

**SEDİMANTER ZAYIF KAYA KÜTLESİNDE REÇİNELİ HALAT SAPLAMALARIN UYGULAMA
PARAMETRELERİNİN ÇEKME DAYANIMINA ETKİSİ**
*THE INFLUENCE OF APPLICATION PARAMETERS ON PULL-OUT STRENGTH OF RESIN GROUTED CABLE
BOLTS IN WEAK SEDIMENTARY ROCK MASS*

O. Kutay², İ.F. Öge^{1,*}, C. Tuz², A. Erel², E. Kahraman²

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

(*Sorumlu yazar: feridoge@mu.edu.tr)

²Polyak Eynez Enerji Üretim Madencilik A.Ş.

ÖZET

Madencilik faaliyetlerinde etkin olarak kullanılan halat saplamalar, ülkemizde yeraltı kömür işletmelerinde de yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde yoğun kömür madenciliği faaliyeti gerçekleştirilen sedimanter birimlerde halat saplamaların performansı ile ilgili bilgiler sunmak önem kazanmaktadır. Zayıf sedimanter kaya kütlesi içerisinde reçineli halat saplama çekme testleri gerçekleştirilmiş ve halat saplamanın kaya yüzeyine olan eğiminin, enjeksiyonlu uzunluğun ve delik çapının çekme dayanımına olan etkisi araştırılmıştır. Halat saplama yerleştirme eğimi kesme kuvvetlerinin oluşmasına yol açacaktır ve bunun halat saplama performansı üzerinde ciddi bir olumsuz etkisi olmadığı görülmüştür. Enjeksiyonlu veya reçineli uzunluk arttıkça çekme dayanımında paralel ilişki gözlemlenmiştir. Delik çapının arttırılması ise enjeksiyonlu uzunluk sabit tutulduğunda daha fazla reçine sarfiyatına yol açarken çekme yükünde performans artışına yol açmıştır.

Anahtar Sözcükler: Halat saplama, reçineli saplama, saplama çekme testi, tahkimat.

ABSTRACT

Cable bolts which are efficiently used in mining operations, have become widespread in local underground coal mines. Presentation of information about the cable bolt performance in sedimentary units encountered in local underground coal mines come into prominence. The pull-out tests on resin grouted cable bolts are carried out on site within a weak sedimentary rock. The influence of the inclination of the cable bolt with respect to the rock surface, grouted length, and borehole diameter on the pull-out strength are investigated. A negative influence due to the shear force induced by the deflection of the bolt installation on the performance of the cable bolt, is observed to be insignificant. The borehole diameter is increased while keeping the bonded length constant, consequently, it leads to an increase in resin consumption in parallel with the improved pull-out performance.

Keywords: Cable bolt, resin grouted bolt, bolt pull-out test, ground support.

GİRİŞ

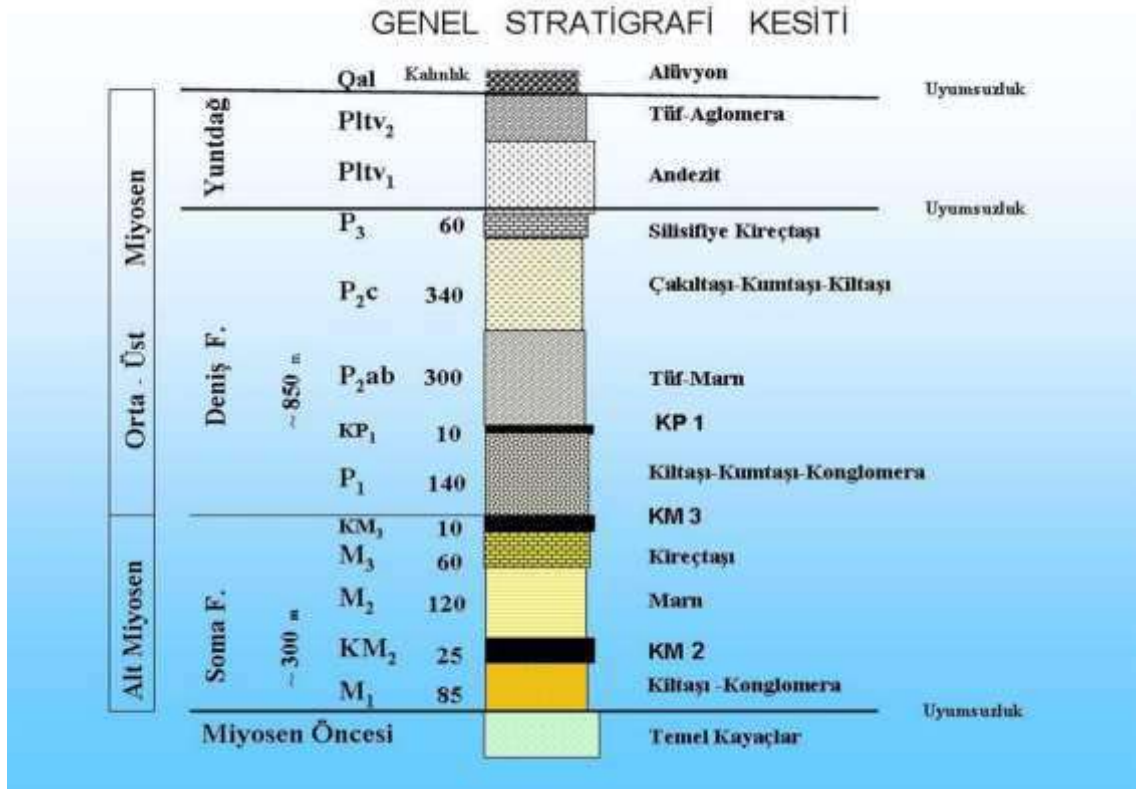
Yeraltı açıklıklarının desteklenmesinde kaya saplamaları veya bulonlar yaygın şekilde kullanılmaktadır. Farklı zemin koşullarına, uygulama koşullarına, mühendislik problemine göre çok çeşitli kaya saplamaları geliştirilmiştir. Zemine sabitleme yöntemine, saplamanın malzemesine, şekline göre sınıflanabilmekte ayrıca birkaç farklı temel kaya saplaması çeşidinin bir arada kullanılması ile elde edilen saplamalar da üretilmektedir. Kaya kütlesine mekanik ankraj veya enjeksiyon ile (çimento şerbeti, reçine kartuşu, poliüretan, poliüre vb.) bağlanabileceği gibi, sürtünme kuvvetinden de yararlanılabilir (split-set veya şişen sürtünmeli saplama). Saplamaları, nervürlü inşaat demiri, fiberglass, çelik halat, içi delik çelik

çubuk gibi üretildikleri malzemelere göre de sınıflamak mümkün olabilir (Hoek, 2007). Hem mekanik hem enjeksiyonlu, kendinden delen sürtünmeli kaya saplamaları mevcuttur. Ayrıca saplamalar enjeksiyonlama yöntemine göre (reçine kartuşu, hortum iletimi şekli, PG, SN bulon, basınçlı enjeksiyonlama) ayrılabilir, (Hutchinson ve Diederichs, 1996). Halat saplamalar uygun maliyetlerine ilaveten yeraltı açıklığının boyutuna oranla daha uzun saplamaların uygulanabilmesini sağlamaktadır. Bu sorun aynı zamanda manşon vasıtası ile birbirine eklenen parçalardan oluşan kaya saplamalarının kullanılması ile de çözülebilir. Ayrıca, halat saplamalar tekli veya çoklu olarak kullanılarak kapasiteleri arttırılabildiği gibi kuş kafesi gibi genişleyen kısımlar veya merkezleyiciler oluşturulabilmekte çeşitli sarım tip ve kapasitelerde üretilebilmektedirler (Hutchinson ve Diederichs, 1996). Kaya saplamaları ayrıca kalıcı veya geçici destek unsuru olarak kullanıldıklarında özellikle korozyona karşı alınan önlemlerde değişiklik olabilmektedir.

Bu çalışmada ise sadece düz ve 15.24mm çapta, en az 230kN kopma yüküne dayanan, reçine enjeksiyonlu halat saplamalar konu edilmiştir. 10 adet halat saplamasının Soma kömür havzasında bir desandrede çekme testi uygulanarak delik çapı, bağlı (enjeksiyonlu) uzunluk ve yerleştirme açısına göre çekme dayanımının incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın yapıldığı işletmede halat saplama etkin şekilde kullanılmakta olup, bildiri hazırlanırken 4600 metre uzunlukta yeraltı açıklığı sürülmüş ve bunun 3900 metre uzunluğundaki kısmında halat saplama uygulaması yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir.

ÇALIŞMA ALANI

Halat saplama testler Soma Kömür havzasında henüz hazırlık aşamasında yer alan Polyak Eyzek yeraltı işletmesinde uygulanmıştır. Soma bölgesi jeolojisi ile ilgili çalışmalar mevcuttur (İnci, 1998). Çalışmada gerçekleştirilen halat saplama çekme testleri havzadaki genel stratigrafide de görülebilen P2ab ve P1 birimlerinde yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Soma kömür havzasında genel stratigrafisi (ELİ, 2018)

Kazı yüzeyinde/aynada jeolojik birimler incelendiğinde slump yapısı olarak öngörülen kıvrımlanmalar, laminalı veya bantlı kilttaş-silttaş-marn aralanmalarına rastlanmaktadır, (Tüysüz ve Genç, 2014). Yer yer yapısal olarak düzgün ve az süreksizlik içeren marn birimleri stabiliteyi arttırırken, sık tabakalanma aralığı ile kil taşları, kalın ve zayıf kilttaş bantları, 400-700m gibi örtü kalınlığı olduğu durumlarda sıkışan/baskılı kaya kütleleri koşulları doğurabilmektedir. Kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımının (σ_{ci}) düşük olduğu geçişler, kıvrımların, ince bant, tabaka kalınlıkları ve laminalanma, yapraksı yapıdaki kaya kütlelerinin olduğu bölgeler tünelticilik açısından zorluk doğuran bölgeler olarak ortaya çıkmaktadır. Yer yer masif volkanik sokulumlar, dayanımı yüksek diğer sedimanter kaya birimleri, özellikle yapısal olarak da iyi durumda olduğunda (az süreksizlik sayısı ve iyi süreksizlik yüzey kalitesi) zemin daha duraylı duruma gelmektedir.

RMR (Bieniawski, 1989) ve Q-Sistemi (Barton, vd., 1974) kaya kütle sınıflama sistemleri olup GSI (Jeolojik Dayanım İndisi), (Hoek, 2007) kütlelerin sadece yapısal ve süreksizlikler açısından kalitesini göstermektedir. GSI, kaya kütle dayanım ve deformabilite parametrelerinin kestiriminde kullanılmakta olup, burada kaya kütlelerinin kalitesi hakkında fikir vermesi için kullanılmıştır. Aşağıdaki değerler (Çizelge 1) desandre sürülürken aynadan elde edilmiş aynı zamanda desandre için yapılmış olan çok sayıda sondaj, geoteknik log ve laboratuvar deneyinden yararlanılmıştır. σ_{ci} , tek eksenli basınç dayanımı değerini temsil etmektedir. Yeraltı suyu durumu için yer yer nemli veya ince sızıntı şeklinde iken, kaya birimlerinde suya karşı hassasiyet bulunduğunu belirtmek gerekir.

Çizelge 1. Halat saplama çekme testleri lokasyonlarına ait değer aralıkları

Deney yeri (m)	Deney adeti	Derinlik (m)	RMR _{89adj}	Q-Sistemi	GSI	σ_{ci} (MPa)
1+112	2	330	37-49	0.333-1.167	50-70	5-12
1+860	2	550	28-45	0.056-0.222	20-50	5-50
3+201	3	750	29-37	0.049-0.111	32-50	5-20
3+204	2	750	29-37	0.049-0.111	32-50	5-20
3+263	1	750	29-37	0.049-0.111	32-50	5-30

Genel olarak test yapılan yerlerde düşük dayanımlı kaya birimleri mevcuttur. 1+112 ve 1+860 metrelerdeki test yerlerinde kilttaş bant veya tabakaları düşük dayanıma sahipken, marn içerikli kısımlar daha yüksek dayanım vermektedir. Bu iki metraj P2ab birimi içerisinde yer alır. 3+201-3+263 metreler arası P1 ve kısmen KP1 birimlerinde yer almaktadır. Kil-sittaşlarındaki karbonatlaşmaya dayalı olarak kaya malzemesinin dayanımı değişkenlik gösterebilmektedir.

HALAT SAPLAMA ÇEKME TESTLERİ

Deneyler 1+860m de yapılanlar hariç, 2018 senesi içerisinde yapılmıştır. Kaya kütlelerinin zayıf olması nedeni ile kriko kaya içerisine doğru hareket edebilmekte ve kriko üzerinden okuma yapılması yanıtıcı olabilmektedir. Halat saplamanın çekme testi esnasında yaptığı uzama, zaman zaman krikonun zemine doğru gömülmesi nedeni ile çekme krikosu üzerinden ölçülmemiş, yaptığı uzama krikoya belirli bir mesafede olan sabit noktalardan yapılmıştır ve ölçüm hassasiyeti ± 3 mm olarak verilmiştir. 1+860m deki çekme test sonuçları, daha önceki bir çalışmadan (Öge vd., 2017) elde edilmiştir ve bu iki deneyde uzama miktarı ölçülmemiş, geriye kalan 9 testte ölçüm yapılabilmektedir. Çekme testlerinde tipik 588kN kapasitede kriko kullanılarak uygulama yapılmıştır (Şekil 2). Halat saplamalar, 15.24 mm çapta, 6.3m uzunlukta ve kopma yükü en az 230 kN olacak şekilde seçilmiştir. Halat saplama delikleri, manuel olarak rotary (döner tip) basınçlı hava ile çalışan matkap ile delinmiştir. Bahsedilen kaya kütleleri koşullarında, 6m uzunluğunda deliğin delinmesi, yaklaşık olarak 15-25 dakika sürmektedir. Halat saplamanın yerleştirilmesi ve gerdirilmesi dahil, işlemin tamamlanması 40-60 dakika civarındadır. Bu işlemler, hortum ve pompa vasıtası ile enjeksiyon yapılacak olur ise iş sürelerinde değişiklikler olacaktır.

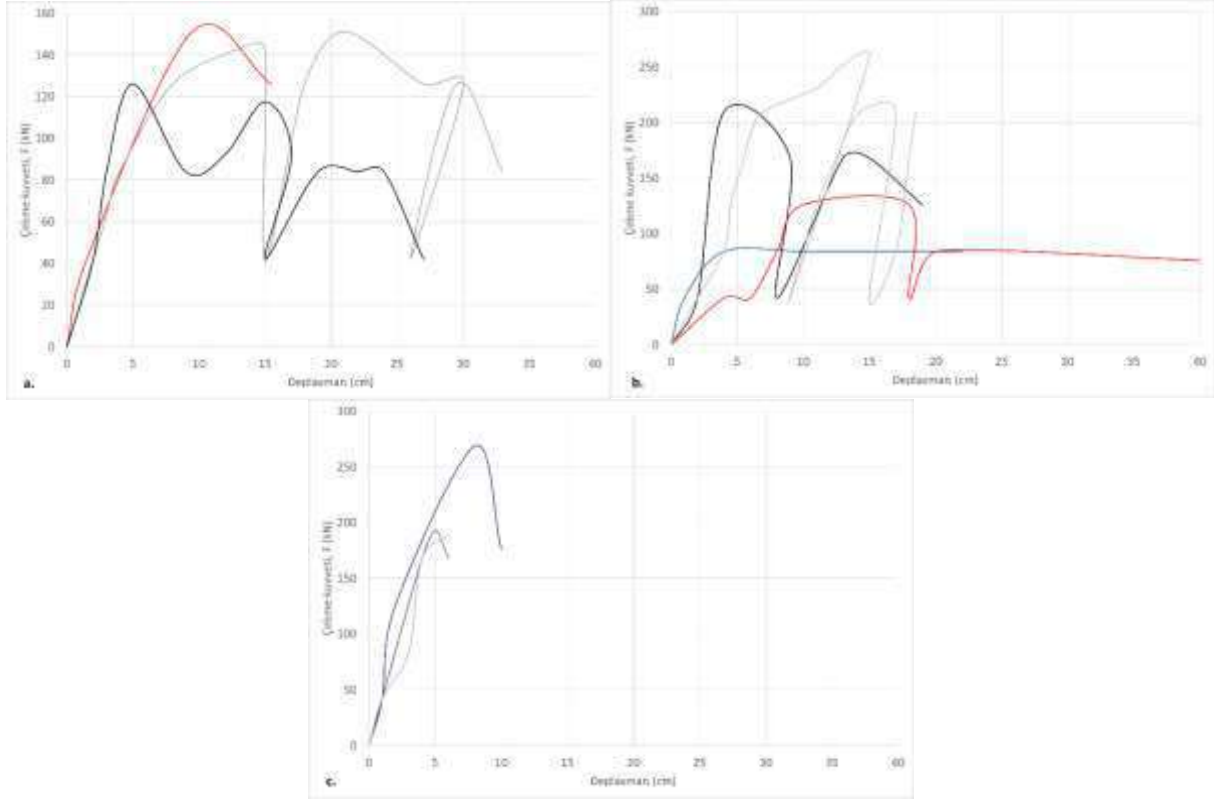


Şekil 2. Halat saplama için çekme krikosu

Çalışmaya konu edilen halat saplama çekme testlerinden 3 tanesi halatın kopması ile, diğer 8 tanesi ise reçine (enjeksiyon) kaya ara yüzünde oluşan kesme(makaslama) yenilmesi şeklinde sonlanmıştır. Bunların dışında kaya saptamaları veya halat saptamalarda görülebilecek yenilmeler şöyle sıralanabilir: enjeksiyon malzemesinin yenilmesi, saptama ile enjeksiyon malzemesi ara yüzünde yenilme, kaya saptaması etrafındaki kayanın yenilmesi. Çalışmadaki testlerin gerçekleştirildiği kaya kütleler RMR_{89adj} 28-49 aralığında, Q-Sistem puanı ise 0.049-0.333 aralığında yer alırken kısmen 1.167 gibi değerlere de rastlanabilmektedir. Aşırı derecede düşük kaya sınıfları olmasa da bulunan derinlik ve kaya malzemesinin dayanımının yer yer çok düşük olması nedeni ile deforme olabilen bir kaya kütlesi bulunmaktadır. Yeraltı açıklığı etrafının yüksek gerilme/dayanım oranı nedeni ile yenilmiş halde olacağı kabul edildiğinde, halat saptamaların zayıf bir zemine yerleştirildiği söylenebilir. Testlerin çoğunluğunun kaya-reçine ara yüzünden yenilmesi bu zayıf zemin koşulları ile açıklanabilir.

Halat saptamalara ait çekme yükü ve deplasman grafikleri Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3a ve b'de kaya-enjeksiyon ara yüzünden yenilen örneklerin sonuçları sunulurken, Şekil 3c'de kopan halat saptamalara ait grafikler verilmiştir. Çekme testlerinin, mümkün oldukça 30-40 kN civarında artık dayanım elde edilene kadar devam ettirilmesi hedeflenmiştir. Testte kullanılan hidrolik krikonun hareket payı bittiğinde tekrar hareket payı sıfırlanmıştır. Bu nedenle grafiklerde yükün düşmesi, sıkılanması ve tekrar yüklenmesi görülebilmektedir. Şekil 2a'da elastik geri kazanımın daha düşük olduğu örnek bulunmaktadır ve genellikle plastik deformasyonda çekme krikosunun hareketinin sıfırlandığı görülmektedir. Şekil 2b'de ise en yüksek çekme dayanımına sahip deney için yük boşaltma ve tekrar yükleme işleminin elastik davranış sergilediği ve deneyin, örnek yenilmeden sonlandırıldığı görülebilmektedir. Şekil 2c'de halat saptamaların sarmalları genellikle sıra ile kopmaktadır ve bir tanesinde delik ağzında kopma meydana gelmiştir. 6m uzunlukta halat saptamanın kopma uzamasının 21cm olması gerektiği göz önüne alındığında Şekil 2c deki deney sonuçlarının tekrar değerlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Deneyler gerçekleştirilirken halat saptamalar tipik olarak gerdirildikten sonra deneye başlanmaktadır. Burada gerdirme esnasında halat saptamaların bir miktar hareket ettiği ve bunun üzerine çekme krikosu ile hareket sağlandığı anlaşılmaktadır. Bazı halatların ise beklenti dışında değerlerde kopmaları ise yine Şekil 2c'de görülebilmektedir. Çelik halatlar işletme tarafından düzenli

olarak teste gönderildiği için, katalog değerlerinin altında kopan halatların idealin dışında asimetrik olarak yüklendiği, muhtemelen sıkırma takozunun yerleştirilmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Burada ilave olarak, halat saplamanın serbest uzunluğunun kısa kalması nedeni ile beklenenden daha düşük bir kopma uzaması sergilemesi ile beraber, yerleştirme açısının yarattığı kesme gerilmelerinin etkisinden de bahsedilebilir.



Şekil 3. Halat saplama testlerinin çekme yükü-deplasman grafikleri

Yenilme yüküne kadar, halat saplama sisteminin rijitlik katsayısının 15-50 MN/m olduğu görülebilmektedir. Bu gibi değerler çeşitli analitik hesaplama yöntemlerinde kullanılabilir ve benzer bir halat saplama uygulaması ve benzer kaya koşulları için bu parametreler dikkate alınabilir.

Genellikle sedimanter kaya birimlerinde 20mm çaplı kaya saplama ve reçine uygulaması ile enjeksiyonlu metre başına 300 – 600 kN (30–60 ton) çekme kapasitesi elde edilebildiği raporlanmıştır (Galvin, 2016). Bu değer 1100 kN/m değerine kadar da erişebilmektedir. Amasra bölgesinde karbonifer birimler içerisinde sürülen galerilerde, 22mm çap ve 2,35m uzunlukta kaya saplama testlerinde gerçekleştirildiği saplama çekme testlerinde 160 kN (~80kN/m) değerlerini raporlanmıştır (Soyer vd., 2013). Bu çalışmanın yürütüldüğü bölgede daha önce gerçekleştirilen çalışmaya göre kaya ve halat saplama testlerinde 60-180kN/m çekme değerleri tespit edilmiştir (Öge vd., 2017).

HALAT SAPLAMA ÇEKME DAYANIMININ UYGULAMA PARAMETRELERİ İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada halat çapı ve dayanımı sabit tutulmuş ve çift halat gibi bir uygulama yapılmamıştır. Reçineli halat saplama için değişkenler delik çapı, galeri duvarına ne kadar dik yerleştirildiği ve enjeksiyonlu (kaya ile bağlı kısım) uzunluktur. Reçine kartuşu ile enjeksiyonu yapılan halat veya kaya saplama testlerinde diğer bir değişken reçinedir. Bu çalışmada birbiri ile yaklaşık olarak aynı performansta iki farklı üreticinin reçine kartuşları kullanılmıştır.

Delik çapının, kaya saplaması veya halat saplama çapından 5-10mm arasında geniş olduğu durumda reçine karışımı başarılı şekilde sağlanacağı ve delik çapı arttıkça karışım kalitesinin olumsuz şekilde etkilenebileceği Ulrich, vd. (1989) tarafından belirtilmiştir. Bu konu 27, 28 ve 32 mm çapında deliklere halat saplama yerleştirilerek incelenmiştir. Kullanılan reçine kartuşu boyutlarına, sayısına ve delik çapı, halat çapı değerlerine göre enjeksiyonlu uzunluk (L_b) mm olarak aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$L_b = \frac{V_{reç}}{[\pi \times (D_{bh}^2 - D_{hs}^2)]} \quad (1)$$

Burada $V_{reç}$ reçine kartuşlarının mm^3 cinsinden hacmi, D_{bh} delik çapı (mm), D_{hs} saplama çapı (mm) olarak alınabilir. Enjeksiyonlu uzunluğun önemli rol oynayacağı düşünülerek, Doruk (F_p) ve artık çekme yükleri (F_r), L_b değerine bölünerek F_b/m ve F_r/m değerleri enjeksiyonlu metre uzunluk başına düşen çekme kuvvetini temsil etmektedir. Enjeksiyon malzemesi ile kaya yüzeyi arasındaki kesme (makaslama) dayanımı, τ_{gr} dikkate alınan bir diğer parametredir. Bu parametre adhezyon, bağlanma dayanımı veya tutunma dayanımı olarak da anılabilir ve MPa, kPa gibi gerilme birimleri ile ifade edilebilir. τ_{gr} değeri MPa cinsinden aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$\tau_{gr} = \frac{F_{gr} \times 1000}{\pi \times D_{bh} \times L_b} \quad (2)$$

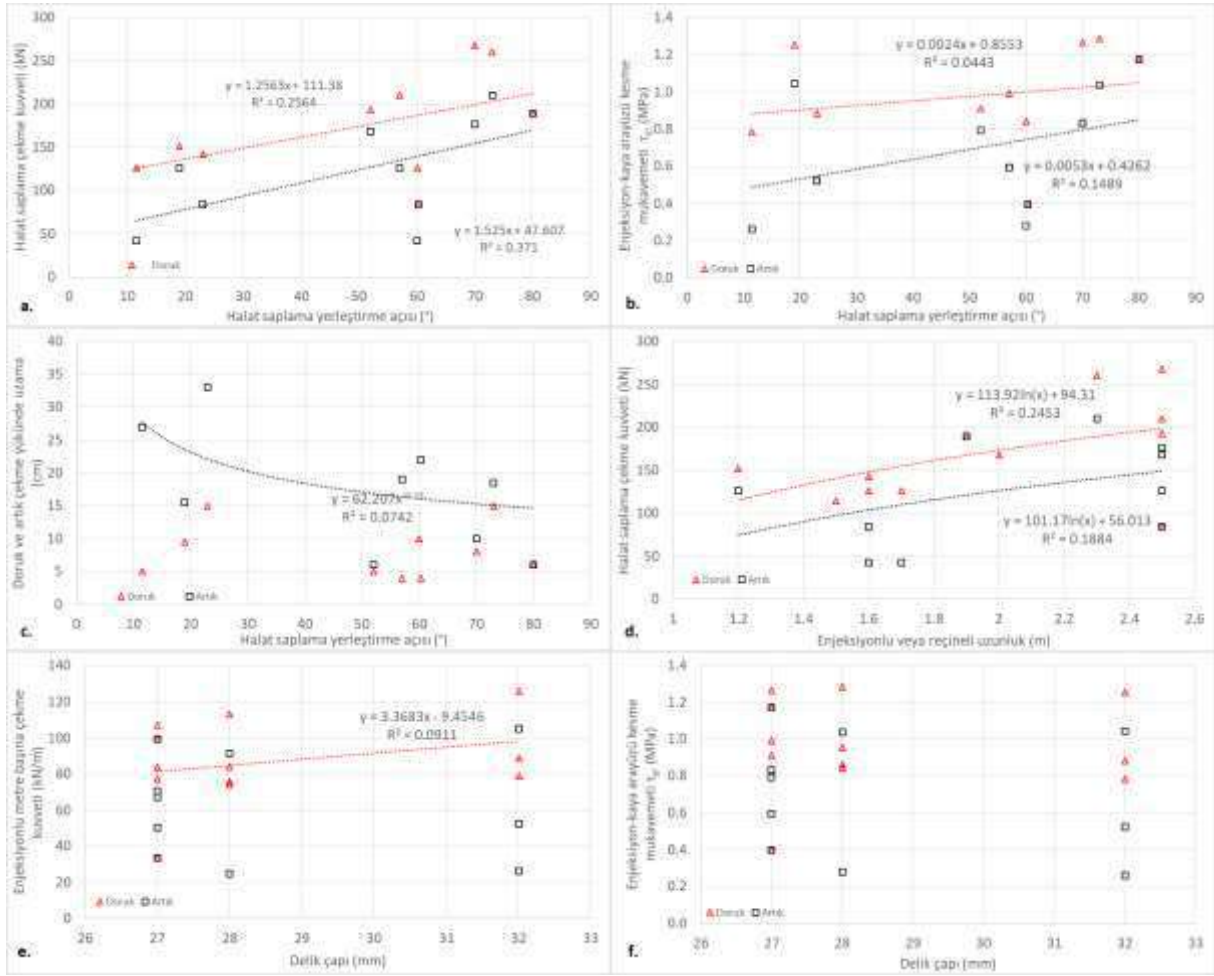
Bu durumda, F_{gr} kN cinsinden kaya-enjeksiyon ara yüzünden yenilmiş halat saplama çekme kuvvetidir. τ_{gr} değeri belirli bir kaya-enjeksiyon yüzeyi için bilindiğinde, L_b ve D_{bh} değerleri ile beraber kullanarak halat saplamanın çekme kuvveti hesaplanabilir. Şekil 3'te halat saplama performansı, çekme yükü, bağlı uzunluk başına çekme yükü, enjeksiyon-kaya arayüzü adhezyonu ile temsil edilerek, delik çapı, halatın eğimi ve enjeksiyonlu uzunluk ile ilişkilendirilmiştir.

Şekil 4a, b ve c'de halat saplama yerleştirme açısı halat saplama, kaya yüzeyine dik olduğu zaman "90°", kaya yüzeyine teorik olarak paralel olduğunda ise "0°" olarak tanımlanmıştır. Doğal olarak 0° değerinde uygulama mümkün değildir. Yerleştirme açısı arttıkça, halat saplama üzerinde kesme gerilmesi artacak ve özellikle kuyu ağzında fazla sürtünme oluşacaktır. Bu yargı ile paralel şekilde bulgulara erişilmiş olup, kaya yüzeyine dik yerleştirilen saplamalar daha yüksek çekme yükü sağlayabilmektedir. Halat saplama yerleştirme açısının, enjeksiyon-kaya arayüzü kesme mukavemeti üzerinde ise ciddi bir etkisi bulunmadığı görülmektedir.

Şekil 4c'de ise enjeksiyonlu uzunluğa karşı halatın çekme uzaması incelenmiştir. Halat saplama, kaya yüzeyine dik yerleştirildikçe kopma uzaması azalmaktadır. Yüzeyle dar açı ile yapılan uygulamalardaki kopma uzama değerlerinin daha fazla olması, delik ağzının tahrip olması ile açıklanabilir. Şekil 3d'de enjeksiyonlu uzunluğun halat saplama çekme yüküne karşı ilişkisi verilmiştir. Burada, hem doruk dayanım değerleri, hem de artık dayanım değerleri logaritmik bir fonksiyon ile ilişkilendirilmiştir. Yaklaşık olarak enjeksiyonlu uzunluk 2 katına çıkarıldığında dayanım değerlerinde de 2 kata yakın bir artış gözlemlenebilmektedir. Şekil 3e'de delik çapının, enjeksiyonlu metre başına dayanım değerine olan etkisi sunulmuştur. Enjeksiyonlu metre başına olan artık dayanım değerinin delik çapından etkilenmediği görülebilmekte olup, doruk değer ile delik çapı arasında doğrusal bir ilişki görülebilmektedir. Burada, reçine kartuşunun uygun karışım karışmadığı ile ilgili yorumu yapabilmek için enjeksiyon ve kaya arayüzünün kesme dayanımı ile delik çapı arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 3f dikkate alınmıştır. Arayüz kesme dayanımını ile 27-32 mm delik çapları kullanılması arasında bir ilişki bulunmadığı ve doruk değerlerin 0.8-1.3 MPa, artık değerlerin ise 0.3-1.2 MPa aralığında yer aldığı görülmektedir.

Bu çalışmada, en iyi uyum doğruları genel eğilimi görebilmek için verilmiştir ve R^2 değerlerinin yüksek değerlere erişmesi beklenmemektedir. Verilen eşitlikler, değer kestiriminden öte, performansın

artışına veya azalmasına yol açması açısından değerlendirilmelidir. Net istatistiksel yargılara varmak için çok sayıda örneğe ihtiyaç olup bu çalışmada hedef bu seviyede değildir.



Şekil 4. Uygulama parametreleri ile halat saplama dayanım ilişkileri

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada dikkate alınan halat saplama yerleştirme açısı, enjeksiyonlu uzunluk ve delik çapı gibi parametrelerin halat saplamanın çekme performansına olan etkileri incelenmiştir. Çalışmanın bulgularını açıklamadan önce halat saplamanın performansını etkileyen birkaç faktörü bahsetmekte yarar görülmüştür. Reçine kartuşlarının priz alma süresi oldukça önemlidir. Halat saplamanın delik dibine gönderilebileceği ve tam zamanında reçinelerin priz alacağı süreler seçilmek durumundadır. Delik dibine halat saplamanın dayanması ve halat sarım yönü ile yerleştirme esnasındaki dönme yönü, reçinenin doğru yerleştirilmesi için oldukça önemlidir. Halat saplamanın yerleştirilmesi esnasında halatın dönme hızı da oldukça kritik olup, yüksek hızlı rotasyon verilmesi gereklidir. Jumbo tarzı donanımların tabancaları genellikle düşük dönme hızına sahiptir ve halat saplama darbesi kapatılarak sadece rotasyon ile yerleştirilmeleri, reçinenin başarılı şekilde karışımını büyük oranda sağlamaz. Halat saplama uzun dönemde dayanımlarında korozyon önemli rol oynar ve bu duruma karşı gerekli önlemlerin alınması gereklidir. Reçine yerine farklı enjeksiyon malzemeleri kullanılacağına burada bahsedilen faktörlerde değişiklikler ortaya çıkacaktır.

Çalışmada doğrudan elde edilen bilgilere bakıldığında kaya malzemesinin dayanımı 5-20 MPa gibi düşük seviyelerdedir. Yer yer daha da düşük dayanıma sahip fissürlü kil veya silt taşları da

bulunmaktadır. Kaya kütlesi de genellikle zayıf kaya sınıflarına düşmektedir. 300-750m gibi derinliklerde çalışma yürütüldüğü için, kaya kütlesinin gerilmeler nedeni ile örselenmiş veya yenilmiş olduğu söylenebilir. Bu şartlarda halatın kopma kapasitesine yakın çekme dayanımı, 2.2-2.5m gibi enjeksiyonlu/reçineli uzunluklarda sağlanmaktadır (Şekil 4d). Elbette, bir yeraltı açıklığı için saplama tasarımı yapılırken saplama yoğunluğu önemli rol oynar ve enjeksiyonlu uzunluk tek parametre değildir.

Nervürlü demir veya benzeri kaya saplamalarının kesme kuvvetine karşı direnci aksel çekmeye karşı ciddi şekilde düşerken, halat saplamaalarda bu performans kaybından daha zor söz edilebilir. Halat saplama yerleştirme açısına karşı çekme yükleri incelendiğinde (Şekil 4a), halat saplama kaya yüzeyine dik yerleştirildiğinde daha yüksek performans verdiği görülse de, kaya-enjeksiyon arayüzü mukavemetinde (τ_{gr}) ciddi bir değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 4b). Saplamanın kaya yüzeyine olan yerleştirme açısı arttıkça, kaya-enjeksiyon arayüzü artık dayanımındaki artış, halatın delik duvarına sürtünmesine atfedilmiştir. Benzer şekilde kopma uzaması ve delik eğimi arasındaki ilişkide doruk dayanım değerlerinde ciddi bir fark gözlenmezken, artık dayanımda fark daha gözlenebilir olmaktadır (Şekil 4c). Kaya yüzeyine daha dik yerleştirilen halat saplamaaların kopma uzaması daha başarılı görülmüştür.

27-32mm arasında açılan deliklerde, enjeksiyonlu metre uzunluk başına çekme yükünde 25%'lik bir değişim görülmektedir (Şekil 4d). Delik çapının değiştirilmesi durumunda ise enjeksiyon-kaya ara yüzündeki dayanım, doruk ve artık değerler için ciddi şekilde değişmemektedir. Şekil 3d'deki değişimi delik çapının artması ile artan yüzey alanına bağlamak mümkündür. Enjeksiyon-kaya ara yüzü alanında 27 mm'den 32 mm'ye geçildiğinde %20 civarında artış olmaktadır. τ_{gr} ve enjeksiyonlu uzunluk sabit alındığında, çekme yükünde artış yönündeki beklentinin sağlandığı görülmüştür. Elbette enjeksiyonlu uzunluk sabit tutulur ve delik çapı büyütülür ise, reçine sarfiyatı artacaktır ve eğer delik çapı çok fazla arttırılır ise, reçine karışımında problemler beklenebilir. Eğer kaya yüzeyi düşük dayanımı nedeni ile yetersiz bağlanmaya yol açıyor ise, delik çapı 32mm'den fazla arttırılabilir ancak bu durumda pompalanabilir bir enjeksiyon malzemesi tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

Soma kömür havzasında yeni işletmelerin açılması planlanmakta ve bu çalışmada bahsedilen jeolojik birimlerde galeri sürülmesi gibi faaliyetler gerçekleştirileceği bilinmektedir. İleride benzer koşullarda yürütülebilecek madencilik faaliyetlerinde bu çalışmada sunulan bilgilerin yararlı olması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock mechanics*, 6(4), 189-236.
- Bieniawski, Z. T., & Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons.
- ELİ Eğitim - İş Sağlığı ve Güvenliği Şube Müdürlüğü (2018). Tanıtım Kitapçığı. Türkiye Kömür İşletmeleri, Ege Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü, ELİ Eğitim - İş Sağlığı ve Güvenliği Şube Müdürlüğü SOMA.
- Galvin, J. M. (2016). Ground engineering-principles and practices for underground coal mining. Springer.
- Hoek, E. (2007). Practical Rock Engineering: RocScience. Available from the publisher at <http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>.
- Hutchinson, D. J., & Diederichs, M. S. (1996). Cablebolting in underground mines (Vol. 477, p. 478). Richmond^ eBC BC: BiTech Publishers.
- İnci, U. (1998). Lignite and carbonate deposition in Middle Lignite succession of the Soma Formation, Soma coalfield, western Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 37(3-4), 287-313.
- Öge, İ.F., Kahraman, E., Koçak, Ç. (2017). Reçine Enjeksiyonlu Kaya Saplamaalarının Zayıf Kaya Birimlerinde Çekme Dayanımının İncelenmesi. Türkiye 25. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi.

- Soyer, E., Ersoy, C., Şenkal, S.S., Onargan, T., (2013). Hattat Enerji Amasra-B Sahası Ana Kat Galerileri Hazırlık Çalışmaları, Uygulanan Tahkimat Yöntemi Ve Aletsel Gözlemler. 2.Ulaşımında Yeraltı Kazıları Kongresi.
- Tüysüz, O., Genç, Ş.C., (2014). Elmadere Kömür Yatağının (Soma Kömür Havzası) Jeolojisi. Proje Raporu, Polyak.
- Ulrich, B. F., Wuest, W. J., & Stateham, R. M. (1989). Relationships between annulus thickness and the integrity of resin-grouted roof bolts. Bureau Of Mines, RI 9253.