

POLİÜRE TÜRÜ PÜSKÜRTÜLEN İNCE KAPLAMALARIN KAYA SAPLAMALARI PERFORMANSLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

EFFECT of POLYUREA TYPE THIN SPRAY-ON LINERS on ROCK BOLT PERFORMANCES

Eren KÖMÜRLÜ*
Ayhan KESİMAL**
Ümit ÇOLAK***

ÖZET

Çelik tahkimat malzemelerinin alternatifi olarak 1980'li yıllardan itibaren paslanma problemi olmayan, yüksek dayanıma sahip farklı kompozit malzemeler ile kaya saplamları üretilmekte olsa da, düşük fiyatları nedeni ile çelik halen en yaygın kullanılmakta olan kaya saplama malzemesidir. Bu çalışmada, poliüre türü termoset polimer, kaya saplama korozyonunun önlenmesi adına yeni bir kaplama malzemesi olarak değerlendirilmiştir. Poliüre hızlı polimerleşen ve çelik yüzeyine çok iyi yapışma özelliği gösteren bir elastomerdir. Ribar ve split-set türü kaya saplamları poliüre püskürtme yöntemi ile pratik bir şekilde kaplanmış ve bu işlemin tahkimat performansı üzerindeki etkileri Çayeli Bakır İşletmeleri'ne ait yeraltı galerilerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile incelenmiştir. Poliüre kaplamalı ve kaplamasız olarak montajı yapılmış olan kaya saplamlarına kısa ve uzun dönemli olarak yeraltında çekme testleri uygulanmış ve poliüre kaplamanın ekonomik olarak su yalıtımı sağladığı, aynı zamanda taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Kaya Saplamları, Püskürtülen ince kaplamalar (PİK), Polimer kaplamalı kaya saplamları, Yeraltı tahkimatı, Çelik korozyonu, Poliüre

ABSTRACT

Although noncorrosive and high strength composite rock bolts have been produced since 80's, steel is still the most widely used rock bolt material due to its cheaper prices. In this study, polyurea type thermoset polymer was assessed as a new material to prevent rock bolt corrosion. Polyurea is an elastomer polymerizes fast, and adheres on steel surfaces well. Rebar and split-set types of rock bolts were easily coated with polymer spraying. The experimental studies were performed under acidic underground water conditions at the Cayeli Copper Mine. Long and short terms pull-out tests were performed on polymer coated and uncoated rock bolts separately to examine the effect of the surface treatment method on rock bolt corrosion. It was observed that polyurea layer prevented steel corrosion economically while bolt load bearing capacity was being increased significantly.

Key words: Rock bolts, Thin spray-on liner (TSL), Polymer-coated rock bolt (PCRB), Underground support, Steel corrosion, Polyurea

* Araş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Müh. Böl., TRABZON, ekomurlu@ktu.edu.tr

** Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Müh. Böl., TRABZON

*** Maden Mühendisi, Çayeli Bakır İşletmeleri, RİZE

GİRİŞ

İlk kez 1910'lu yıllarda Almanya'da kömür madenlerinde kullanıldığı bilinen kaya saplamaları, 1930'lu yıllardan itibaren hızla yaygınlaşan ve 20. yüzyılın üçüncü çeyreğinde Dünya genelinde popüler olan bir tahkimat türüdür. Kaya saplamalarının uygulamada yaygınlaşması, çağdaş tahkimat anlayışının doğmasına ve püskürtme beton ile kullanımları Yeni Avusturya Tünel Açma Metodunun bulunmasına olanak sağlamıştır (Kovari, 2003; Muller, 1990).

Kaya saplamaları için hizmet süreleri uygulama alanına bağlı olarak değişmektedir. Otoyol tünelleri, demiryolu tünelleri gibi 100 yılın üzerinde tahkimat basıncı sağlanması amaçlanan alanların yanı sıra, maden galerinde olduğu gibi birkaç aya kadar düşebilen kullanım süreleri mevcuttur (Kolymbas, 2005; Hoek, 2006; Holter, 2014). Özellikle, sülfürik madenlerde olduğu gibi asidik yeraltı sularına maruz kalan kaya saplamaları çok hızlı korozyona uğramakta ve taşıma kapasitelerini önemli ölçüde kaybetmektedirler (Kömürlü ve Kesimal, 2013a).

Tahkimat uygulamalarına yönelik çeşitli eksiklikler, yeni malzemelerin kullanımı ihtiyacını doğurmuştur. Bu duruma örnek olarak, paslanma problemine sahip çelik saplamalar yerine 1980'li yıllardan itibaren alternatif olarak lif katkılı polimer kompozit saplamaların üretilmesi gösterilebilir. Bu ürünler yüksek performansla sahip olsalar da, fiyatları nedeni ile çelik gibi yaygın kullanılmamaktadırlar (Ranasooriya, vd. 1995; Li and Lindblad, 1999; Kömürlü, 2012; Hassell ve Villaescusa, 2005; Kömürlü ve Kesimal, 2013b). Paslanma problemi olmayan polimer malzemeler çelik yerine kullanılmaktansa, su yalıtımı sağlayacak kaplamalar olarak uygulanmaları ekonomik olarak korozyon probleminin çözülmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, poliüre türü termoset polimer kaplama yöntemi ile kaya saplamalarının korozyondan korunmasına ve taşıma kapasitelerindeki etkilere yönelik arazi ölçekli deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Poliüre, günümüzde gemilerde, tanklarda, kamyon kasaları iç yüzlerinde, yapılarda, havuz ve atık depolama alanlarının izolasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta olan izosiyenat bazlı termoset bir polimer türüdür (Kömürlü ve Kesimal, 2012a). Bu uygulamara ek olarak, poliürenin sülfürik asit ve hidrojen sülfür gazlarına karşı olan yüksek kimyasal direnci dolayısı ile kanalizasyon çeperlerinde kullanımı hızla yay-

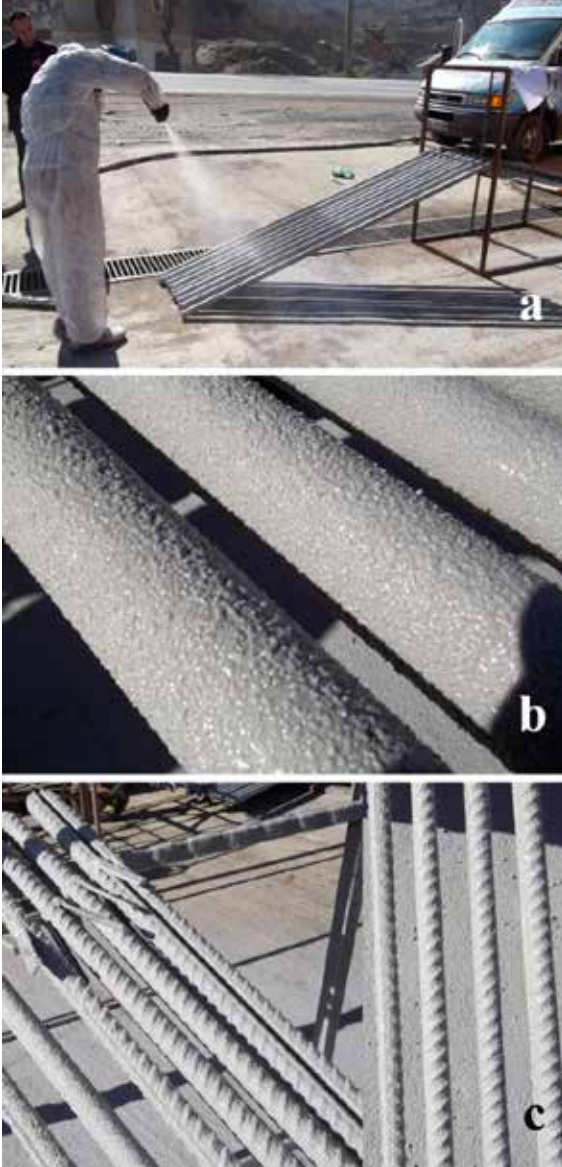
gınlaşmaktadır (Muyneck vd., 2009).

Poliüre, beton, çelik ve kayaç yüzeylerine çok iyi yapışabilmekte olan bir malzemedir. Poliüre, su yalıtım malzemesi olarak püskürtme membran yöntemi ile geleneksel membran örtülerine karşılık sahip olduğu uygulama pratikliği ve yalıtım performansı nedeniyle tünelcilik sektöründe hızla yaygınlaşmaktadır. Aynı zamanda, püskürtülen ince kaplamalar (PİK) adı altında tahkimat amaçlı olarak 1990'lı yıllardan itibaren madencilikteki yerini almıştır (Ozturk, 2012a; Ozturk, 2012b; Ozturk ve Tannant, 2010; Tannant, 2001; Holter, 2014; Kömürlü ve Kesimal, 2013a; Jain and Gupta, 2012; Kömürlü ve Kesimal, 2012b; Zhu vd., 2009; BASF, 2009).

Poliüre, sıvı fazda bulunan izosiyenat ve amin türü birleşenlerin kimyasal reaksiyonları sonucu polimerleşmektedir. Karışımın sıvı fazda kalma süresi ve polimerleşme zamanları ürün türüne bağlı olarak tercih edilebilmekte olup, bu çalışma kapsamında iki veya üç saniye içerisinde polimerleşmeye başlayan bir ürün kullanılmıştır. Profesyonel poliüre püskürtme makinesi ve ekipmanları ile kaplamaları yapılan kaya saplamalarının korozyona karşı dirençleri ve taşıma kapasitelerine yönelik testler Çayeli Bakır İşletmeleri'ne ait galerilerde gerçekleştirilmiştir.

1. Deneysel Çalışma

Toplam 30 adet ribar türü dolgulu (15 adet) ve split-set türü sürtünmeli (15 adet) kaya saplamaları poliüre püskürtme yöntemi ile kaplanmıştır (Şekil 1). Yatık vaziyette yaslanmış saplamalar, üzerine püskürtme uygulanması esnasında tüm yüzeylerin kaplanması için birkaç kez döndürülmüştür. Kullanılan ribar ve split-set türü kaya saplamaları 2.4 metre uzunluğundadır. Galvanizli yüzeye ve 39 mm nominal çapa sahip olan split-setler 35 mm çapındaki deliklere uygulanmışlardır. Ribarlar ise 22 mm çapında, nervürlü ve galvanizsiz yüzeye sahip olup su- çimento harcı ile dolgulu olarak uygulanmışlardır. Şekil 1c'de görüldüğü gibi, poliüre nervür şekillerini koruyacak şekilde kaplanabilmiştir. Profesyonel ekipmanların kullanımı ile iki kişi tarafından 30 adet kaya saplaması pratik bir şekilde 15 dakika içerisinde kaplanmıştır.



Şekil 1. a) Poliüre Püskürtme, b) Poliüre Kaplamalı Split-Set Yüzeyleri, c) Poliüre Kaplamalı Ribar Yüzeyleri

Çayeli Bakır İşletmelerinde su problemi olan bir bölgede kaplamalı ve kaplamasız numunelerin montajları aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Poliüre türü püskürtülen ince kaplamanın tahkimat performansı üzerindeki etkileri kaya saplama-larına yönelik çekme testleri (pull-out test) ile 3 farklı zaman dilimi için (1 hafta, beş hafta, 6 ay) incelenmiştir (Şekil 2).

Polimer kaplanmamış split-set numuneleri için ilk hafta sonunda maksimum taşıma kapasiteleri 40 ± 5 kN değerindeyken, altıncı ay sonuna geldiğinde büyük oranda düşüş yaşanarak 25 kN ve daha düşük değerler ölçülmüştür. Şekil 3'te 6 aylık süreçte korozyona uğramış olan ve 18 kN çekme testi sonucuna sahip bir kaya saplaması

görülmektedir. Poliüre kaplamalı split-setler için ise, saplama ve delik temas yüzeyinde meydana gelen adeziv bir yenilme olmamıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi tüm testler çelik kırılması nedeni ile sonlandırılmıştır. Korozyondan kaynaklı yük değerlerinde düşüş yaşanmamış ve ortalama 81 kN seviyesinde çelik kırılmaları gerçekleşmiştir. Split set testlerine yönelik sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Çekme Testleri



Şekil 3. Korozyona Uğramış Split-Set



Şekil 4. Kırılmış Split-Set Çeliği

Çizelge 1. Split Set Numuneleri İçin Çekme Testi Sonuçları (P: Poliüre Kaplamalı, K: Kaplamasız, F_u : Maksimum Yük, S.D.: Standart Sapma)

Numune Türü	F_u (kN)	S. D. (kN)	Numune Sayısı
P (1 Hafta)	82.4	6.6	5
P (5 Hafta)	83.8	5.8	5
P (6 Ay)	78.2	5.4	5
K (1 Hafta)	40.4	3.7	5
K (5 Hafta)	33.4	4.9	5
K (6 Ay)	21.4	3.2	5

Deneylerin gerçekleştirildiği bölgede rutin olarak uygulanan otuzun üzerinde çekme testi sonuçlarına göre, kaplamasız ribarların enjeksiyon ve montaj detaylarına bağlı olarak ilk 6 aylık periyot içerisinde genellikle 80 kN ve 120 kN aralığında değişen taşıma kapasiteleri olduğu görülmüştür. Maksimum yüke ulaşılması esnasında çelik ribarların delik içinden sıyrıldığı gözlemlenmiştir. Kaplamalı ribarlar için ise taşıma kapasiteleri test ekipmanının maksimum yük değeri olan 200 kN mertebesine ulaşılması sebebiyle belirlenememiştir. Bu nedenle, tüm numuneler için (1 hafta, 5 hafta, 6 ay) kaplamalı ribarların taşıma kapasitesinin 200 kN değerinin üzerinde olduğu söylenebilir (Çizelge 2). Bu ribarlara ek olarak, 6 adet ekstra ribar boylarının yarısı kaplanmış olarak test edilmiştir ve sonuç tamamı kaplanmış ribarlar ile aynı olmuştur; maksimum yük esnasında herhangi bir yenilme yaşanmamıştır. Korozyondan koruma amaçlı olarak uygulanan poliüre, kaya saplamalarının taşıma kapasiteleri açısından da oldukça önemli oranda artış sağlamıştır.

Çizelge 2. Dolgulu Ribarlar İçin Çekme Testi Sonuçları

Numune Türü	Test Süreleri	F_u (kN)
P	1 hafta, 5 hafta, 6 ay	>200
K	1 ay – 6 ay	80-120

2. Poliüre Kaplama Maliyetleri

Tüketilen malzeme miktarına göre, kaya saplamalarının poliüre ile kaplanma maliyeti yaklaşık metre başına 0,6 Amerikan Doları olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, iyi polimerleşme ve çelik yüzeyine yapışma açısından profesyonel ekipmanların kullanılması gerekmektedir. Bu uygulamada kullanılan profesyonel poliüre püskürtme ekipmanının maliyeti yaklaşık 25000 Amerikan Dolarıdır. İşçilik maliyetleri ise oldukça düşüktür; iki kişinin 100 adet üzerinde kaya saplamasını rahatlıkla bir saat içerisinde kaplayabileceği görülmüştür.

3. Tartışma ve Sonuçlar

Poliüre kaplamalı kaya saplamalarının kaplamasız saplamalara nazaran taşıma kapasitelerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Poliürenin çelik, beton ve çimentolu enjeksiyon malzemeleri ile yüksek adezyona sahip olduğu bilinmekte olup, bu çalışma kapsamında dolgulu ribarlara yönelik gerçekleştirilen testler ile doğrulanmıştır (Jain ve Gupta, 2012; Ozturk, 2012a; Kömürlü ve Kesimal, 2012a; Zhu vd., 2009). Split-set türü sürtünmeli saplamalardan elde edilen sonuçlar ışığında ise poliürenin delik yüzeyi ile yüksek aderans sağladığı görülmüştür. Poliürenin çeliğe nazaran daha yüksek sürtünme performansı sağlaması deformasyon özellikleri nedeni ile delik yüzeyinin şeklini alması ve daha iyi temas sağlamasından kaynaklı olduğu görüşüne varılabilir (Qiao ve Wu, 2011; Windsor ve Thompson, 1992; Pellet ve Egger, 1996).

Split-set türü sürtünmeli kaya saplamaları enjeksiyonun kürlenmesi beklenmediğinden uygulandıkları andan itibaren tahkimat basıncı sağlayabilirler, ancak doğrudan zemin ile temas halinde olmaları nedeni ile korozyon problemleri mevcuttur. Sürtünmeli kaya saplamaları genelde maden galerilerinde olduğu gibi kısa süreli tahkimat uygulamaları için kullanılmaktadırlar (Tamrock, 1997; Hoek, 2006; Hemphill, 2013). Mon-

taj esnasındaki sürtünmeler nedeni ile saplama yüzeyi (çelik veya galvaniz yüzey) çizilmekte ve bu durum erken korozyon oluşumuna sebebiyet vermektedir. Diğer taraftan, çelik tüp (split-set) iç yüzeyinde sürtünme ve çizilme olmadığından galvaniz tabaka bu yüzeyden başlayacak bir korozyon oluşumunu önleyebilecektir. Çatlak direnci son derece yüksek olan poliüre tabaka ile delik içindeki sürtünmelerin çelik yüzeyi üzerindeki olumsuz etkileri giderilebilecektir.

Poliüre kaplamalı split-setlere yönelik test sonuçlarında yeraltında bekleme süresine bağlı olarak düşme yaşanmamış, kaplamasız kaya saplamaları ise taşıma kapasitelerinin yarısını ilk 6 aylık süreç içerisinde kaybetmiştir. Altıncı ay sonundaki %400 mertebesine ulaşan kaplamalı ve kaplamasız kaya saplamalarına ait taşıma kapasiteleri arasındaki fark, poliüre kaplamanın madencilik faaliyetleri için kullanılabilir, ve otoyol, demiryolu gibi uzun hizmet süresine sahip tüneller için incelenmeye değer olduğunu göstermektedir. Taşıma kapasitesi konusundaki sağlanan bu önemli iyileşme, poliürenin yüzey, mekanik özellikleri ve korozyonu önlemesinden kaynaklanmaktadır.

Polimerleşme tepkimeleri kaplama yöntemine bağlı olarak değişmekte olup, iyi polimerleşme ve adezyon elde etmek için profesyonel ekipmanların kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Sıvı fazdaki birleşenlerin eşit oranda ve iyi bir şekilde karışması, sıvı fazda kalma süresi göz önünde bulundurularak uygulamanın gerçekleştirilmesi önemlidir (BASF, 2009; Kömürlü ve Kesimal, 2013b)

Kısaca, poliüre çelik kaya saplamalarının korozyona karşı korunması ve taşıma kapasitelerinin artırılmasına yönelik ekonomik olarak kullanılabilir. Farklı polimer malzemelerin de bu amaçla kullanımı incelenebilir. Gelişen malzeme biliminin takip edilmesi pek çok yeni ilerlemelere olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

BASF, 2009. Solutions for tunnelling and mining injections (Brochure of injection products), Zurich

Bhise, S.V., 2002. Strength Degradation of GFRP Bars, MSc thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA.

Hassell, R., Villaescusa, E., 2005. Overcoring Techniques to Assess in Situ Corrosion of Galvanised Friction Bolts, Proceedings of 24th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown,

WV, USA, pp 349-356

Hemphill, G.B., 2013. Practical Tunnel Construction, John Wiley&Sons, New Jersey

Hoek, E., 2006. Kaya Mühendisliği (Turkish translation of "Rock Engineering"), Publication of The Chambers of Mining Engineers of Turkey, Ankara

Holter, K.G., 2014. Loads on sprayed waterproof tunnel linings in jointed hard rock: A study based on Norwegian cases, Rock Mechanics and Rock Engineering, 47, 1003-1020

Jain, A., Gupta, V., 2012. Construction and characterization of stainless steel/polyurea/E-glass composite joints, Mechanics of Materials, 46, 16-22

Kolybas, D., 2005. Tunnelling and Tunnel Mechanics: A Rational Approach for Tunnelling, Springer, Berlin

Kömürlü, E., 2012. Kaya ve Taneli Malzemelerde Yanal Gerilmelerin Tahkimat Tasarımı Üzerindeki Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi FBE, Trabzon, Türkiye, 181 s.

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2012a. Using sprayed polymer as tunnel support, Proc. 7th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS 7), Seoul, South Korea, pp 1486-1499

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2012b. Poliüretan malzeme ile güçlendirilmiş zemin dayanımının incelenmesi, *14. ulusal zemin mekaniği ve temel mühendisliği kongresi bildiriler kitabı*, 631-642, Isparta.

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2013a. New Support Materials for Forepoling and Umbrella Applications, Proceedings of 3rd International Symposium on Underground Excavations for Transportation, November 29-30, Istanbul, Turkey, pp 423-435

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2013b. Geçmişten günümüze Tünelcilik ve tahkimat malzemeleri, Madencilik, 52, 33-47

Kovari, K., 2003. History of the sprayed concrete lining method-part II: milestones up to the 1960s, Tunnelling and Underground Space Technology, 18, 71-83

Li, C., Lindblad, K., 1999. Corrosivity classification of the underground environment, Rock Support and Reinforcement Practice in Mining (Ed. by Villaescusa, Windsor and Thompson), AA Balkema, Rotterdam, pp 69-76

Muynck, W.D., Belie, N.D., Verstraete, W., 2009. Effectiveness of admixtures, surface treatments and antimicrobial compounds against biogenic sulfuric acid corrosion of concrete, Cement and Concrete Composites, 31, 163-170

Muller, L., 1990. Removing the misconceptions on the New Austrian Tunnelling Method, Tunnels & Tunnelling, 22, 15-18

Ozturk, H., 2012a. Püskürtülen İnce Kaplamaların

Elastik Özellikleri, Madencilik, 50, 41-45

Ozturk, H., 2012b. Work of adhesion of thin spray-on liners, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45, 1095-1102

Özturk, H., Tannant, D.D., 2010. Thin spray-on liner adhesive strength test method and effect of liner thickness on adhesion, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 47, 808-815

Pellet, F., Egger, P., 1996. Analytical model for the mechanical behaviour of bolted rock joints subjected to shearing, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 29, 73-97

Ranasooriya, J., Richardson, G.W., Yap, L.C., 1995. Corrosion behaviour of friction rock stabilisers used in underground mines in Western Australia, 6th AusIMM Underground Operators Conference, Kalgoorlie, Australia, pp 9-16

Qiao, J., Wu, G., 2011. Tensile properties of fly ash/polyurea composites, *Journal of Material Science*, 46, 3935-3941

Saçak, M., 2005. Polymer technology (in Turkish), Gazi, Ankara

Tamrock Corp., 1997. *Underground Drilling and Loading Handbook*, Tampere

Tannant, D.D., 2001. Thin Spray-on Liners for Underground Rock Support, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey(IMCET 2001), Ankara, Turkey, pp 57-73

Windsor, C.R., Thompson, A., 1992. A new friction stabilizer assembly for rock and soil reinforcement applications, *Rock Support* (Ed. by Kaiser PK, McCreath DR), AA Balkema, Rotterdam, pp 523-530

Zhu, Y., Liechti, K.M., Chandar, K.R., 2009. Direct extraction of rate-dependent traction–separation laws for polyurea/steel interfaces, *International Journal of Solids&Structures*, 46, 31-51