

DOLGU ÖZELLİKLERİNİN KAYA BULONU TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİSİ

THE EFFECTS OF GROUT PROPERTIES TO THE BOLT CAPACITY

A. KILIÇ

Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

M. ANIL

Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET: Çimento dolgulu - nervürlü kaya bulonları modern tünel açma uygulamalarında kullanımı giderek artan birincil bir sağlamlaştırma elemanıdır. Bulonların taşıma kapasitelerine etki eden faktörler; bulon malzemesi ile ilgili faktörler, dolgu (grout) malzemesi ile ilgili faktörler ve kaya ile ilgili faktörler olup, bu çalışmada bulon taşıma kapasitesini etkileyen faktörler incelenmiştir. Dolgu malzemesi olarak kullanılan çimento içerisine % 4'e kadar kum veya uçucu kül ilavesinin bulon taşıma kapasitesini arttırdığı görülmüştür. Ayrıca; kayacın mekanik özelliklerindeki artışa paralel olarak bulon kapasitesinin de arttığı belirlenmiştir. Yine kayaçların mekanik özelliklerindeki artışa veya gözeneklilik oranlarındaki artışa bağlı olarak delik çapı/bulon çapı oranının azalması gerektiği tesbit edilmiştir.

ABSTRACT: Cement grouted rockbolts are a primary reinforcement element in modern tunnelling applications. In this study, factors affecting bolt capacity have been investigated. These factors are properties of bolt material, properties of grout material and properties of rock material. When 4% sand and fly ash were added into cement which is used as grouting material pull-out resistance has increased. It has been observed that an increase in mechanical properties of rock has increased bolt capacity. It has also been determined that an increase in mechanical properties and porosity of rock are needed to be decreased hole diameter/bolt diameter ratio.

1. GİRİŞ

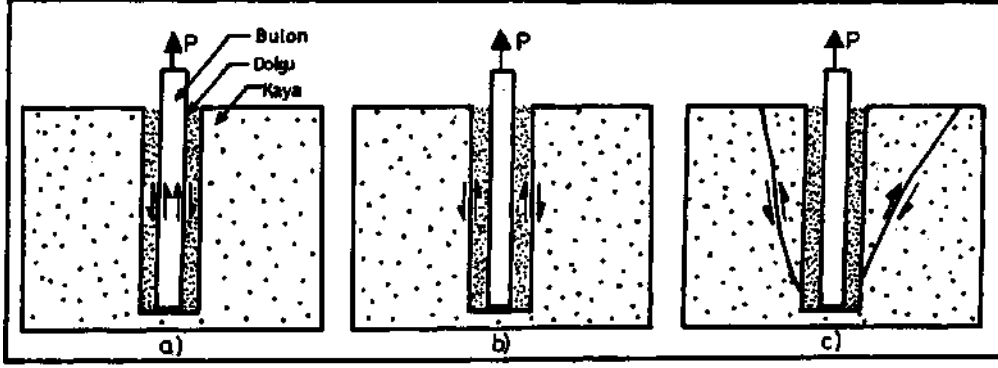
Kaya bulonu içi dolu veya boş şekilli çelik çubuktan mamul, kaya kütlesi içerisine ön gerilmeli veya ön gerilmemiş olarak yerleştirilen bir kaya sağlamlaştırma (tahkimat) elemanıdır (Stillborg, 1986). Her türlü bulonun yapımında kullanılan çelikler özel olarak imal edilir. Bulon çeliklerinin çekme mukavemetleri, emniyetli gerilme sınırları, uzama miktarları gibi mekanik özellikleri testlerden geçirilir.

Kaya bulonlarının kullanım amacı kaya kütlesinin yapısında var olan direnci korumak, bu direnci harekete geçirmek (Hoek ve Wood, 1988; Brady ve Brown, 1993), kaya kütlesinin dayanımını arttırmak ve deformasyonları sınırlandırmam (Akyol v.d.,1993), kaya tabakalarının kendi kendilerini desteklemesini sağlamak (Bieniawski, 1984), süreksizliklerle çevrilmiş kaya bloklarını birbirlerine bağlayarak veya ilave yanal gerilmeler uygulayarak kaya kütlesinin mekanik özelliklerini arttırmak (Wittaker ve Frith, 1990; Smith, 1993), madencilik faaliyetlerinin sürekliliğini sağlamak için açıklık boyutlarını muhafaza etmek ve çalışanların

emniyetini sağlamak (Singh v.d., 1983) ve kazı boşluğuna gelen yüklerin kazıyı çevreleyen kaya kütlesine taşılmasını sağlamaktır (Müller, 1987).

Çekme direnci (pull-out resistance) dolgu ankrajlı bir bulonun çekilerek kopartılabilmesi için gerekli olan ve birim uzunluğa düşen eksenel kuvvettir (MN/m bulon veya kg/cm bulon). Diğer yandan, bir bulonun yapışma direnci (bond strength) birim uzunluktaki yapışma yüzeyinin makaslama direnci olup, çekme dayanım kuvvetinin bulon yüzey alanına bölünmesi ile elde edilir. Bulon kapasitesi ise, bir bulonun çekilerek kopartılabilmesi için gerekli olan kuvvetin emniyet katsayısına bölünmesi ile elde edilen kuvvet değeridir. Şekil 1.1 de bulonların kopma şekilleri verilmektedir.

Pürüzsüz ve düzgün yüzeyli bulonlarda yapışma direnci bulon-dolgu ara yüzeyinde oluşan sürtünme ve yapışma (aderans) olayından kaynaklanır. Sürtünme mukavemeti ise bulona etkiyen radyal gerilmelerdeki artışa bağlı olarak doğru orantılı bir şekilde artar. Bu nedenle düzgün yüzeyli bulonların yapışma direnci . sürtünme katsayısı ve radyal



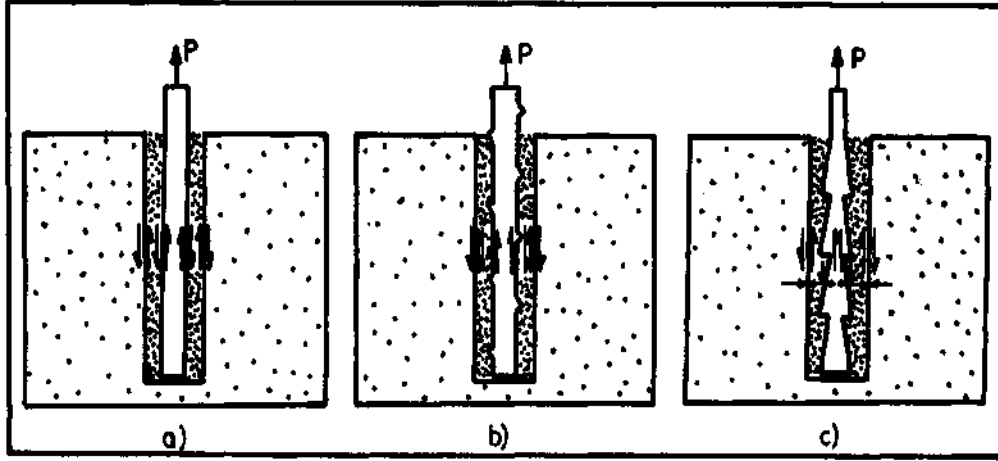
a) bulon - dolgu arası sıyrılma b) dolgu - delik yüzeyi arası sıyrılma c) kaya yenilmesi
Şekil 1.1. Bulon yenilme (kopma) mekanizmaları (Aydan ve Kawamoto, 1985).

gerilmenin bir fonksiyonudur (Yazıcı ve Kaiser, 1992). Şekil 1.2'de bulon kesit şekline bağlı olarak bulon yenilme türleri verilmektedir.

sürtünme kuvvetini hem de nervür çevresine bağlı dolgu kesit alanının makaslama direncini yenmek zorundadır.

Halka şeklinde nervürlere sahip bulonlar çekilmeleri sırasında hem bulon-dolgu arasındaki

Kesik koni şeklinde nervürlere sahip bulonlar ise çekilmeleri sırasında dolguyu çevre kayasına doğru



a) düzgün yüzeyli bulon b) nervürlü bulon c) konik nervürlü bulon
Şekil 1.2. Bulon kesit şeklinin yenilme mekanizmasına etkileri.

sıkıştırdıkları ve kayada suni bir çevresel gerilme oluşturdukları için hem sürtünme hem makaslama ve hem de dolgunun basınç direncini yenmek zorundadırlar. Dolayısı ile kesik koni şeklindeki bulonlar en yüksek çekme direncine sahip bulonlardır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bulon kapasitesini etkileyen faktörler üç esas kısımda incelenebilir. Bunlardan ilki bulonun imal edildiği malzeme ile ilgili faktörler olup; malzemenin mekanik özellikleri, kesit şekli, kesit alanı, v.b. sayılabilir. İkinci faktör bulon ve kaya arasında yapışmayı sağlayan malzeme ile ilgili olup

(çimento dolgululu bulonlar için); su/çimento oranı, katkı maddeleri, kür süresi ve dolgu malzemesinin mekanik özellikleri sayılabilir. Üçüncüsü ise kaya ile ilgili faktörler olup; kayacın mekanik özellikleri, doku özellikleri, fiziksel özellikleri, eklemler, kırıklar, çatlaklar ve gözeneklilik sayılabilir. Diğer önemli bir faktör ise; delik çapının bulon çapına oranı veya dolgunun et kalınlığıdır.

Dolgu ile ilgili faktörlerin belirlenmesi amacıyla harçtaki su/çimento oranları değiştirilerek su/çimento oranının dolgu mukavemetine etkisi araştırılmıştır. Daha sonra su/çimento oranı sabit tutularak karışım içerisinde çimento ile orantılı olarak kum ve baca külü (uçucu kül) ilave edilmiş ve katkı maddelerinin bulon çekme direncine etkisi araştırılmıştır.

Kaya ile ilgili faktörlerin belirlenmesi amacı ile farklı özelliklere sahip yedi ayrı kaya türünde bulon çapı sabit (12 mm) kalmak şartıyla dört farklı çapta (20 mm; 22 mm; 24 mm ve 26 mm) delikler delinmiştir. Böylece farklı özelliklere sahip kayalarda farklı delik çapı/bulon çapı oranlarının bulon çekme direncine etkisi araştırılmıştır.

En uygun delik çapı/bulon çapı oranının belirlenmesinin ardından delik çapı/bulon çapı oranı sabit tutularak farklı katkı maddeleri içeren dolgu maddeleri için bulon çekme direncindeki değişim araştırılmış ve bu dolgu maddelerinin kür sürelerine bağlı olarak bulon çekme direncindeki değişim incelenmiştir. Böylece; maksimum çekme direncinin elde edilebileceği dolgu özellikleri belirlenmiştir.

3. KAYA VE DOLGU ÖZELLİKLERİNİN BULON TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİLERİ

3.1. Dolgu Özellikleri

Dolgululu kaya bulonları her hangi bir mekanik ankraj içermeyen delik boyunca dolgululu kaya bulonlarıdır. Bu tür bulonlarda ankraj bulonun bulunduğu delik içerisinde doldurulan reçine veya çimento harcının sağladığı yapışma ile elde edilir. Bu dolgular aynı zamanda bulonları korozyona karşı korur (Hamrin, 1990; Brady ve Brown, 1993).

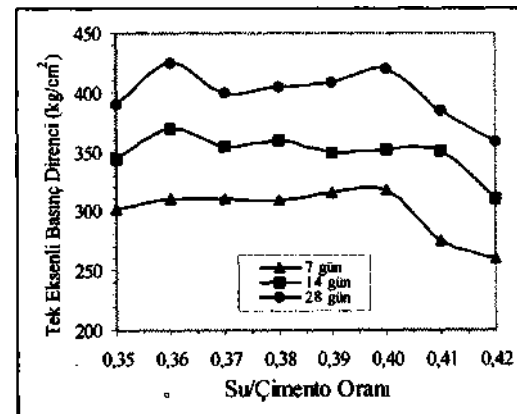
Reçine dolgular daha çok yerleştirilmelerinin ardından ön gerilmeye tabi tutulan bulonlarda kullanılır. Çimento dolgular ise yerleştirilmelerinin ardından ön gerilmeye tabi tutulmayan bulonlarda kullanılır. Çimento dolgular maliyetlerinin

ucuzluğu, kullanım alanlarının yaygınlığı, depolanabilirliği, kullanım için gerekli makine ve teçhizatın basitliği ve kalifiye işçilik gerektirmemesi gibi avantajlarından dolayı bir çok tünelde nervürlü kaya bulonlarının ankraj mda kullanılmaktadır. Her iki dolgu türü ile ankre edilen bulonlar hem geçici hem de nihai sağlamlaştırma önlemleri amacıyla her türlü kaya ortamlarında kullanılabilir (Stillborg, 1986; Franklin ve Dusseault, 1989). İlave ekipmanların kullanılmadığı durumlarda dolgunun deliğe yerleştirilebilmesi için delik meyil aşağı en az 15° açı ile delinmelidir. Tünel veya galerilerin tavan veya yan duvar üst kısımlarındaki deliklere harcın yerleştirilebilmesi ancak pompalar yardımıyla sağlanabilir.

Kaya bulonlarında kullanılan ankraj dolgularının yüksek mukavemete sahip olması, pompalanabilir olması ve belli bir kür süresine sahip olması gereklidir. Bu ise bir çok faktöre bağlıdır.

3.1.1. Su/Çimento Oranı

Su/çimento oranı çimento esaslı ankraj dolgularının mekanik özelliklerini etkileyen en önemli parametredir. Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1 den de görülebileceği gibi dolgu içerisindeki su miktarının çimento miktarına oranı azaldıkça dolgu harcının viskozitesi artmakta, pompalanabilirlik özelliği, tek eksenli basınç direnci ve elastisite modülü azalmaktadır. Buna karşılık su/çimento oranı 0,40 tan daha fazla olduğu takdirde pompalanabilirlik artmakta, ancak dolgunun mekanik özellikleri zayıflamaktadır. İdeal bir ankraj dolgusunda su/çimento oranı 0,36 - 0,40 arasında olmalıdır.



Şekil 3.1. Su/çimento oranına bağlı olarak ankraj dolgu direncindeki değişim.

Çizelge 3.1. Su/çimento oranına bağlı olarak ankraj dolgularının mekanik özelliklerindeki değişim.

Su/Çimento Oranı	Kür Süresi 7 gün		Kür Süresi 14 gün		Kür Süresi 28gün	
	ρ_c (kg/cm ³)	E (kg/cm ²)	ρ_c (kg/cm ³)	E (kg/cm ²)	ρ_c (kg/cm ³)	E (kg/cm ²)
0,35	302	60000	345	63200	390	65500
0,36	311	65000	370	68000	425	72200
0,37	310	55800	355	63500	400	65800
0,38	309	63600	360	65000	405	68000
0,39	315	54200	350	62000	408	60200
0,40	318	55000	352	60100	420	62500
0,41	276	43000	351	58000	385	55000
0,42	260	44000	311	55000	358	52000

3.1.2. Katkı Maddeleri ve Oranı

Ankraj dolgu harcının içerisine çeşitli amaçlara yönelik olarak kum, baca külü v.s. ilave edilir. Bu katkı maddeleri dolgu maddesinin mekanik özelliklerini, bulon yapışma direncini, kür süresini, pompalanabilme yeteneğini değiştirdiği gibi maliyeti de azaltabilir.

a) Kum/Çimento Oranı

Bu çalışmada ankraj dolgusu olarak kullanılan harc içerisine su/çimento oranı 0,40 olmak üzere farklı oranlarda lmm nin altına elenmiş ve yıkanmış %98 kuvars içeren kum ilave edilmiştir. Farklı oranlardaki kum ilavelerine bağlı olarak ankraj dolgularının mekanik özelliklerindeki değişim çizelge 3.2 de verilmektedir. Karışımda kullanılan kumun çimentoya oranı %2 olduğu durumda dolgunun tek eksenli basınç direnci ve elastisite modülünün arttığı, bu oranın %2 den daha fazla olduğu durumlarda tek eksenli basınç direnci ve elastisite modülünün azaldığı görülmüştür.

Çizelge 3.2. Kum/çimento oranına bağlı olarak dolgu mukavemetindeki değişim (Kür süresi: 7 gün)

Kum/Çimento Oranı (%)	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)
0	318+30	55200+2900
2	330±27	61700+3800
4	300+11	47000±9200
6	266+11	48600+4700

b) Kül/Çimento Oranı

Karışım içerisindeki kül/çimento oranı %2 - 3 mertebesinde tutulduğu takdirde dolgunun tek eksenli basınç direncinde önemli bir azalma görülmez. Çizelge 3.3 ten de gözlenebileceği gibi bu oran %4 ün üstüne çıktığında dolgu direnci azalmaya başlamaktadır. Karışım içerisinde külün varlığı karışımın akıcılığını, dolay ısı ile pompalanabilirliğini arttırmaktadır.

Çizelge 3.3. Kül/çimento oranına bağlı olarak dolgu mukavemetindeki değişim (Kür süresi: 7 gün)

Kül/Çimento Oranı (%)	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)
0	318+30	55200±2900
2	307±24	48800±7800
4	290±20	44100±6400
6	270+13	43000±3700

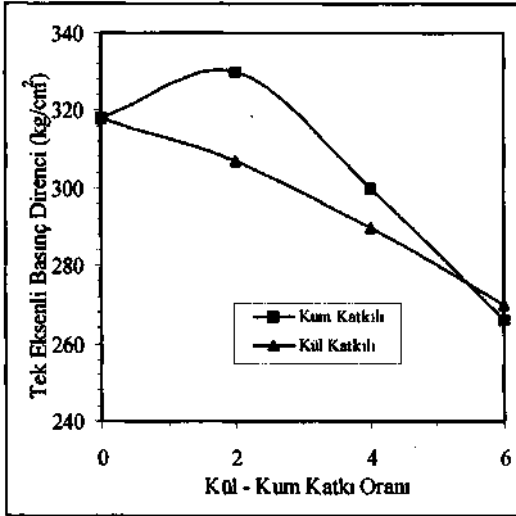
Su/çimento oranı (0,40) sabit olmak kaydıyla karışım içerisindeki farklı kum/çimento ve kül/çimento oranlarına bağlı olarak tek eksenli basınç direncindeki değişim şekil 3.3 te verilmektedir. Şekil 3.4 te farklı katkı maddeleri içeren ankraj dolgularına ait kür süresi - tek eksenli basınç direnci arasındaki ilişki verilmektedir.

3.3. Kaya Özellikleri ve Bulon Çekme Direnci

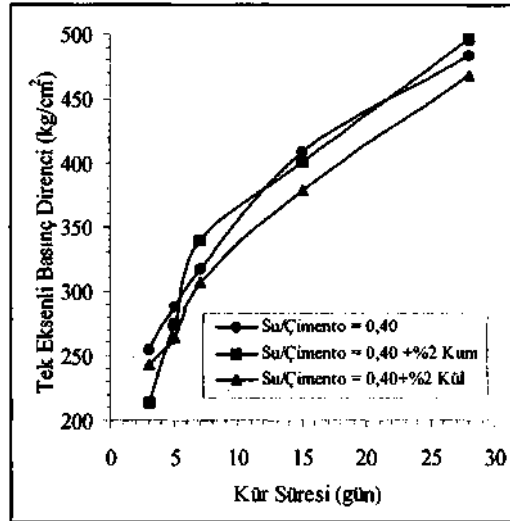
3.3.1. Delik Çapı/Bulon Çapı Oranı

Delik çapı/bulon çapı oranının belirlenmesi amacıyla 20 mm, 22 mm, 24 mm ve 26 mm çapındaki deliklere ortalama 20 cm boyunda ve 12 mm çapında nervürlü bulonlar (OAK=6200kg/cm²) yerleştirilmiştir. Çizelge 3.4 te farklı özelliklere

sahip kayalarda farklı delik çapı/bulon çapı oranına bağlı olarak bulon çekme dirençleri, bulon - kaya arasındaki sıyrılmamın şekli ve her bir kaya türü için elde edilen maksimum çekme direnci ve çekme direncinin hangi delik çapı/bulon çapı oranında sağlandığı verilmektedir. Şekil 3.5 te ise kayaların tek eksenli basınç direnci ile bulon çekme direnci arasındaki ilişki verilmektedir.

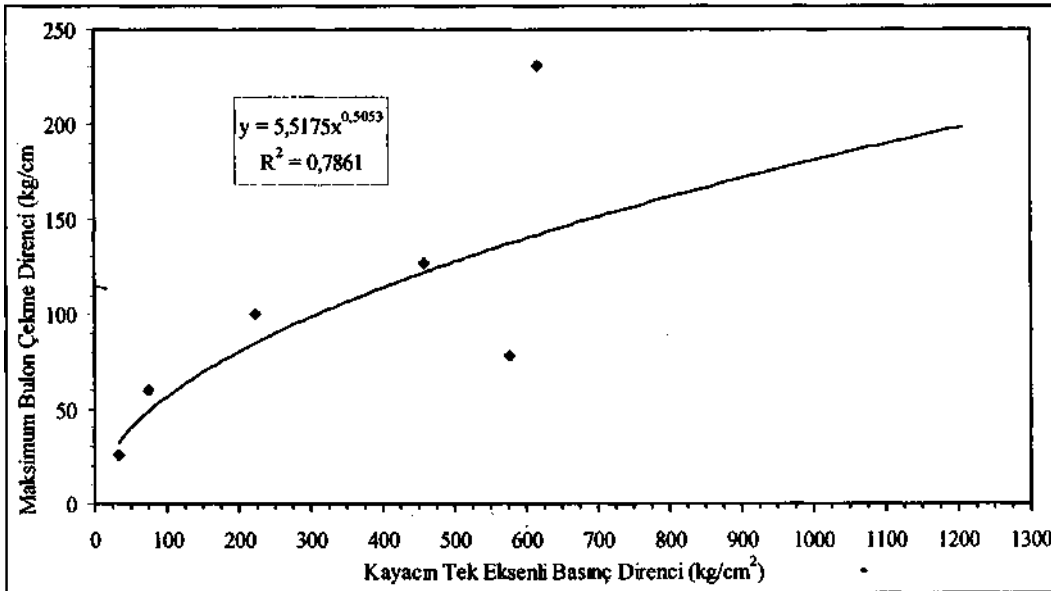


Şekil 3.3. Kum ve kül içeriğine bağlı olarak ankraj dolgularının tek eksenli basınç direncindeki değişim.



Şekil 3.4. Farklı katkı maddeleri içeren ankraj dolgularına ait kür süresi - tek eksenli basınç direnci ilişkisi.

Çizelge 3.4 ten de görülebileceği gibi zayıf kayalarda bulonların yerlerinden sıyrılmaması genellikle kayaç yenilmesi olarak ortaya çıkmaktadır. Delik çapının geniş tutulması dolayısıyla dolgu - kaya arasındaki dokanak yüzey alanının büyük olması daha yüksek bulon çekme dirençleri sağlamaktadır.



Şekil 3.5. Kayaların tek eksenli basınç dirençleri ile bulon çekme direnci arasındaki ilişki.

Çizelge 3.4. Farklı kayalarda farklı bulon çaplarına bağlı bulon çekme dirençleri (Kür süresi: 3 gün; Dolgu direnci: 255 kg/cm²; Su/çimento oranı: 0,40)

Kayaç Adı	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Delik Çapı/Bulon Çapı Oranı	Bulon Çekme Direnci (kg/cm)	Bulon Kopma Şekli	Max. Bulon Çekme Direnci (kg/cm)
Yumuşak Marn	33	1,67	23	Kaya Yenilmesi	26
		1,83	23	"	
		2,00	24	"	
		2,17	26	"	
Sert Marn	76	1,67	45	Dolgu - Kaya Arayüzeyi	60
		1,83	52	"	
		2,00	57	"	
		2,17	60	Kaya Yenilmesi	
Kumtaşı	222	1,67	50	Dolgu - Bulon Arayüzeyi	100
		1,83	51	"	
		2,00	64	"	
		2,17	100	"	
Silttaşı	459	1,67	71	Dolgu - Kaya Arayüzeyi	127
		1,83	63	"	
		2,00	83	Dolgu - Bulon Arayüzeyi	
		2,17	127	"	
Serpantin	577	1,67	64	Dolgu - Kaya Arayüzeyi	78
		1,83	62	"	
		2,00	78	Dolgu - Bulon Arayüzeyi	
		2,17	72	"	
Traverten	617	1,67	231	Dolgu Yenilmesi	231
		1,83	209	"	
		2,00	187	"	
		2,17	162	"	
Kuvars Kumtaşı	1207	1,67	178	Dolgu Yenilmesi	178
		1,83	164	"	
		2,00	145	"	
		2,17	136	"	

3.3.2. Katkı Maddelerinin Bulon Çekme Direncine Etkisi

Katkı maddeleri içeren ankraj dolgularının bulon çekme direncine etkisinin belirlenmesi amacıyla kuvars kumtaşında ($a_c=1207$ kg/cm²) delik çapı/bulon çapı oranı (1,67) sabit tutularak farklı özelliklerdeki dolgu maddeleriyle ankre edilen bulonlarda yapılan çekme testlerinin sonuçları çizelge 3.5 te verilmektedir.

Çizelge 3.5 ve çizelge 3.6 dan de görülebileceği gibi %2 - %3 ve %4 uçucu kül içeren ankraj dolguları ile %2 ve %4 kum içeren ankraj dolgularının sade çimento dolgulara oranla daha iyi ankraj sağladıkları belirlenmiştir. %2 kül içeren dolgularından elde edilen bulon çekme direnci sade çimento dolgularından elde edilen bulon çekme direncine göre %38 daha fazladır. Ancak, katkı

maddesi oranının %4 ten daha fazla olması durumunda bulon çekme direncinde ani düşmeler gözlenmektedir.

Çizelge 3.5. Dolgu maddesi içerisindeki kül oranına bağlı olarak bulon çekme direncindeki değişim (Kür süresi: 4 gün; Kayaç: Kuvars kumtaşı) Kılıç, 1997).

Dolgu Türü	Delik çapı/Bulon çapı	Bulon Çekme Direnci (kg/cm Bulon)
Çimento Su/çim.=0,40 (sade)	1,67	204 ± 3
Kül katkılı Su/çim=0,40+%2 kül	"	282 ± 6
Kül katkılı Su/çim=0,40+%3 kül	"	231 ± 3
Kül katkılı Su/çim=0,40+%4kül	"	206 ± 11
Kül katkılı Su/çim=0,40+%6 kül	"	154 ± 22

Çizelge 3.6. Dolgu maddesi içerisindeki kum oranına bağlı olarak bulon çekme direncindeki değişim (Kür süresi: 4 gün; Kayaç: Kuvars kumtaşı) (Kılıç, 1997).

Dolgu Türü	Delik çapı/ Bulon çapı	Bulon Çekme Direnci (kg/cm Bulon)
Çimento (sade) Su/çim.=0,40	1,67	204 ± 3
Kum katkılı Su/çim=0,40+%2kum	"	243 ± 20
Kum katkılı Su/çim=0,40+%4kum	"	223 ± 18
Kum katkılı Su/çim=0,40+%6 kum	"	148 ± 12

3.3.3. Kür Süresinin Bulon Çekme Direncine Etkisi

Hangi tür dolgu maddesi ile ankre edilirse edilsin kür süresindeki artışa bağlı olarak bulon çekme direnci artmaktadır. Çizelge 3.7 de sade çimento ve su karışımından elde edilen ankraj dolgusu ile tesis edilen bulonların kür süresine bağlı olarak bulon çekme dirençleri verilmektedir.

Çizelge 3.7. Kür süresine bağlı olarak bulon çekme direncindeki değişim (Kayaç: Kuvars kumtaşı; Delik çapı/bulon çapı = 1,67).

Kür Süresi (gün)	Dolgu Direnci (kg/cm ²)	Bulon Çekme Direnci (kg/cm)
3	255	178 ± 11
4	270	204 ± 3
15	409	235 ± 12

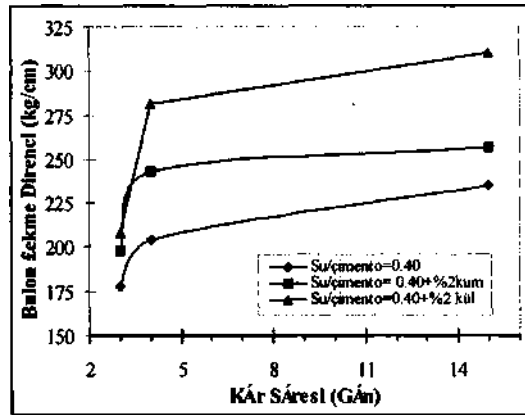
Çizelge 3.8 ve çizelge 3.9 da sırasıyla %2 kül katkılı ve %2 kum katkılı ankraj dolguları ile tesis edilen bulonların kür süresine bağlı olarak bulon çekme dirençleri verilmektedir. Şekil 3.6 da ise kür süresi - katkı maddesi oranı ve bulon çekme direnci arasındaki ilişki verilmektedir.

Çizelge 3.8. Su/çimento oranı 0,40 +%2 kül olan ankraj dolgusu ile tesis edilen bulonların kür süresine bağlı bulon çekme dirençleri.

Kür Süresi (gün)	Dolgu Direnci (kg/cm ²)	Bulon Çekme Direnci (kg/cm)
3	243	208 ± 13
4	254	282 ± 6
15	379	310 ± 18

Çizelge 3.9. Su/çimento oranı 0,40 +%2 kum olan ankraj dolgusu ile tesis edilen bulonların kür süresine bağlı bulon çekme dirençleri.

Kür Süresi (gün)	Dolgu Direnci (kg/cm ²)	Bulon Çekme Direnci (kg/cm)
3	214	198 ± 16
4	245	243 ± 20
15	401	257 ± 20



Şekil 3.6. Farklı özelliklere sahip dolgular için kür süresi - bulon çekme direnci arasındaki ilişki.

4. SONUÇLAR

1. Uygulanan aksel gerilmeler nedeniyle boylarında oluşan uzamaya bağlı olarak çaplarında oluşan daralmadan dolayı çimento dolgu içerisinde kolayca sınırlanabildikleri için düzgün yüzeyli bulonlar çimento dolgularla birlikte kullanılmamalıdır.

2. Bulonların ankrajında kullanılan çimento dolgu içerisine %3 - 4 mertebesinde uçucu kül veya 1 mm nin altına elenmiş temiz kum ilavesi bulon çekme direncinde hissedilir artışlara neden olmaktadır. %2 kül ilaveli çimento dolgularla tesis edilen bulonların çekme dirençleri sade çimento dolgularla tesis edilen bulonların çekme dirençlerine kıyasla %38, %2 kum ilaveli çimento dolgularla tesis edilen bulonların dirençleri ise sade çimento dolgularla tesis edilen bulonlara kıyasla %19 daha fazladır.

3. Genel olarak mekanik özellikleri yüksek olan kayalarda tesis edilen bulonların çekme dirençleri de yüksektir. Ancak, kayaların gözenekli veya ince taneli ve gözeneksiz olmaları da bulon çekme dirençlerini etkilemektedir. Gözenekli kayalarda

daha yüksek bulon çekme dirençleri elde edilirken ince taneli ve gözeneksiz kayalarda bu direnç azalmaktadır.

4. Zayıf kayalar ile ince taneli kayalarda bulon yenilmeleri dolgu- delik yüzeyi arasındaki sıyrılmadan kaynaklandığı için delik çapı/bulon çapı oranının artırılması (daha geniş çaplı deliklerin delinmesi) ile daha yüksek bulon çekme dirençleri elde edilebilir.

5. Bulon çekme testlerinden de görülmüştür ki; minimum bulon çekme direnci yenilmenin dolgu- delik arayüzeyinin sıyrılması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bulonun dolguya zarar vermeden dolgu içerisinden sıyrılması durumunda da bulon çekme dirençleri düşmektedir. En iyi sonuçlar bulon çekme sırasında dolgunun yenilmesi durumunda elde edilebilmektedir. Bu ise mekanik, jeolojik, petrografik ve fiziksel özellikleri farklı olan kayalarda farklı delik çapı/bulon çapı oranı kullanmakla sağlanabilmektedir. Bu nedenle, her hangi bir kazı boşluğunun sağlamaştırılmasında kullanılacak bulonların yerleştirilecekleri deliklerin çapı aynı kayaç özelliklerini taşıyan pilot bir bölgede yapılacak çalışmalarla belirlenmeli ve maksimum bulon direncinin elde edildiği delik çapı esas alınmalıdır.

KAYNAKLAR

Akyol, E.; Reddish, D.J. and Whittaker, B.N. 1993. *Recent Development in Rock Reinforcement Applied to Longwall Mining Operations*. Assessment and Prevention of Failure in Rock Engineering (G. PAŞAMEHMETOĞLU v.d. Eds.). Balkema, Rotterdam. S. 669 - 675.

Aydan, Ö. ve Kawamoto, T. 1985. *Kaya Civatalarının Kapasitesi ile İçinde ve Civarında Oluşan Gerilme Dağılımları*. TMMOB. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi. Mayıs (1985). Ankara. S. 253 - 267.

Bieniawski, Z.T. 1984. *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling*. A. A. Balkema.

Brady, B.G.H. and Brown, E.T. 1993. *Rock Mechanics for Underground Mining*.

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

Hamrin, H. 1990. *Rock Bolting*. World Mining Engineering Equipment. April, pp.19 - 22

Hoek, E. and Wood, D.F. 1988. *Rock Support*. Mining Magazine. Oct. pp 282 - 287.

Kılıç, A. 1997. *Tarsus Ayrımı - Adana - Gaziantep (TAG) Otoyolu Bahçe Yöresindeki Tünellerin Kaya Sınıflamaları ve Kaya Bulonlarıyla Desteklenmesi*. Doktora Tezi. Ç.Ü. Fen Bil. Ens. Adana.

Müller, S. 1987. *Austrian Road Tunnel Supported by Water - Expanded Bolts*. Tunnels and Tunnelling. March, pp.35 - 36.

Singh, R.N.; Buddery, P.S. and Wells, B.T. 1983. *Geotechnical Investigation and Appraisal of Ground Control Practice for Roof Support Design*. 1st. Int. Conf. on Stability in Underground Mining (CO. BROWNER Ed.). pp 396 - 427. Vancouver.

Smith, W.C. 1993. *Roof Control Strategies for Underground Coal Mines*. Bureau Mines Information Circular.

Stillborg, B. 1986. *Professional Users Handbook for Rock Bolting*. Series on Rock Bolting and Soil Mechanics. Vol. 15.

Whittaker, B.N. and Frith, R.C. 1990. *Tunnelling. Design, Stability and Constuctions*. IMM. London.

Yazıcı, S. and Kaiser, P.K. 1992. *Bond Strength of Grouted Cable Bolts*. Int. J. Rock Mech. Min. Sei. and Geomech. Abstr. pp. 279 - 292.