

Teknik Not/Technical Note

## PÜSKÜRTÜLEN İNCE KAPLAMALARIN ELASTİK MALZEME ÖZELLİKLERİ

Elastic Material Properties of Thin Spray-on Liners

Geliş (received) 14 Mart (March) 2011; Kabul (accepted) 11 Mayıs (May) 2011

Hasan ÖZTÜRK (\*)

### ÖZET

Püskürtülen ince kaplama olarak bilinen PİK, kaya tahkimat sistemi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kaplamaların yapışma, çekme, makaslama dayanımı gibi özelliklerine dair farklı deney düzenekleri ve deney sonuçları mevcuttur. Son yıllarda araştırmacılar tarafından PİK'lerin tahkimat mekanizmasını anlamaya yönelik analitik ve sayısal çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda PİK'ler elastisite modülü ve Poisson oranları farklı elastik malzemeler olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, bu alanda literatürde ilk kez laboratuvar ortamında hazırlanan Tekflex ve Castonite adındaki PİK'lerin elastik malzeme parametreleri belirlenmiştir. Buna göre, Tekflex'in elastik modülü 13 MPa ve Poisson oranı 0,25 iken Castonite'in elastik modülü 55 MPa ve Poisson Oranı 0,2 olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Püskürtülen İnce Kaplama, PİK, Tahkimat, Elastisite Modülü, Poisson Oranı, Tekflex, Castonite

### ABSTRACT

Thin spray-on liners (TSL) have been used extensively as a rock support system. There are different testing set-ups and test results on TSL's adhesion, tensile and shear strengths. Lately, researchers have been studying TSL's support mechanism analytically and numerically. In these studies, TSL's are assumed to be elastic, and different Young's Modulus and Poisson's Ratios are assumed. In this study, for the first time in the literature, elastic material properties of TSL products called Tekflex and Castonite which was prepared in the laboratory were determined. It was found that Tekflex has a Young's Modulus of 13MPa and Poisson's Ratio of 0.25 while Castonite has a Young's Modulus of 55 MPa and Poisson's Ratio of 0.2.

**Keywords:** Thin Spray-on liner, TSL, Support, Young's Modulus, Poisson's Ratio, Tekflex, Castonite

(\*) Yard.. Doç. Dr. ODTÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, ANKARA, ozhasan@metu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

1990 yılından bu yana, PİK (püskürtülen ince kaplama) türü tahkimat, madencilikte maliyetleri azaltma potansiyeli ve önemli operasyonel faydalar nedeniyle sektörün odağı haline geldi. PİK'ler, maden kazılarının tahkimatı için kaya yüzeyine püskürtme olarak uygulanan, hızlı kür olan, göreceli olarak ince (2-5mm) kaplamalardır.

Güncel PİK'lerin çoğunluğu, açıklık yüzeyine püskürtme öncesi arazide karıştırılan, iki bileşenli, poliüre/poliüretan veya çimento bazlı lateks ürünlerdir.

PİKlerin kullanıldığı durumlarda, kaya yüzeyi ile kaplama arasında yakın bir temas vardır, bu da tahkimat kapasitesi bakımından, kaplama ve kaya arasındaki yapışma dayanımını önemli hale getirmektedir. Yeterli yapışma dayanımının olduğu yerlerde, kaplamalar yerçekimine maruz kalan gevşek kaya kütlelerinin yarattığı yükleri taşıma veya bu yükleri yine kaplamayla temas halinde olan ama duraylı kaya kütleleri üzerine aktarma potansiyeline sahiptirler. Kaplamaların kayaya yapışma yeteneği, aksi durumda açıklık içine serbest düşmeye maruz kalacak ayrık kaya bloklarının gevşemesini veya akmasını önlemeye yardımcı olur. (Tannant, 2001; Stacey, 2001; Ozturk ve Tannant, 2010).

Araştırmacılar, PİK'in mukavemet davranışlarına yönelik olarak analitik ve sayısal çalışmalar yapagelmektedirler (Mason ve Stacey, 2008; Mason ve Abelman, 2009; Fowkes vd, 2008; Wang ve Tannant, 2002; Dirige ve Archibald, 2009).

Hernekadararaştırmacılaranalitikçalışmalarında doğrusal elastisite teorisini kullanıyor olsalar da, şu ana kadar PİKlerin elastisite parametrelerine dair hiçbir yayınlanmış bilgi yoktur. Bu çalışmada, Tekflex (minova.com.au) ve Castonite (sprayonplastics.com) adındaki iki PİK'in elastik malzeme özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler anlatılmaktadır. Literatürde, kabul edilen bazı PİK elastik malzeme özellikleri Çizelge 1'de görülebilir. Çizelge 1'de değinilen araştırmacılar her ne kadar PİKlerin elastik malzeme özelliklerini genelleştirip bazı değerler kabul etmişseler de, farklı amaçla üretilen farklı PİK'lerin farklı performans ve elastik özellikler göstereceği dikkate alınmalıdır.

Çizelge 1. PİKlerin Kabul Edilen Elastik Malzeme Özellikleri

E (MPa)	Poisson Oranı)	Kaynak
111	0.4	(Dirige ve Archibald, 2009)
1000	0.3	(Mason ve Abelman, 2009)
100, 1000	0.4, 0.3	(Mason ve Stacey, 2008)

## 2. DENEY ÖRNEKLERİ HAZIRLANMASI

PİK, laboratuvarında üreticinin açıklamalarına göre, karışımın içinde topaklar oluşmayacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. PİK'in laboratuvarında karıştırılması.

Hazırlanan karışım, tek eksenli yükleme (Şekil 2) ve tek eksenli çekme (Şekil 3) deney örnekleri hazırlamak için silindirik ve "köpek kemiği" (dogbone) kalıplarına döküldü.

Deney örnekleri testler öncesi 7 gün oda koşullarında kürlenmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi, bu testle ilgili olarak herhangi bir standart olmadığından, kürlenme süresiyle de ilgili olarak da bir kural yoktur ama çimento bazlı ürünler için kürlenme süresinin deney sonuçlarını etkileyeceği hesaba katılmalıdır.



Şekil 2. PİK'in tek eksenli yükleme deney örneği.



Şekil 3. PİK'in tek eksenli çekme deney örneği ve "köpek kemiği" (dogbone) kalıbı.



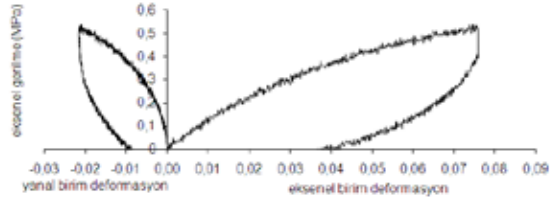
Şekil 4. Tekrarlı yükleme altındaki silindirik deney örneği.

### 3. ELASTİK MALZEME ÖZELLİĞİ BELİRLEME DENEYLERİ

Amerikan Test ve Malzeme Birliği (ASTM) gibi kuruluşların özellikle PİK'lerin elastik malzeme özelliklerinin belirlenmesine dair tasarlanmış deney yöntemleri bulunmamaktadır. Fakat, ince boya kaplamaları gibi diğer kaplama türleri için deney yöntemleri mevcuttur (ASTM D638, 1998).

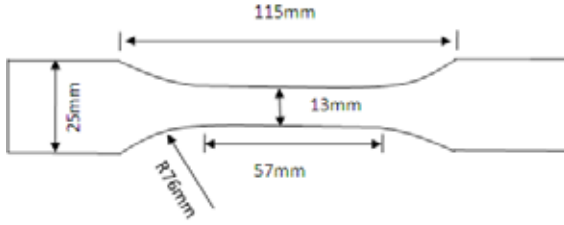
Herhangi bir standart test olmadığı için, Young Modülü ve Poisson Oranı deneyleri için, tek eksenli yükleme deformasyon deneyleri yapılmıştır. Tekflex ve Castonite'den 38mm çaplı, 2,3:1 boy-çap oranlı silindirik deney örnekleri kalıplara dökülmüştür. Yedi günlük kürden sonra, deney örnekleri tekrarlı yüklemeye bırakılmıştır (2 mm/dakika) (Şekil 4).

Yapılan üç adet tek eksenli basma deneyi sonucunda, Tekflex kaplamasının tanjant modülü (0,02 birim deformasyonda)  $13 \pm 3$  MPa ve Poisson Oranı 0,25 olarak belirlenmiştir. Şekil 5' de görüleceği üzere, yüklemeye boşalma arasındaki eğrilerin kesikliği (hysteresis), malzemenin viskoelastik olduğunu göstermektedir. Ama yinede, eğrilerin ilk bölümündeki doğrusal davranış dolayısıyla, malzemenin elastik özellikleri yukarıdaki gibi bulunmuştur.



Şekil 5. Silindirik Tekflex kaplamasının tekrarlı yükleme-birim deformasyon eğrisi.

Üç adet "köpek kemiği" çekme deneyi de yapılmıştır. Plastiklerin çekme özelliklerinin belirlenmesine yönelik bazı standartlar bulunmaktadır. Bunlardan PİK'lere en uygunu ASTM D638 (Plastiklerin çekme özellikleri için standart deney yöntemi) olup bu deney standardı, "köpek kemiği" şeklindeki deney örneği kullanarak plastiklerin çekme dayanımını ölçmeye yöneliktir. Bu test yönteminde, Şekil 6' da görülen ölçeklerde 3 mm kalınlığında bir deney örneği hazırlanması önerilir.



Şekil 6. ASTM D638 deney örneği şekli ve boyutları (Tooper vd, 2003).

ASTM D638 deneyi, deney örneğinin çekme yüklemeye makinasına kısıpçalanıp (Şekil 7), 5-50 mm/dakika yüklemeye oranında direk çekmeye maruz bırakılıp, yükün kayıt edilmesi, ve eğer istenirse yer değıştirmenin de kayıt edilmesi esasına dayanır. Deney örneğı, yüklemeye başladıktan 30 ila 300 saniye sonrasında ikiye ayrılmalıdır. Güvenilir sonuçlar elde etmek için birden fazla deney yapılması önerilir.



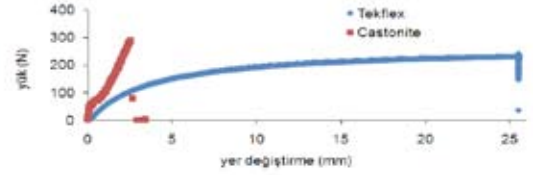
Şekil 7. Kısıpçalanmış “köpek kemiğı” PİK deney örneğı

Tekflex'in 0,02 birim deformasyonda hesap edilen deformasyon modülü  $52 \pm 6$  MPa olarak belirlenmiştir. İki farklı deneyden elde edilen farklı Young Modülü sonuçları, farklı iki deney sınır şartlarına, farklı yüklemeye oranlarına ve malzemenin viskoelastik olmasına yorulmuştur. Tekflex kaplamasının 7 günlük kürden sonraki çekme dayanımı  $3,2 \pm 0,1$  MPa olarak belirlenmiştir.

Castonite (www.stratamineservices.com) kaplaması için de benzer deneyler yapılmıştır. Malzemenin gevrek yapısı dolayısıyla, “köpek kemiğı” deney örneklerinin hazırlanması uğraştırıcı olmuştur. Üç “köpek kemiğı” deneyinden ortalama  $3,9 \pm 0,6$  MPa çekme dayanımı bulunmuş, Young Modülü de  $81 \pm 16$  MPa olarak tespit edilmiştir. Uzun uğraşlar sonucunda, sadece bir silindirik deney örneğı hazırlanabilmiş ve 0,02 deformasyondaki tanjant

modülü 55 MPa ve Poisson Oranı 0,2 olarak belirlenmiştir.

Şekil 8'de iki farklı PİK'in “köpek kemiğı” yük-yer değıştirme grafiğı sunulmuştur.



Şekil 8. İki farklı PİK'in “köpek kemiğı” deney sonucu.

Şekil 8'de de görüldüğü gibi, Castonite kaplaması daha gevrek bir yapı göstermekte ve %6'lık bir birim deformasyondan sonra 4,1 MPa çekme dayanımına sahipken, Tekflex kaplaması daha plastik bir davranış göstererek %40 birim deformasyonda 3,1 MPa çekme dayanımına sahiptir.

#### 4. SONUÇLAR

Püskürtülen ince kaplama (PİK) türü tahkimat madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. PİK'lerin tahkimat tasarımını daha iyi anlamaya yönelik olarak, sayısal ve analitik çalışmalar süre gelmektedir. Araştırmacılar, şu ana kadar yapılan çözümlerinde, PİK'leri elastik kabul edip malzeme özelliklerini de (Young's Modulus ve Poisson Oranı) farklı değerler varsayarak çeşitli çözümler yapmışlardır. Bu çalışmayla, literatürde ilk kez, iki farklı PİK'in (Tekflex ve Castonite), elastik malzeme özellikleri laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir. Buna göre, Tekflex'in elastik modülü 13 MPa ve Poisson oranı 0,25 iken Castonite'in Elastik Modülü 55 MPa ve Poisson oranı 0,2 olarak belirlenmiştir. Bulunan elastik modül değerleri gösteriyor ki, PİKler literatürde kullanıla gelen, varsayılan elastik modül değerlerinden daha da yumuşaktır. Bu sonuçlar daha fazla deneysel çalışmalarla desteklenmelidir.

#### TEŞEKKÜR

Katkılarından dolayı anonim hakemlere teşekkürlerimi bildiririm.

## KAYNAKLAR

ASTM D638, 1998; Standard test method for tensile properties of plastics. V. 8.01, Plastics(I): D256-D2343, pp. 46-58.

Castonite, [www.stratamineservices.com](http://www.stratamineservices.com)

Dirige, A.P.E., Archibald, J.F., 2009; Numerical modeling simulations of spray-on liners support potential in highly stressed and rockburst prone rock conditions. Proc. 3<sup>rd</sup> Canada-US Rock Mechanics Symp., Editors: Grasselli, G. and Diederichs, M. Toronto.

Mason, D.P., Abelman, H., 2009; Support provided to rock excavations by a system of two liners. Int. J. Rock Mech Min Sci; **46**, 1197-1205.

Mason, D.P., Stacey, T.R., 2008; Support to rock excavations provided by sprayed liners. Int J Rock Mech Min Sci; **45**, 773–788.

Minova, [www.minova.com.au/assets/.../Minova-Tekflex-PDS-23.10.09.pdf](http://www.minova.com.au/assets/.../Minova-Tekflex-PDS-23.10.09.pdf)

Ozturk, H., Tannant, D.D., 2010; Thin spray-on liner adhesive strength test method and effect of liner thickness on adhesion. Int J Rock Mech Min Sci; **47**, 808-815.

Stacey, T.R., 2001; Review of membrane support mechanisms, loading mechanisms, desired membrane performance and appropriate test methods, J. S. Afr. Inst. Min. Metall. **101** (7), 343–351.

Tannant, D.D., 2001; Thin spray-on liners for underground rock support - testing and design issues. Int. Seminar and Field Trials on Surface Support Liners: Membrane, Shotcrete and Mesh, Perth, Australia: 1-18.

Tooper, A.Z., vd., 2003; Proposed Procedures for the Testing of TSL Properties. 3rd International Seminar on Surface Support Liners: Thin Spray-On Liners, Shotcrete and Mesh, Quebec City, Canada. Section 14.