

ÇİMENTO DOLGULU KAYA SAPLAMALARINDA DOLGU VE SAPLAMA ÖZELLİKLERİNİN SAPLAMA DAYANIMINA ETKİSİ

Effects Of Grout And Bolt Properties On The Strength Of Cement Grouted Rockbolts

Alaettin KILIÇ^(*)
Atilla G. ÇELİK^(**)

ÖZET

Bu çalışma, yeraltı madenciliği ve tünellerde yaygın olarak kullanım alan bulan çimento dolgulu kaya saplamlarının taşıma kapasitesini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ile ilgilidir. Bu amaçla, bazalt bloklara yerleştirilen (farklı boy, çap ve dolgu özelliklerine sahip) yaklaşık 80 adet saplama üzerinde yapılan saplama çekme deneyleri sonucunda saplama kapasitesi ile saplama boyu, saplama yapışma alanı ve dolgu dayanımı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Buna göre; saplama boyu ve/veya saplama yapışma alanı, dolgu maddesinin makaslama dayanımı ve kür süresi arttıkça saplama kapasitesinin arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükleri Kaya Saplamları, Saplama Kapasitesi, Dolgu Dayanımı, Kür Süresi

ABSTRACT

This study is related with the factors that effect the load capacity of cement-grouted rockbolts which have been widely used in mining and tunnelling applications. For this aim, approximately 80 rockbolts having different diameter, length and grouting materials were embedded into basalt blocks. Relationships between bolt length - bolt load capacity, bolt bond area - bolt load capacity, and grout strength - bolt load capacity were investigated in the laboratory. According to the test results; increasing bolt length and/or bonded area of the bolt, shear strength of the grout material and curing time increase the bolt load capacity.

Keywords: Rockbolt, Rockbolt Capacity, Grout Strength, Curing Time

⁰ Yrd. Doç. Dr., Çukurova Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, Adana
^(**) Maden Yük. Müh., M.T.A. Genel Müdürlüğü, Ankara

1.GİRİŞ

Kaya saplamaları, madencilik ve inşaat mühendisliği çalışma alanlarında, özellikle, ana nakliyat yolları ve tünellerde sağlamlaştırma ve tahkimat elemanı olarak uzun süredir kullanılmaktadır. Kaya saplamaları, eklem ve çatlakların genişlemesini engellemek ve kaya kütlelerinin kendi kendini destekleme yeteneğini artırmak suretiyle sağlamlaştırma ve tahkimat işlevini yerine getirmektedir (Kaiser vd, 1992). Kaya saplamalarının sağlamlaştırmadaki etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Hyet vd,1992; Aldorf ve Exner, 1986; Ito vd, 2001; Reichert vd, 1991; Stillborg, 1984; Chappel, 1989). Kaya saplamaları sağlamlaştırma işlevini bir ya da birkaç mekanizmanın bileşimi ile yerine getirir. Saplamalar, eklem arasındaki gerilme ve sürtünme direncini artırarak, zayıf blokları askıda tutarak ve ince tabakaları birbirine yapıştırarak kalın bir giriş gibi çalışmalarını sağlar (Franklin ve Dusseallt, 1989; Panek ve McCormick, 1973).

Kaya saplamaları öngerilmeli ya da öngerilmemiş olarak kaya kütlelerine yerleştirilebilen, içi dolu ya da boş çelikten mamul malzemedir olup, ankraj sistemlerine bağlı olarak üç ana gruba ayrılabilir. (Stillborg,1984; Hook ve Wood, 1989; Cybulski ve Mazzoni, 1989). Birinci grup mekanik ankraj lı kaya saplamaları olup, bunlar da kendi aralarında kama - yarı ankraj lı ve genişleme başlıklı ankrajlı kaya saplamaları olarak ikiye ayrılır. İkinci grup saplamalar sürtünme ankrajlı kaya saplamaları olup, bunların da sıkışmış yaylı (split-set) ve şişen (swellex) saplamalar olmak üzere iki türü vardır. Üçüncü grup saplamalar delik boyunca dolgu kaya saplamalarıdır. Ankraj ı sağlayan dolgu maddesinin türüne göre reçine dolgu ve çimento dolgu kaya saplamaları olarak ikiye ayrılırlar.

Dolgu kaya saplaması, herhangi bir mekanik ankraj içermeyen, genellikle nervürlü çelik çubuktan ibaret olan ve kaya kütleleri içerisinde açılan bir deliğe yerleştirilen ve delik boyunca bir dolgu maddesi ile delik çeperine yapışması sağlanan bir sağlamlaştırma elemanıdır (Franklin ve Dusseallt, 1989).

Dolgu ankrajlı kaya saplamaları tünel çevresindeki gevşemiş bölgenin duraylılığının sağlanmasında, madencilikteki ana nakliyat yolları, kuyu ve desandrelere tahkimatında ve sağlamlaştırılmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tesisinin basitliği, malzeme teminindeki kolaylık ve göreceli olarak ucuz olması diğer tahkimat elemanlarına göre avantajlı konumunu sağlar (Indraratna ve Kaiser, 1990).

Yerleştirilmelerinin hemen ardından bir ön yüklem uygulanıp uygulanmadığına bağlı olarak saplamalar, öngerilmeli (aktif) ve öngerilmemiş (pasif) saplamalar olarak ikiye ayrılabilir. Yerleştirilmelerinin ardından, çevre kayacında meydana gelen deformasyonlar sonucunda, öngerilmemiş saplamaların içerisinde kendiliğinden gerilmeler oluşmaya başlar. Bu nedenle, ön gerilmemiş saplamalar kazıdan hemen sonra ve kazı boşluğu çevresinde deformasyonlar gelişmeden ve çevre kayacı içsel parametrelerini (kohezyon, içsel sürtünme, çekme ve makaslama direnci) kaybetmeden önce yerleştirilmelidir. Ancak, dolgu maddesi katılıp saplamaya yük aktarılınca kadar geçen süre özel bir öneme sahiptir. Çünkü, bazı dolgu maddeleri çok kısa sürede (reçineler için bu süre birkaç dakika ile birkaç saat arasında değişir) katılırken, çimento dolgular ancak birkaç gün içinde, bazen bir hafta içinde kapasitelerinin büyük bir kısmına ulaşabilmektedir. Bu zaman süresinde, kazı çevresinde oluşacak deformasyonların engellenmesinde bazı zorluklar ortaya çıkabilir. Sağlam ve orta sağlam kayaların kendi içlerinde var olan dayanım özelliklerinin harekete geçebilmesi için bir miktar deformasyon zaten gerekli olduğundan bu tür kayalarda açılacak kazı boşluklarının desteklenmesinde çimento dolgu kaya saplamaları en iyi sağlamlaştırma elemanı sayılabilir.

Kullanılmakta olan çeşitli dolgu maddeleri olmakla birlikte, dolgu maddesi olarak normal Portland çimentosu yeterlidir. Su ile karıştırılıp harç yapılan dolgu maddesi, taban deliklerine yer çekiminden yararlanılarak, eğimli ve tavan deliklerine ise bir pompa yardımı ile

doldurulduktan sonra saplamalar deliğe sürülür. Bu işlem sırasında harcın dökülmemesi için deliğin ağız kısmı basit bir tapa ile kapatılır.

Dolgu ankraj bir saplamanın etkinliği gevşemiş bölgenin derinliğine kıyasla saplama boyunun uzunluğuna bağlıdır. Ayrıca, dolgulu bir saplamanın normal ve makaslama gerilmeleri dağılımı da saplama boyu ile ilişkilidir (Indraratna ve Kaiser, 1990).

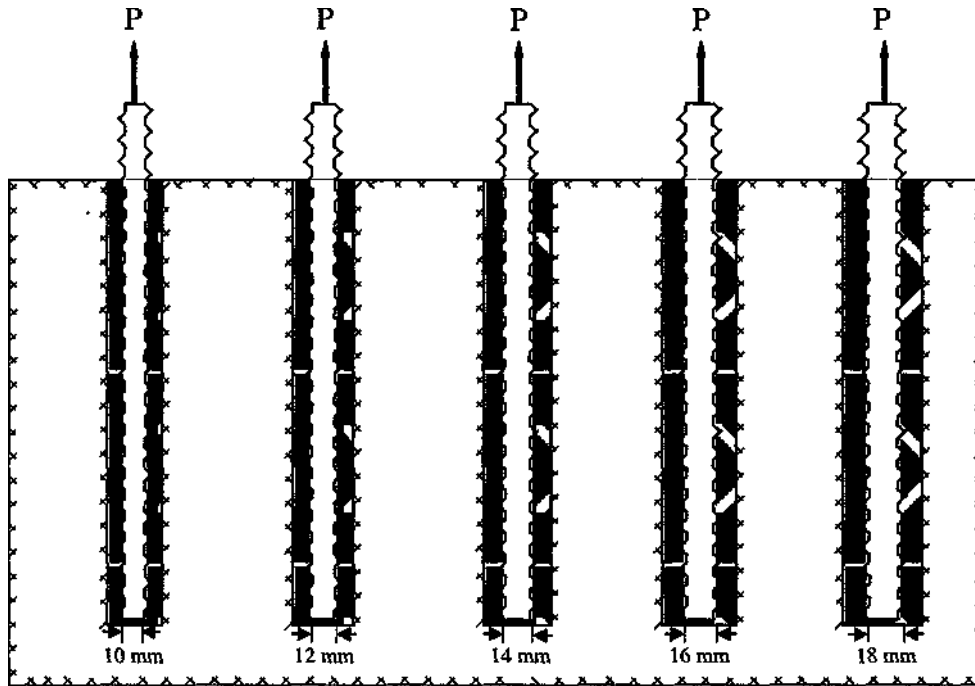
Dolgu ankraj bir saplamanın taşıma kapasitesi saplamanın kesit şekline, çapına, uzunluğuna ve dolgu dayanımına bağlıdır. Bu nedenle, yüzeyler arasındaki makaslama direncindeki herhangi bir değişiklik saplama yapışma direnci ve saplamanın taşıma kapasitesini etkiler.

Bu laboratuvar çalışması, saplama çapı, saplama boyu ve kaya-saplama arasında yapışmayı sağlayan dolgu maddesine ait makaslama direncinin, saplama yapışma direncine ve saplama kapasitesine etkisinin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar teoriyi desteklemektedir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Saplama ve dolgu özelliklerinin saplama kapasitesine etkilerinin belirlenmesi amacı ile yapılan saplama çekme deneylerinde; kayaç olarak bazalt bloklar, saplama olarak 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm ve 18 mm çaplarında, ve 15 cm, 24,7 cm, 27 cm, 30 cm ve 32 cm boylarında nervürlü çelik çubuklar ve dolgu maddesi olarak su/çimento (s/ç) oranı 0,34; 0,36; 0,38; 0,40 olan normal Portland çimentosu ve s/ç oranı 0,40 olan beyaz çimento kullanılmıştır. Farklı özelliklere sahip dolgu maddesi elde etmek amacı ile normal Portland çimento içerisine çimento ağırlığının % 10'u kadar (100-500 fım arasında elenmiş) silis kumu, çimento ağırlığının % 5'i ve % 10'u kadar uçucu kül (Afşin-Elbistan Termik Santralinden) karıştırılmıştır. Deneylerde kullanılan bazaltın tek eksenli basınç dayanımı 1300 kg/cm² ve elastisite modülü 275000 kg/cm², nervürlü çelik çubukların akma dayanımı 4000 kg/cm², kopma dayanımı 7600 kg/cm² ve elastisite modülü 2,10⁶ kg/cm² dir. Her bir sonuç için kullanılan saplama sayısı 3 olup, sonuçlarda ortalama değerler kullanılmıştır.



Şekil 1. Farklı çaptaki saplamaların bazalt bloklara yerleştirilmesi.

2.2. Yöntem

2.2.1. Saplama Çapı

Saplama çapının saplama kapasitesine etkisinin belirlenmesi amacı ile 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm , 18 mm, çaplarında ve sabit uzunluğa sahip saplamalar, çapları saplama çapından 10 mm daha fazla olan 24,2 cm derinliğindeki deliklere s/ç oranı 0,40 olan çimento harcı ile tutturulmuş (Şekil 1) ve 35 günlük kür süresi sonunda saplamalar yerlerinden kopuncaya kadar yüklenmişlerdir. Saplama çekme işlemi 15 ton kapasiteli el pompası, bağlantı hortumları, hassasiyeti 25 kg olan basınç göstergesi, 5 cm stroka sahip pistonu ve saplama çekme başlığı bulunan bir düzenek ile çekilmiştir (Şekil 2). Ankraj amacı ile kullanılan dolgu maddelerinden ek olarak hazırlanan $<(>50 \times 100$ mm boyutlarındaki numunelere de aynı kür süresi sonunda basmç ve makaslama dayanımlarının belirlenmesi amacı ile deneyler uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 1, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmektedir.

Saplama çapı ve yapışma alanının saplama kapasitesine etkisinin belirlenmesi amacı ile Littlejohn ve Bruce (1975) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$u_b = P_b / (n \cdot db \cdot lb) \quad (D)$$

Burada

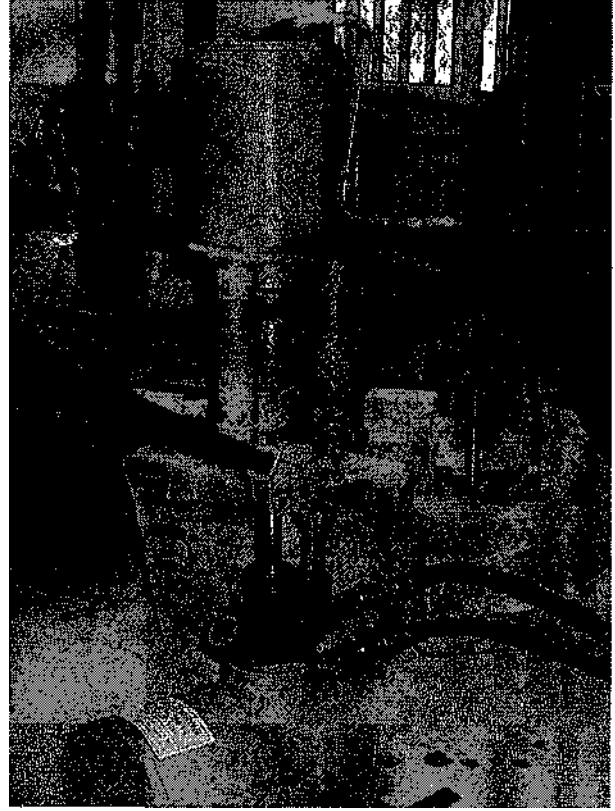
T_b : En yüksek saplama yapışma direnci (kg/cm^2)

P_b : En yüksek saplama yenilme yükü (kg)

db : Saplama çapı (cm)

lb : Saplama boyu (cm)

$7t \cdot d_b \cdot lb$: Gömülü saplamanın yapışma alanı (cm^2)



Şekil 2. Saplama çekme düzeneği.

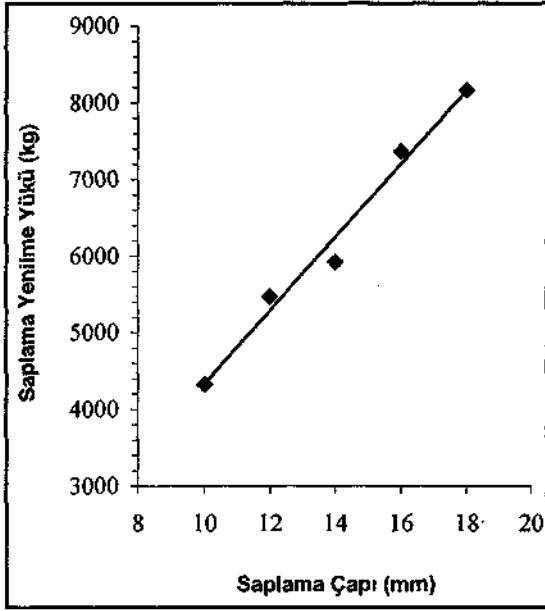
2.2.2. Saplama Boyu

Saplama boyunun saplama taşıma kapasitesine etkisinin incelenmesi amacı ile 12 mm çapında 15 cm, 24,7 cm, 30 cm, ve 32 cm boylarındaki nervürlü saplamalar 22 mm çapındaki deliklere s/ç oranı 0,40 olan çimento harcı ile tutturulmuştur (Şekil 5). 21 günlük kür süresi sonunda saplamalar kopuncaya kadar yüklenmiştir. Sonuçlar Çizelge 2 ve Şekil 6'da verilmektedir.

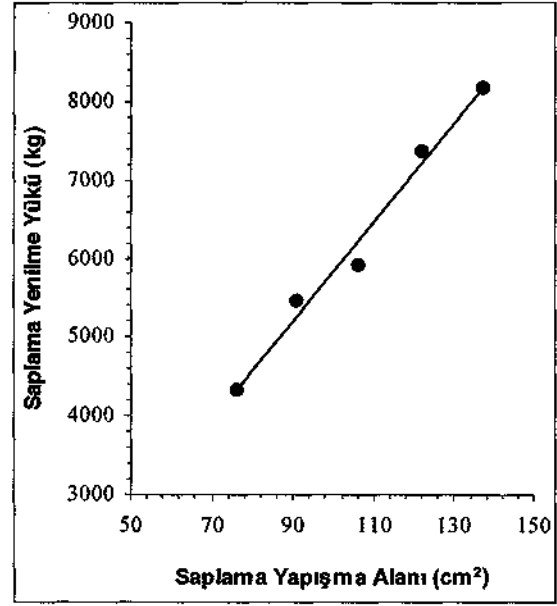
Çizelge 1. Saplama Çapının Taşıma Kapasitesine Etkisi*

Saplama Çapı, d_b (mm)	Saplama Boyu, L_b (cm)	Yapışma Alanı, A_b (cm^2)	Yenilme Yüğü, P_b (kg)	Yapışma Direnci, T_b (kg/cm^2)
10	24,2	76	4320	56,8
12	24,2	91	5470	60,1
14	24,2	106	5920	55,8
16	24,2	122	7360	60,3
18	24,2	137	8160	59,6

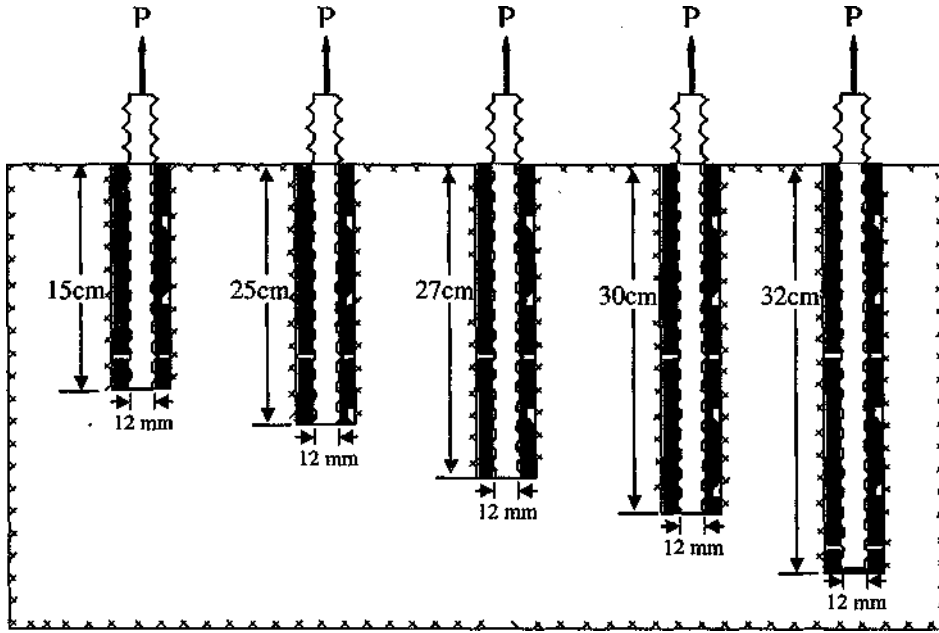
Delik çapı = $d_b + 10$ mm; Kür Süresi: 35 gün; s/ç = 0,40; $x_g = 81,5$ kg/cm



Şekil 3. Saplama çapı ve saplama yenilme yükü arasındaki ilişki.



Şekil 4. Saplama yapışma alanı ve saplama yenilme yükü arasındaki ilişki.



Şekil 5. Farklı boylardaki saplamaların yerleştirilme düzeni.

2.2.3. Dolgu (Ankraj) Maddesi

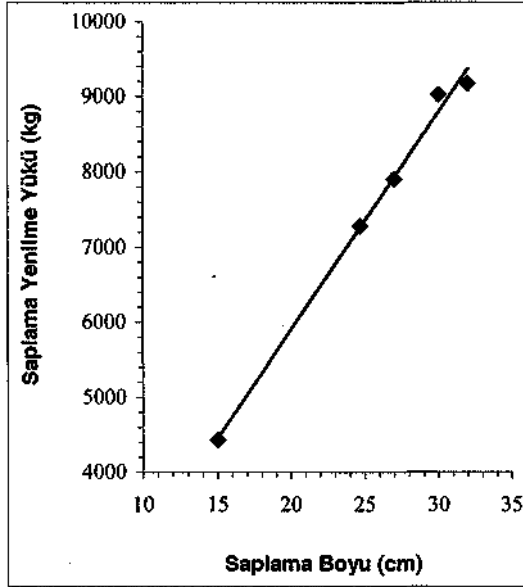
Görevi, saplama ile delik çeperi arasında yapıştırma ve kazı çevresindeki gerilmeleri saplama malzemesine aktarma olan, dolgu

maddesi kaya saplama sisteminde oldukça önemlidir. Dolgu maddesinin mekanik özelliklerinin saplama mukavemetine etkisinin belirlenmesi amacı ile farklı mekanik özelliklere sahip dolgu maddeleri kullanılmıştır. Önce,

yaygın olarak kullanılmakta olan normal Portland çimento içerisine değişik miktarlarda su ilave edilerek farklı mekanik özelliklere sahip dolgu maddeleri elde edilmiştir. Dolgu maddelerinin çeşitliliğinin artırılması amacı ile; normal Portland çimento içerisine çeşitli oranlarda baca külü ve silis kumu ilave edilmiş, ayrıca yalnızca beyaz çimentodan oluşan dolgu maddesi de deneylerde kullanılmıştır. Saplama boyunun ankrajında ve dolgu özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan numunelerin her defasında aynı karışımından oluşmasına dikkat edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4 ve Şekil 7-9' da verilmektedir.

Çizelge 2. Saplama Boyunun Saplama Yenilme Yüküne Etkisi.

L_b (cm)	A_b (cm ²)	P_b (kg)	T_b (kg/cm ²)
15,0	57	4430	77,7
24,7	93	7280	78,3
27,0	102	7900	77,5
30,0	113	9020	79,8
<u>32,0</u>	121	9170	75,8



Şekil 6. Saplamalarda Boy-Yenilme Yükü ilişkisi.

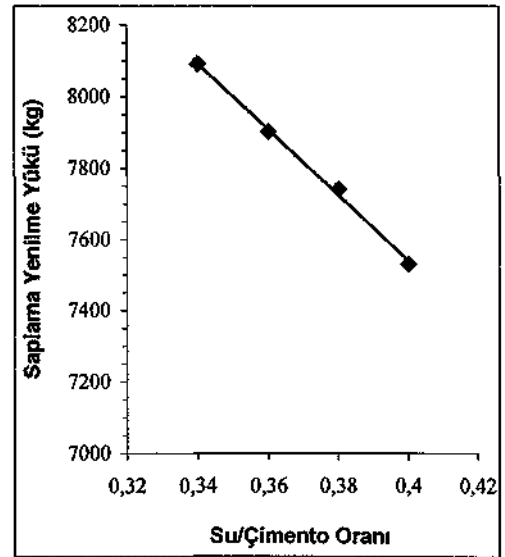
2.2.4. Kür Süresi

Yeraltı kazı boşluklarının açılması sırasında

ilerleme (kazı) hızının kazı çevresindeki ikincil gerilme dağılımları üzerine çok büyük etkisi olduğu bilinmektedir. Kazı ilerledikçe, daha geride kalan kazı bölgelerinde gerilmeler artmakta ve bu gerilmelerin karşılanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu gibi durumlarda önceden yerleştirilmiş olan saplamaların ankrajında kullanılan dolgu maddelerinin yeterince sertleşmiş olması istenir. Çünkü kazı çevresinde oluşan yüksek gerilmeler saplamalara ancak yüksek dayanım özelliklerine sahip dolgu maddeleri ile aktarılabilir. Bu amaçla 12 mm çap ve 24,2 cm boyundaki saplama 22 mm çapındaki deliklere s/ç oranı 0,40 olan dolgu maddesi ile ankre edilmiş ve 1,3, 5, 7, 14, ve 21 günlük kür süreleri sonunda saplama koparılıncaya kadar çekilmiş ve eş zamanlı olarak dolgu özellikleri de tespit edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 5 ve Şekil 10' da verilmektedir.

Çizelge 3. Ankraj Dolgusundaki Su/Çimento Oranının Dolgu Dayanımları ve Saplama Yenilme Yüküne Etkisi ($A_b = 102$ cm²).

Su/Çim.	q_d (kg/cm ²)	x_d (kg/cm ²)	P_b (kg)
0,34	420	119	8090
0,36	389	113	7900
0,38	333	107	7740
0,40	320	103	7530

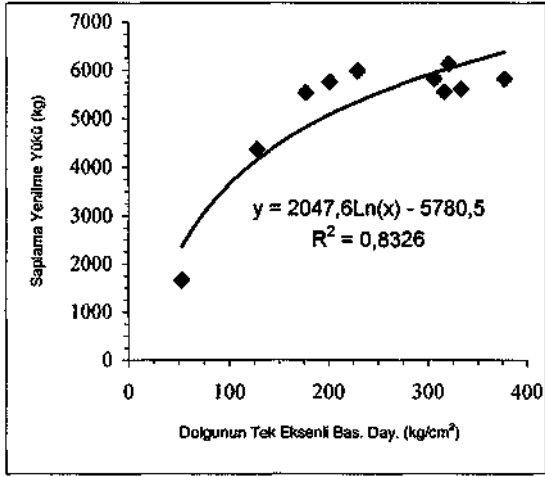


Şekil 7. Su/Çimento oranının Saplama yenilme yüküne etkisi.

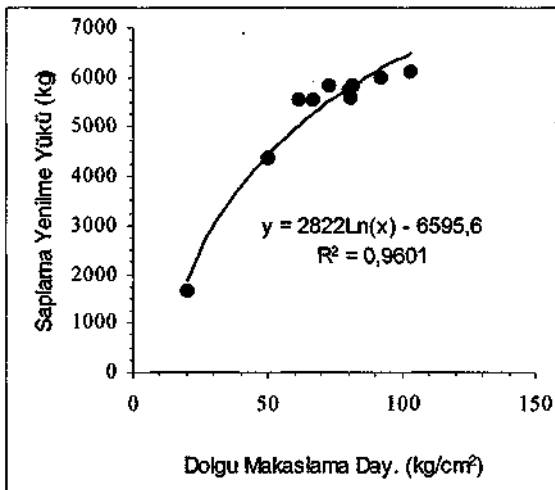
Çizelge 4. Ankraj Dolgusunun Mekanik Özelliklerinin Saplama Yenilme Yüküne Etkisi.

Dolgu Türü	Dolgunun Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Dolgunun Makaslama Dayanımı (kg/cm ²)	Saplama Yenilme Yükü (kg)
S/Ç = 0,40*	53	20	1653
S/Ç = 0,40°	128	50	4375
S/Ç = 0,40**	177	62	5528
S/Ç = 0,40°	201	80	5759
S/Ç = 0,40***	229	92	5984
S/Ç = 0,40*** ⁽¹⁾	320	103	6125
%10 Kumlu ^(W)	316	67	5545
%5 Küllü ^(*M)	306	73	5815
felOKüllüT ^{*5}	333	81	5601
Beyaz Çim. ^(***)	377	82	5815

Kür Süresi: * 1 gün; ° 3 gün; ** 5 gün; *** 14 gün; ⁽¹⁾ 21 gün; ^(W) 21 gün; ^(*M) 7 gün;



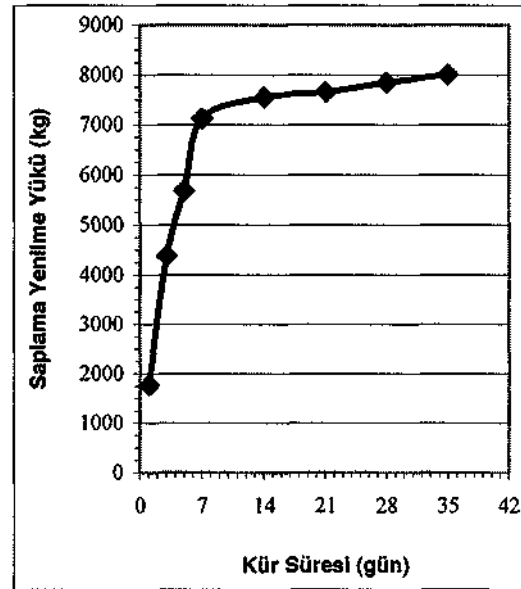
Şekil 8. Dolgunun tek eksenli basınç dayanımının saplama yenilme yüküne etkisi.



Şekil 9. Dolgunun makaslama dayanımı ile saplama yenilme yükü arasındaki ilişki.

Çizelge 5. Kür Süresinin Saplama Yenilme Yüküne Etkisi (S/Ç=0,40, d_b=12 mm; L_b=24,2 cm)

Kür Süresi (gün)	Yenilme Yükü (M)	Yapışma Direnci (kg/cm ²)
1	1764	19,4
3	4375	47,9
5	5683	62,2
7	7125	78,5
14	7548	83,6
21	7655	84,6
28	7846	86,6
35	8006	87,7



Şekil 10. Kür süresine bağlı olarak saplama yenilme yükünün değişimi.

3. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kaya saplamalarının taşıma kapasitesinin artırılmasında saplama çapı oldukça önemlidir. Çizelge 1, Şekil 3 ve Şekil 4' ten de görülebileceği gibi saplama çapı arttıkça saplamanın koparılabilmesi için gerekli yük de artmaktadır. Ayrıca, saplama çapının artışı saplamanın yapışma yüzey alanım da arttırdığından saplama dayanımındaki artış saplama yapışma alanının artışından da izlenebilir. Saplama çapındaki % 40 artış, yenilme yükünde % 37'lik ve çaptaki % 80' lik artış, yenilme yükünde % 88'lik bir artış sağlamıştır. Dolayısıyla saplama çapındaki artış ile yenilme yükündeki artış doğrusaldır.

. Saplama boyunda meydana gelen artış, saplama yenilme yükünü arttırmakta olup Şekil 6' dan da görülebileceği gibi bu artış da doğrusaldır. Ancak, saplama taşıma kapasitesi hiçbir durumda, malzemenin kopma dayanımını aşamaz.

. Kazı çevresinde oluşan gerilmeleri kaya saplamasına aktaran ankraj dolgusunun (harç) hazırlanması sırasında çimentonun hidrasyonunu sağlayan suyun çimentoya oranı oldukça önemlidir. 0,34' ten daha az s/ç oranında dolgunun işlenebilirliği zorlaşmakta ve 0,40' dan daha yüksek s/ç oranlarında ise işlenebilirliğin kolaylaşmasına karşılık dolgu direnci düşmekte, fazla büzülme (rötre) nedeni ile çatlamlar oluşmaktadır.

. Çizelge 4, Şekil 8 ve Şekil 9' dan da görülebileceği gibi dolgunun mekanik özelliklerinde meydana gelen değişim saplama dayanımını da etkilemektedir. Ancak, bu ilişki logaritmik bir ilişkidir. Ayrıca, dolgu-dayanım ilişkisinde dolgunun tek eksenli basınç direncine oranla makaslama direncinin daha doğru bir ilişki verdiği görülmektedir.

. Şekil 10' dan görülebileceği gibi çimento dolgulu kaya saplamaları yerleştirilmelerinin ardından 7 gün sonra dayanımlarının büyük bir kısmına ulaşabilmektedirler.

4. SONUÇLAR

Dolgu ve saplama özelliklerinin kaya saplamalarının taşıma kapasitelerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile yapılan laboratuvar çalışmalarından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Kaya saplamalarının çapı ve boyu arttıkça saplamaların taşıma kapasiteleri artmaktadır. Saplama ve kaya kütlesi arasındaki bağlantıyı sağlayan dolgu malzemesinin mekanik özellikleri arttıkça saplamaların taşıma kapasiteleri artmaktadır. Özellikle dolgu malzemesinin makaslama direnci ile saplamanın taşıma kapasitesi arasında yakın bir ilişki olup, bu ilişki logaritmiktir.

Kür süresinin artması ile dolgu maddesi sertleşerek mekanik özelliklerinde artışlar olduğundan ve bu artışlar da saplama kapasitesini etkilediğinden zamanla saplama kapasitesi de artmaktadır. Kazı hızı ve tahkimat elemanı yerleştirme zamanı belirlenirken bu sürenin göz önünde tutulması oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

Aldorf J., Exner K., 1986. "Mine Openings: Stability and Support", Elsevier, Oxford, Amsterdam, Tokyo.

Chappell B. A., 1989; "Rock Bolts and Shear Stiffness in Jointed Rock Mass", Journal of Geotechnical Eng., Cilt 115, sayı. 2.

Cybulski J. A., Mazzoni R. A; 1989; "Roof Support Systems Continue to Evolve", 12* Annual Institute on Coal Mining Healthy, Safety and Research. Blacksburg, Virginia, s. 147-158.

Franklin J. A., Dusseault M. B., 1989; "Rock Engineering", Mc Graw-Hill Publishing Company. New York.

Hoek E., Wood D. F., 1989; "Rock Support",. Mining Magazine, s.282-287.

Hyett A.J., Bawden W.F. and Reichert R.D., 1992; "The Effect of Rock Mass Confinement on

the Bond Strength of Fully Grouted Cable Bolts", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abst.*, Cilt 29, Sayı 5, s.503-524

Indraratna B., Kaiser P. K., 1990; "Design for Grouted Rock Bolts Based on the Convergence Control Method", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.& Geomech. Abst.*, Cilt 27, Sayı 4., s. 269-28L

Ito, F., Nakahara F., Kawano R. Kang S. and Obara Y., 2001; "Visualisation of Failure in a Pull-out of Cable Bolts Using X-Ray CT", *Construction and Building materials*, Cilt 15, s.263-270.

Kaiser P. K., Yazici S., and Nose J., 1992; "Effect of Stress Change on the Bond Strength of Fully Grouted Cables", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.& Geomech. Abst.*, Cilt 29, s.293-305.

Littlejohn G. S., Bruce D. A., 1975; "Rock Anchors- State of the Art, Part 1: Design", *Ground Engineering*, s.25-48.

Panek L. A., McCormick J. A., 1973; "Roof/rock Bolting", *SME. Mining Eng. Handbook I*, 13-125 /13-135, New York.

Reichert R.D, Bawden W.F. and Hyett A.J., 1991; "Evaluation of Design Bolt Bond Strength for Fully Grouted Bolt", 93rd Annual Meeting of CIM, Vancouver.

Stülborg, B., 1984; "Experimental Investigation of Steel Cables for Rock Reinforcement in Hard Rock", *Doctoral Thesis. 33 D*, Lulea University, Sweden.