz kalan kaya saptamalarının donma çözülmeye maruz kalmayan kaya saptamalarına nazaran daha kısa sürede ve daha hızlı bir şekilde yenileceğini göstermektedir. Şekil 4.9’da ise aderans gerilmesinin deplasmanın artmasıyla arttığı görülmektedir. Aderans gerilmesi – deplasman davranışı çekme kuvveti – deplasman davranışına paralellik arz ettiği Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da açıkça görülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışmada çimentonun ağırlıkça farklı kum oranlarında (%0, %1, %2, %3, %4 ve %5) ilave edilerek hazırlanan ve maksimum basınç dayanımını sağlayan karışım oranı belirlenerek kaya saplamalarında kullanılmıştır. Kaya saplamalarda donma çözülme ve çekme deneyleri olmak üzere bir seri laboratuvar deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Donma çözülme çevrim sayıları hem kaya saplamalarının çekme, hem de kullanılan dolgu malzemesi (grout) nin basınç dayanım değerlerini düşürmüştür.
- Kum oranının %3 olduğu dolgu malzemesi numunesinin en yüksek serbest basınç mukavemeti değerine sahip olduğu görülmüştür.
- Kaya saplamalarında kullanılacak dolgu malzemesinin (grout) serbest basınç mukavemeti genel olarak donma çözülmeye tabi tutulmayan numuneye göre tüm çevrim sayılarında düşüş göstermiştir.
- Maksimum çekme kuvveti ve deplasman değerlerinin 0 çevrime maruz bırakılan kaya saplama numunesinde sırasıyla 59,99 kN ve 17,36 mm, minimum çekme kuvveti ve deplasman değerlerinin ise 25 donma çözülme çevrime maruz bırakılan kaya saplama numunesinde sırasıyla 30,86 kN ve 11,73 mm dir.
- Tüm donma çözülme çevrim sayılarında çekme kuvveti ve deplasman değerleri donma çözülmeye maruz kalmayan numuneye nazaran daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.
- Donma çözülmeye maruz kalan kaya saplama numunelerinin davranışı incelendiğinde az deformasyonda çok yük taşıma eğilimi sergileyerek daha düşük maksimum çekme kuvveti değerlerinde deplasmanı tamamlamıştır.
- Donma çözülmeye maruz kalmayan kaya saplama numunesinde nisbeten daha büyük deformasyonlarda daha düşük yük taşıma eğilimi sergileyerek yüksek maksimum çekme kuvveti değerinde deplasmanı tamamladığı gözlenmektedir.

- Uygulamada donma çözülmeye maruz kalan kaya saplamalarının donma çözülmeye maruz kalmayan kaya saplamalarına nazaran daha kısa sürede ve daha hızlı bir şekilde yenileceği belirlenmiştir.
- Aderans gerilmesinin deplasmanın artmasıyla arttığı tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında laboratuvarında bir dizi serbest basınç ve çekme deneyi yapılmıştır. Konu ile ilgili daha kesin yargıya farklı saplama çaplarında su/çimento oranında, kum oranlarında, kayalarda, oyuk çaplarında, donma çözülme sürelerinde ve sıcaklıklarında deneyler tekrar edilerek ulaşılabilir.



KAYNAKLAR

- Aldorf, J. and Exner, K., 1986. Mine Openings: Stability and Support. Elsevier, 377, Oxford, Amsterdam, Tokyo.
- Anonim, 2012a. Hardi Rock Control Europe b.v. (2012). Split Set friction bolts. Retrieved 23. February from <http://www.hardirockcontrol.com/products/split-set-friction-bolts.html>
- Anonim, 2012b. TS EN 197-1, 2012. Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri .Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2013a. Fibre Reinforced Polymer Products. <http://en.firepworld.com/company/profile>.
- Anonim, 2013b. TS EN 12390-1, 2013. Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri . Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2014. DSI .Threadbar – Resin Anchored Rock Bolts. Retrieved 14. March from,<http://www.dsiamerica.com/products/geotechnic/dywidag-rock-bolts/systemdescription.html>
- Anonim, 2016a. TS 708, 2016. Çelik – Betonarme içim – Donatı Çeliği .Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2016b. TS EN 196-1, 2016. Çimento Deney Metotları – Bölüm 1 : Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2018a. Dywidag-Systems International, <https://www.dsiunderground.at/en/projects>.
- Anonim, 2018b. Split Set friction rock stabilizers, International Rollforms, Inc., <http://www.splitset.com/rock-bolts.html>
- Ansell, A., 2005. Laboratory testing of a new type of energy absorbing rock bolt. Tunnelling and Underground Space Technology, 20 (2005), 291-300.
- ASTM C191, 2008. Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, Annual Book of ASTM Standards; 04.01, West Conshohocken, PA 19428-2959.
- ASTM C305, 2006. Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. Annual Book of ASTM Standards; 04.01, West Conshohocken, PA 19428-2959.
- ASTM C939, 2003. Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method), ASTM, Pennsylvania, 1-3.
- ASTM C940, 2003. Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory, ASTM, Pennsylvania, 1-3.
- Benmokrane, B., Chennouf, A., Mitri, H.S., 1995. Laboratory Evaluation of Cement-Based Grouts and Grouted Rock Anchors., 32 (7), 633-642.
- Borinaga-Treviño, R., Pascual-Muñoz, P., Calzada-Pérez, M.A., Castro-Fresno, D., 2014. Freeze–thaw durability of cement-based geothermal grouting materials. Construction and Building Materials, 55(2014), 390-397.
- Brady, B.H.G., Brown, E.T., 1993. Rock Mechanics for Underground Mining. Springer Science Business Media, 559, Glasgow.

- Brzozowski, P., Horszczaruk, E., Hrabiuk, K., 2017. The influence of natural and nano-additives on early strength of cement mortars. *Procedia Engineering*, 172 (2017), 127-134.
- Cao, C., Ren, T., Zhang, Y., Zhang, L., Wang, F., 2016. Experimental investigation of the effect of grout with additive in improving ground support. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 85 (2016), 52-59.
- Chang, X., Wang, G., Liang, Z., Yang, J., Tang, C., 2017. Study on grout cracking and interface debonding of rockbolt grouted system. *Construction and Building Materials*, 135(2017), 665-673.
- Changxing, Z., Xu, C., Youdong, M., Xulin, L., 2015. Modeling of grout crack of rockbolt grouted system. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25 (2015), 73-77.
- Chen, Y., 2014. Experimental study and stress analysis of rock bolt anchorage performance. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6 (2014), 428-437.
- Cui, Y., Zou, D.H., 2012. Assessing the effects of insufficient rebar and missing grout in grouted rock bolts using guided ultrasonic waves. *Journal of Applied Geophysics*, 79, 64-70.
- Çavdar, A., 2014. Investigation of freeze-thaw effects on mechanical properties of fiber reinforced cement mortars. *Composites: Part B*. 58, 463-472
- Durmuş, A., Dahil, H., Arslan, M.E., 2006. Yüksek Başarımlı Beton-Donatı Aderansının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*. 441 (2006/1), 45-52.
- Ghadimi, M., Shahriar, K., Jalalifar H., 2015. A new analytical solution for the displacement of fully grouted rock bolt in rock joints and experimental and numerical verifications. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 50 (2015), 143-151.
- Güngör, N. O., 2018. Park Termik Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kaya Saplamalarının Uygulanabilirliğinin Nümerik Olarak Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Hacettepe Üniversitesi. Ankara
- Hoek, E., Wood, D., 1987. Support in underground hard rock mines. *Underground support systems*, 1987 (35), 1-6.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1995. *Support of Underground Excavations in Hardrock*. Funding by Mining Research Directorate and Universities Research Incentive Fund, 225 s, Rotterdam, Balkema.
- Ivanovic, A., Neilson, R.D., 2008. Influence of geometry and material properties on the axial vibration of a rock bolt. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45 (2008), 941-951
- Jiang, S.H., Li, D.Q., Zhang, L.M., Zhou, C.B., 2014. Time-dependent system reliability of anchored rock slopes considering rock bolt corrosion effect. *Engineering Geology*, 175 (2014), 1-8.
- Kang, H., Wu, Y., Gao, F., Jiang, P., Cheng, P., Meng, X., Li, Z., 2016. Mechanical performances and stress states of rock bolts under varying loading conditions. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 52(2016), 138-146.
- Karabin, G. J., Debebecev, W. J., 1976. Comparative evaluation of conventional an resin bolting system: Pittsburgh Technical Support Center, Pittsburgh, Pa., Informational Report 1033, 24, California.

- Kendorski, F.S., 2003. Rock Reinforcement Longevity. *Geo-Strata* —Geo Institute of ASCE 4 (4) 9-12.
- Kılıç, A., Yaşar, E., Çelik, A.G., 2002. Effect of grout properties on the pull-out load capacity of fully grouted rock bolt. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 17 (2002), 355-362.
- Kılıç, A., Anıl, M., 1999. Dolgu Özelliklerinin Kaya Bulonu Taşıma Kapasitesine Etkisi. Türkiye 16. Madencilik Kongresi, Ankara.
- Kim, H.J., Kim, K.H., Kim, H.M., Shin, J.H., 2017. Anchorage Mechanism and Pullout Resistance of Rock Bolt in Water-Bearing Rocks. *Advances in Structural Engineering and Mechanics*, Seoul, Korea.
- Konietzky, H.H., Frühwirt, T., 2018. Rock bolting. TU Bergakademie Freiberg, Geotechnical Institute, 27, Freiberg.
- Kovari, K., 2003a. History of the sprayed concrete lining method-part I: milestones up to the 1960s, *Tunnelling and Underground Space Technology*, (18), 57-69.
- Kovari, K., 2003b. History of the sprayed concrete lining method-part II: milestones up to the 1960s, *Tunnelling and Underground Space Technology*, (18), 71-83.
- Kömürlü, E., 2016. Çeşitli Mühendislik Polimerlerinin Kaya Saplama Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Karadeniz Teknik Üniversitesi. Trabzon
- Kömürlü, E., Kesimal, A., Aksoy, C.O., 2017. Use of Polyamide-6 Type Engineering Polymer as Grouted Rock Bolt Material. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 3 (37), 1-11.
- Kristjánsson, G., 2014. Rock bolting and pull out test on rebar bolts. Norwegian University of Science and Technology Department of Geology and Mineral Resources Engineering . 126, Norway.
- Li, C.C., Kristjánsson, G., Høien, A.H., 2016. Critical embedment length and bond strength of fully encapsulated rebar rockbolts . *Tunnelling and Underground Space Technology*, 59 (2016), 16-23.
- Li, F., Jin, H., Hu, D., Wang, B., Jia, Y., 2017. Influence of temperature and roughness of surrounding rocks on mechanical behavior of rock bolts. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 103 (2017), 55-63.
- Liu, G., Xiao, M., Chen, J., Hao Zhou, H., 2017 . Study on Mechanical Characteristics of Fully Grouted Rock Bolts for Underground Caverns under Seismic Loads. *Mathematical Problems in Engineering* . 1-12 .
- Liu, J., Yang, H., Wen, H., Zhou, X., 2017. Analytical model for the load transmission law of rock bolt subjected to open and sliding joint displacements . *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 10 (2017), 1-9.
- Luo, J.L., 1999. A new Rock Bolt Design Criterion and Knowledge-Based Expert System For Stratified Roof. Faculty of Mining Engineering Doctor of Philosophy in Mining Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg,
- Ma, S., Nemcik, J., Aziz, J., Zhang, Z., 2014. Analytical model for rock bolts reaching free end slip. *Construction and Building Materials*, 57, 30-37.
- Ma, S., Nemcik, J., Aziz, J., Mirzaghobanali, A., 2017. The Effects of Installation Procedure on Bond Characteristics of Fully Grouted Rock Bolt. *Geotechnical Testing Journal*, 40 (5), 846-857.

- Madenga, V., Zou, D.H., Zhang, C., 2006. Effects of curing time and frequency on ultrasonic wave velocity in grouted rock bolts. *Journal of Applied Geophysics*, 59, 79-87.
- Mark, C., Molinda, M., Dolinar, D.R., 2005. Analysis of roof bolt systems. National institute for occupational safety and health. Pennsylvania, 1-9
- Martín, L.B., Tijani, M.,Hadj-Hassen, F., Aurélien Noiret, A., 2013. Assessment of the bolt-grout interface behaviour of fully grouted rockbolts from laboratory experiments under axial loads. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 63, 50-61.
- Okucu, A., Değirmenci, N., 2002. Çimentoların Basınç Dayanımlarının Tayininde Prizmatik Numuneler Yerine Küp Numunelerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması . *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*. 15 (1), 1-18.
- Peng, S.S., Tang, O.H., 1984. Roof Bolting in Underground Mining A State of The Art Rewiew. *International Journal of Mining Engineering*, (2), 1 – 42
- Riberio, M.C.S., Juvandes, L.F.P., Rodrigues, J.D., Ferreira, A.J.M., Marques, A.T., 2010. Behaviour of Cement and Polymer Mortar Materials to Rapid Freeze-Thaw Cycling. *Materials Science Forum*, 636-637 (2010), 1329-1335.
- Schach, R., Garshol, K., Heltzen, A.M., 1979. *Rock Bolting : A practical handbook*. Pergamon, 92, Oxford.
- Srivastava,L.P., Mahendra Singh, M., 2015. Empirical estimation of strength of jointed rocks traversed by rock bolts based on experimental observation. *Engineering Geology*, 197 (2015), 103-111.
- Stillborg, B., 1994. *Professional Users Handbook for Rock Bolting*. Trans Tech Publications, 161, Sweden.
- Teymen, A., 2012. Tam Dolgulu Kaya Saplamlarında Gerilme Dağılımlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çukurova Üniversitesi. Adana.
- Teymen, A., 2017. Effect of mineral admixture types on the grout strength of fully-grouted rockbolts. *Construction and Building Materials*, 145, 376-382.
- Uysal, Ö., 2001. Patlama Esaslı Halat Tipi (Kablo Tipi) Kaya Saplamları Tasarımı, Üretimi ve Uygulamaları. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Cumhuriyet Üniversitesi. Sivas.
- Ünver, B., 1999. Yeraltı Kömür Ocaklarında Tahkimat Elemanı Olarak Kaya Saplamlarının Kullanımı ve Performans İzleme Yöntemleri. *Madencilik Dergisi*, 38 (4), 3-20.
- Villaescusa, E., Varden, R., R. Hassell, R., 2008 . Quantifying the performance of resin anchored rock bolts in the Australian underground hard rock mining industry. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45, 94-102.
- Yücel, A., 2007. Silis Dumanı ve Akışkanlaştırıcı İlavesinin Tam Dolgulu Kaya Saplamlarının Dayanımına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çukurova Üniversitesi. Adana.
- Yücel, A., Kılıç, A., 2010. Silis Dumanı ve Akışkanlaştırıcı İlavesinin Tam Dolgulu Kaya Saplamlarının Dayanımına Etkisi. *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, 22 (1), 118-122.

- Zaimoğlu, A.Ş., 2003. Bentonit, Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Enjeksiyonu Karışımlarında, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Taguchi Yöntemi ile İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Zou, D.H.S., Cheng, J., Yue, R., Sun, X., 2010. Grout Quality And İts İmpact On Guided Ultrasonic Waves İn Grouted Rock Bolts. Journal Of Applied Geophysics, 72, 102-106.



ÖZGEÇMİŞ

1996 yılında Kars Merkez’de doğdu. İlk ve orta okulu Mihrali Bey İlköğretim Okulu’nda, liseyi Kars Hüsnü M. Özyeğin Anadolu Lisesi’nde okudu. İnşaat Mühendisliği eğitimine 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’nde başladı. 2017 yılında buradan mezun oldu ve aynı yıl Geoteknik Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.

