

## Tokluk İndeksi Ölçümünde Kullanılan, EFNARC ve Yuvarlak Plaka Eğilme Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması

**Gökhan KÜLEKÇİ\***

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 29100 Gümüşhane, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author  
E-mail: gokhankulekci@gmail.com  
Orcid ID:0000-0002-2971-4045

*Derleme Makalesi/Review Article*  
*Geliş Tarihi/Received: 20.09.2021*  
*Kabul Tarihi/Accepted: 26.10.2021*

### ÖZET

Özellikle madencilik ve inşaat sektöründe sıkça kullanılan püskürtme beton boru hattı aracılığıyla basınçlı hava ile iletilen agrega, çimento, su ve bazı kimyasal katkı maddelerinden oluşan ve püskürtme yoluyla yapılan beton olarak tanımlanır. Tahkimat gerektirmeden hızlı bir şekilde uygulanabildiği, istenilen şekilde şekillendirilebildiği ve her türlü yüzeye uygulanabildiği için yeraltı mühendisliği inşaatları, kaya ve zemin desteği, yapıların kaplama ve onarımı gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu avantajlarına ek olarak, beton içerisinde farklı miktar ve yapıda lif kolaylıkla katıla bilinir. Gelişen teknoloji ile betonda lif kullanımı artmıştır. Lif kullanımının temel nedeni enerji sönümleme özelliğidir. Tokluk olarak da isimlendirilen, yük-sehim eğrisinin altında kalan alanı ile ifade eden bu özellik, malzemenin mekanik (Çatlak direnci, süneklilik, darbe direnci vb.) özelliği ile bağlantılıdır. Tokluk enerji absorpsiyonu genel olarak iki farklı yöntemle ölçülmektedir. Bunlar EFNARC plaka eğilme deneyi ve yuvarlak plaka eğilme deneyleridir. Bu çalışmada püskürtme betonda ve diğer lifli betonlarda kullanılan plaka eğilme deneyleri ayrıntılı bir şekilde araştırılmış ve literatür çalışmaları incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Tokluk indeksi, EFNARC ve yuvarlak plaka eğilme testleri, Püskürtme beton

## Comparison of EFNARC and Round Plate Bending Test Methods Used in Measurement of Toughness Index

### ABSTRACT

It is defined as the concrete made by spraying and consisting of aggregate, cement, water and some chemical additives transmitted with compressed air through the sprayed concrete pipeline, which is frequently used especially in the mining and construction industry. It is widely used in many areas such as underground engineering constructions, rock and ground support, coating and repair of structures, as it can be applied quickly without the need for reinforcement, can be shaped as desired and applied to any surface. In addition to these advantages, different amounts and structures of fiber can be easily added to the concrete. With the developing technology, the use of fiber in concrete has increased. The main reason for the use of fiber is its energy absorption feature. This property, which is also called toughness and expresses the area under the load-deflection curve, is related to the mechanical property (Crack resistance, ductility, impact resistance as.) of the material. Toughness energy absorption is generally measured by two different methods. These are the EFNARC plate bending test and the round plate bending test. In this study, plate bending tests used in sprayed concrete and other fiber concretes were investigated in detail and literature studies were examined.

**Keywords:** Toughness index, EFNARC and round determinate panel tests, Sprayed concrete

### Atıf için (Cite);

Küleççi, G. (2021). Tokluk İndeksi Ölçümünde Kullanılan, EFNARC ve Yuvarlak Plaka Eğilme Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(2), 120-126. Doi: 10.53501/rteufemud.997776

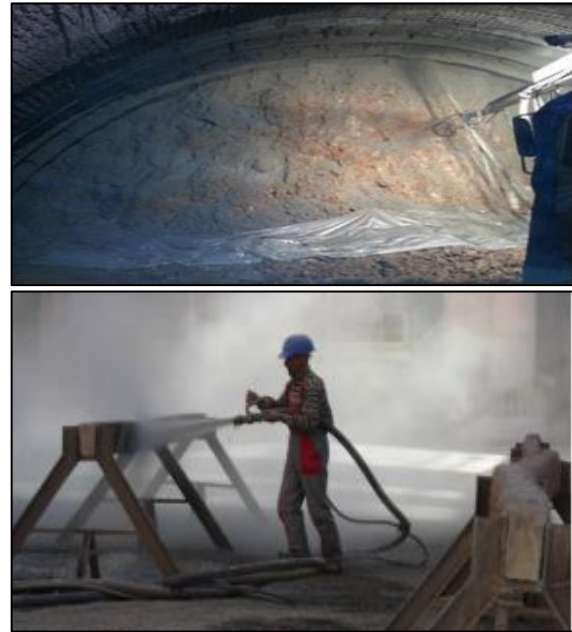
## 1. Giriş

Gerek inşaat sektöründe gerekse madencilik sektöründe yaşanan gelişmelere bağlı olarak lifli beton üretimi ve kullanımı artmıştır (Küleççi, 2019). Kullanılan lifli betonlar içerisinde en fazla kullanılan ve dikkat çeken püskürtme betondur. Püskürtme beton kuru ya da yaş olarak, basınçlı hava yardımı ile aynı ya da farklı boru yardımı ile agrega ve çimentonun belli bir açı ile yüzeye püskürtülmesi ile yapılan uygulamaya denir. Püskürtme betonda piriz hızlandırıcı ve benzeri katkıları kullanılabilir (Çakıroğlu vd., 2009; Küleççi, 2018a; 2018b). Püskürtme beton, kolay uygulanabilirliği, hızlı sertleşmesi ve beton özelliğini hızlı kazanması sayesinde birçok sektörde kullanımı artmıştır. Özellikle madencilik ve inşaat sektöründe yeraltı mühendislik yapılarında, baraj gövde ve şevlerinde, yol şevlerinde hasarlı binaların güçlendirilmesi ve onarılması gibi durumlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Ayış, 2010; Çakıroğlu vd., 2009; Küleççi vd., 2015a; 2015b; Küleççi ve Çullu, 2021) (Şekil 1).

Betonda lif kullanımı birinci dünya savaşı ve sonrasındaki sanayi devrimi ile kullanılmaya başlanmıştır. Betonda donatı olarak kullanılan demirin yanında çelik ve farklı lif çeşitleri denenmiş ve bu konudaki çalışmalar günümüze kadar gelmiştir (Çakıroğlu vd., 2009; Küleççi, 2018b, 2021a; Küleççi ve Yılmaz, 2018; Galan vd., 2019). Günümüz de daha çok tahkimat elemanı olarak kullanılan püskürtme betonda sönümlenme, tokluk, sıçrama, basınç ve çekme dayanımı üzerine birçok araştırma yapılmıştır (Hahn ve Holmgren, 1979; Homgren, 1993; Malmgren vd., 2005; Saiang vd., 2005). Yapılan bu araştırmalarda betonun çekme, darbe dayanımı, tokluk gibi özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile beton içerisine farklı oran ve özellikte lif yapıları katılmıştır (Homgren, 1993; Çakıroğlu vd., 2009; Yun vd., 2015).

Betonda çekme dayanımının artırılmasına yönelik farklı lif yapılarının kullanılması 1900 lü yıllara dayanmaktadır (Yurdakul, 2001). Lif içeren yapılar, donatısız betondan farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip bir yapı olduğu için

sürekli ilave malzeme ve lif yapıları test edilmektedir. Günümüzde püskürtme beton içerisine farklı oranlarda ikame edilen lifler; çelik, plastik, cam ve sentetik malzemeden üretilmektedirler. Gelişen beton teknolojisi ile sentetik lif (polipropilen, polivinil alkol vb.) de püskürtme betonda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Hahn ve Holmgren, 1979; Homgren, 1993; Terzić vd., 2014; Zain, 2018). Üretilen lifli püskürtme betonların dayanımları Tablo 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Örnek püskürtme beton uygulamaları (Çakıroğlu vd., 2009; Küleççi vd., 2015)

**Figure 1.** Example shot-crete applications

Yeraltında ve yerüstünde uygulanan püskürtme beton dayanımını ölçmek için birçok deney yapılmaktadır. Enerji yutabilme kapasitesi lif katkılı betonlarda aranan ve tokluk olarak da ifade edilen en önemli mekanik özelliklerdendir. Püskürtme betonda kullanılan liflerin miktarı, şekli ve narinliği arttıkça özgül kırılma enerjisi, dolayısı ile sünekliliği artırdığı belirtilmiştir (Barros ve Cruz, 2001; Bernard, 2011; Bolat vd., 2014). Sünek davranışın artışı ise ilk çatlak sonrası yük taşıma kapasitesini artıracaktır. İlk çatlaktan kırılıncaya kadar sürecek olan enerji yutma kapasitesine tokluk denir. Bu tokluk değerinin ölçülmesi için çeşitli deneyler yapılmıştır.

**Tablo 1.** Değişik lif tiplerinin mekanik özellikleri (Türk ve Kına, 2017)**Table 1.** Mechanical properties of different fiber types

Lif Cinsi	Çekme dayanımı, (MPa)	Elastisite modülü, (GPa)	Maks. şekil değişirme, (%)	Yoğunluk (ton/m <sup>3</sup> )
Çelik	1100-2760	200	0.5-35	7.8
Polipropilen	552-759	6.9	25	0.9
Akrilik	207-414	8.3	25-45	1.1
Asbestler	552-966	4.1	0.6	3.2
Pamuk	414-690	69	3-10	1.5
Cam	1035-3795	4.8	1.5-35	2.5
Naylon	759-828	83-138	16-20	1.1
Polyester	724-863	2.1	11-13	1.4
Pamuk-Yün	414-621	3.5	10-25	1.5

Birçok araştırmacı püskürtme betonda kullanılan değişik lifler ile bu liflerden değişik oranlarda kullanarak üç noktalı eğilme, basınç, çekme dayanımını gibi deneyleri yapmışlardır (Barros ve Cruz, 2001; Bolat vd., 2014; Grünwald ve Walraven, 2001; Nemkumar, vd., 1994). Yapılan araştırmalarda kullanılan liflerin narinlik oranlarının ve geometrilerinin de enerji yutma kapasitesini ve elastisite modülüne etkisi olduğu ortaya konmuştur (Galobardes vd., 2014; Nemkumar vd., 1994). Püskürtme betonda enerji yutma kapasitesinin ölçümü genel olarak plak eğilme deneyi ile ölçülmektedir (Hooton vd., 2001; Tunçdemir ve Güçlü, 2014).

## 2. Materyal ve Metot

Beton içerisine ikame edilen lifler betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini tamamen değiştirmektedir. Bu özelliklerden en önemlisi tokluk olarak adlandırılan enerji yutabilme kapasitesidir. Betonun ilk kırılmaya başladığı çatlakla tamamen ayrılincaya kadar geçen sürede ortaya çıkan gerilme grafiğinin altında kalan alana tokluk denir. Enerji yutma kapasitesi yani tokluk, gerilme grafiğinin (yük-sehim eğrisi) altında kalan bölge ile anlatılır.

Püskürtme betonda enerji yutma kapasitesi genel olarak iki farklı yöntemle ölçülmektedir; EFNARC ve Yuvarlak plaka eğilme deneyi.

Bu plaka eğilme deneylerinde tokluk hesabı genel olarak ASTM C 1018 ve JSCE SF-4'e

göre yapılmaktadır (ASTM C 1018, 1997; JSCE SF-4, 1984).

## 3. Bulgular ve Tartışma

Plak deneyleri birçok Avrupa ülkesinde püskürtme betonun enerji yutma kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Genel olarak EFNARC yöntemi kullanılır bunun sebebi daha pratik olması ve net sonuçlar alınabilmesidir.

### 3.1. EFNARC Plaka Eğilme Deneyi

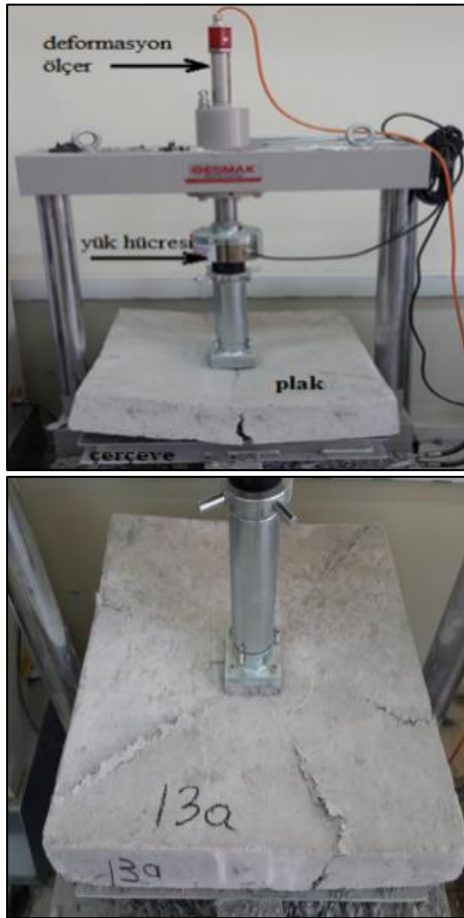
Bu deneyde, standart bir boyutta (600x600x100 mm) oluşturulan plaklar yükleme düzeneğine dört köşesinden serbestçe oturtulur. Oturtma işleminden sonra plak numunesi orta noktadan yükleme hızı 1 (mm/dak) olacak şekilde baskı uygulanır. Deneyde 25 mm'lik plak ortası sehime kadar yutulan enerji esas alınmaktadır (ASTM C 1018, 1997) (Şekil 2).

Plak testi sonucunda elde edilen veriler ile Kuvvet-Sehim grafiği oluşturulur. Oluşturulan bu grafiğin altında kalan alan hesaplaması yapılarak Enerji-Sehim grafiği oluşturularak betonun tokluğu hakkında bilgi elde edilmiş olur (Şekil 3).

### 3.2. Yuvarlak Plaka Eğilme Deneyi

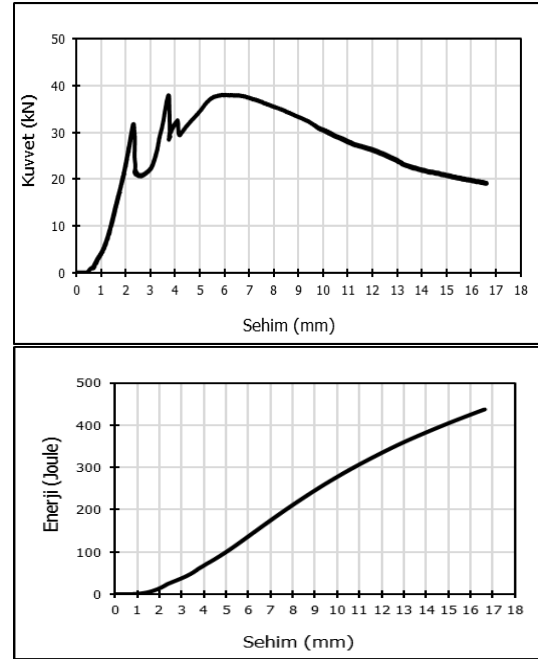
Yuvarlak plaka eğilme deney düzeneğinde isminden de anlaşılacağı üzere numuneler yuvarlak şekillidir. Yuvarlak şekilli deney numunesi 120°'lik açılarla konumlandırılmış 3 adet basit yapılı ayağın üzerine konulur

(ASTM C 1018, 1997) (Şekil 4). Yapılan deneyde yuvarlak plaka üzerine uygulanan sabit yükleme hızıyla aksiyal yük altındaki numunenin odak noktasının (merkezinin) düşey yönde yer değiştirme miktarı hesaplanır. Deneyde devam eden yükleme sırasında oluşan çatlakların geometrik yapısı ve şekli incelenmelidir (Deng et al., 2016; Manca et al., 2018). Genellikle eğilme gerilmesi sonrası genellikle  $120^\circ$  açılarla bölünmüş 3 adet net şekilde görülen çatlak meydana gelir. Ortaya çıkan bu çatlaklar deney numunesinin sünek özellik gösterdiğinin kanıtıdır. Aksi durumda plak yükleme sonrasında merkez noktası çok az yer değiştirmiş ise kırılmada kayma gerilmesi oluşmuştur. Bu tür yenilme çok ani ve tahripkâr özellik taşır ve deneysel çalışmaların değerlendirilmesinde dikkate alınmalıdır (Arioğlu vd., 2008; Deng vd., 2016).



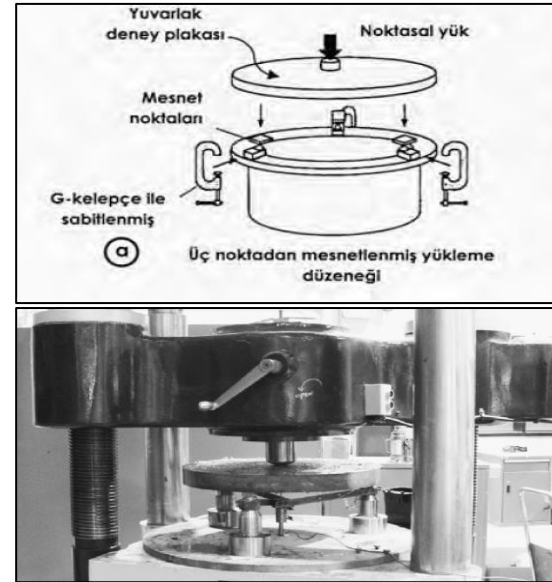
Şekil 2. EFNARC Plaka Eğilme Deney düzeneği (Bolat vd., 2014)

Figure 2. EFNARC Plate Flexural Test rig



Şekil 3. Plak testinden elde edilen Kuvvet-Sehim ve Enerji Sehim grafikleri (Küleççi, 2018b, 2019, 2021b)

Figure 3. Force-Deflection and Energy-Deflection plots from the plate test



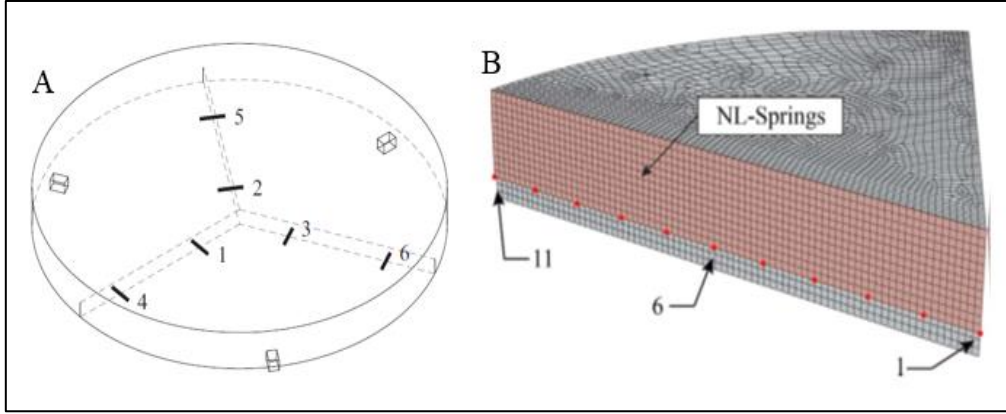
Şekil 4. Yuvarlak plak deney aleti ve çalışması (Arioğlu vd., 2008; Deng vd., 2016)

Figure 4. Round plate tester and its operation

Yuvarlak plak örneklerinin kalınlıklarının tokluğuna etkisi üzerine etkisini inceleyen Ciancio vd. (2016) emilen enerjinin kalınlığa bağlı olduğunu gösteren deneysel bir çalışma

yapmış ve Sonuçların doğrulanması için, absorbe edilen enerji ile malzeme kırılma enerjisi arasında doğrudan bir ilişki sağlayabilecek basit bir analitik model geliştirmiştir. Sonuç olarak, mini bulutlu RDP testiyle birlikte klasik tasarım araçlarının

kullanılmasına olanak tanıyan yeni bir tasarım prosedürü önermiştir ve analitik modelde tanımlanmış hipotez hem deneysel hem de doğrusal olmayan bir sayısal model vasıtasıyla doğrulanmıştır (Şekil 5).

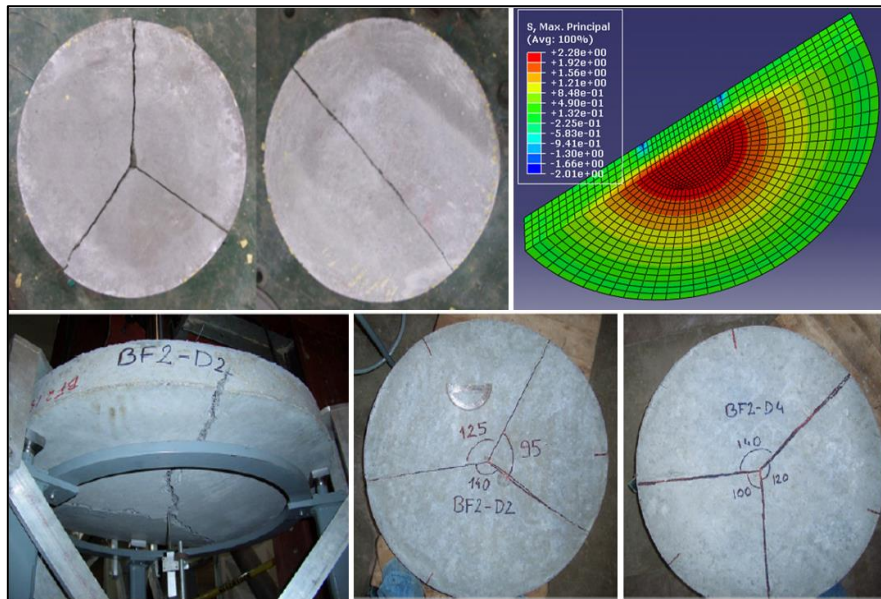


**Şekil 5.** a) Yuvarlak plak örneklerinin şematik 3 radyal çentiklerini, desteklerin ve klips göstergelerinin konumunu göstermektedir. b) Sonlu eleman örgüsü: Kırmızı alan, düğüm noktalarında doğrusal olmayan (NL) yaylar kullanılarak simüle edilmiş çatlak yüzeyini belirtir (Ciancio vd., 2016).

**Figure 5.** a) Schematic 3 radial notches of round plate specimens, location of supports and clip indicators b) Finite element lattice: Red area indicates crack surface simulated using non-linear (NL) arcs at nodal points

Betonun iki eksenli gerilme mukavemeti için araştırmacılar yuvarlak plak deneyinde farklı öneriler sunmuşlardır. Numune geometrisi, uygun şekilde işlenmesi ve destek koşulları

önermişlerdir (Nour vd., 2011; Kim vd., 2013). Yazarlar destek noktalarının kırılma açısı üzerindeki etkisini inceleyerek yük dağılımı modellemesi yapmaya çalışmışlardır (Şekil 6).



**Şekil 6.** Yuvarlak panelleri için test düzeneği, tipik arıza mekanizmaları ve yük dağılımı modellemesi (Nour vd., 2011; Kim vd., 2013).

**Figure 6.** Test setup for round panels, typical failure mechanisms and load distribution modeling

#### 4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada, lifli betonlarda kullanılan plaka eğilme deneyleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda,

Lifli beton yapılarında statik davranışın ölçülmesi için kiriş yerine “plaka” olarak modellenmesi daha doğru olacağı,

Lifli yapıların bekletilme süreleri (kür süresi) ve beton içerisindeki lif miktarı arttıkça plakanın yuttuğu enerji miktarının da arttığı. Bu durum püskürtme betonun kullanım alanlarında, betondan beklenen mekanik dayanım açısından önemli olduğu, EFNARC Plaka Eğilme Deneyi ile plaklardaki enerji yutma kapasiteleri açıkça ortaya konulabileceği,

Betonun tokluk değerinin belirlenmesinde diğer bir yöntem olan yuvarlak plaka eğilme deneyi ile beton örneklerin absorbe ettiği enerjinin de belirlenebileceği, fakat dikkat edilmesi gereken husus numunelerin geometrisi, numunenin uygun şekilde işlenmesi ve beton örneğin deney sırasında uygulanacak destek koşullarına dikkat edilmesi olduğu,

Yapılan çalışmalarda destek noktalarının kırılma açısı üzerinde etkisinin olduğunu sonuçlarına varılmıştır.

#### Kaynaklar

- Arioğlu, E., Yüksel, A., Yılmaz, A.O. (2008). *Püskürtme Beton Bilgi Föyleri-Çözümlü Problemler*. TMMOB Maden Müh. Odası İstanbul Şubesi.
- ASTM C 1018. (1997). *Standart Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete*.
- Ayış, H.İ. (2010). *Tünel Açma Sistemlerinde Çelik Lifli Püskürtme Betonun Uygulanabilirliği*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Barros, J.A.O., Cruz, J.S. (2001). Fracture energy of steel fiber-reinforced concrete. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 8, 29–45.
- Bernard, E.S. (2011). Influence of geometric factors

on the punching load resistance of early-age fibre reinforced shotcrete linings. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26(4), 541–547.

- Bolat, H., Şimşek, O., Çullu, M., Durmuş, G., Can, Ö. (2014). The effects of macro synthetic fiber reinforcement use on physical and mechanical properties of concrete. *Composites Part B: Engineering*, 61, 191–198.
- Ciancio, D., Manca, M., Buratti, N., Mazzotti, C. (2016). Structural and material properties of mini notched round determinate panels. *Construction and Building Materials*, 113, 395–403.
- Çakıroğlu, A.M., Serdal, T., Çakıroğlu, M.G. (2009). Püskürtme betonda görülen problemler. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2), 43–49.
- Deng, Z., Shi, F., Yin, S., Tuladhar, R. (2016). Characterisation of macro polyolefin fibre reinforcement in concrete through round determinate panel test. *Construction and Building Materials*, 121, 229–235.
- Galan, I., Baldermann, A., Kusterle, W., Dietzel, M., Mittermayr, F. (2019). Durability of shotcrete for underground support—review and update. *Construction and Building Materials*, 202, 465–493.
- Galobardes, I., Cavalaro, S.H., Aguado, A., Garcia, T. (2014). Estimation of the modulus of elasticity for sprayed concrete. *Construction and Building Materials*, 53, 48–58.
- Grünwald, S., Walraven, J.C. (2001). Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(12), 1793–1798.
- Hahn, T., Holmgren, J. (1979). Adhesion of shotcrete to various types of rock surfaces. *4th ISRM Congress, Montreux, Switzerland, September 1979*.
- Homgren, J. (1993). The use of yield line theory in the design of steel fiber reinforced concrete slabs. *Shotcrete for Underground Support IV Proceeding of Engineering Foundation Conference*.
- Hooton, R., Bernard, E., Pircher, M. (2001). The influence of thickness on performance of fiber-reinforced concrete in a round determinate panel test. *Cement, Concrete and Aggregates*, 23, 27.
- JSCE SF-4. (1984). *Standards For Tests Methods of Fiber Reinforced Concrete*, Japan Concrete Institute.
- Kim, J., Kim, D.J., Zi, G. (2013). Improvement of

- the biaxial flexure test method for concrete. *Cement and Concrete Composites*, 37, 154–160.
- Külekcı, G. (2018a). Effect of Different Synthetic Fiber Using Shotcrete on Ultrasonic Pulse Velocity. *The 4th International Underground Excavations Symposium*, 493–499.
- Külekcı, G. (2018b). *Investigation of the Utilization Areas of Construction and Demolition Wastes in the Black Sea Region Instead of Aggregate and Their Areas of Usage in the Mining Industry*, PhD Dissertation, Karadeniz Technical University, Graduate Institute of Natural and Applied Sciences, Turkey.
- Külekcı, G. (2019). Energy absorption measurement in shotcrete by EFNARC plaque deflection experiment. *3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies*, September, 505–508.
- Külekcı, G. (2021a). Comparison of field and laboratory result of fiber reinforced shotcrete application. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 65(2), 463–473.
- Külekcı, G. (2021b). Investigation of fly ash added light concretes with respect to gamma radiation transmission properties of 133 Ba and 137 Cs. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1–12.
- Külekcı, G., Çullu, M. (2021). The investigation of mechanical properties of polypropylene fiber-reinforced composites produced with the use of alternative wastes. *Journal of Polytechnic*, 24(3), 1171–1180.
- Külekcı, G., Kesimal, A., Yılmaz, T., Deniz, A. (2015a). Investigation of shotcrete support in gümüşhane mastra gold mine. *7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 221–229.
- Külekcı, G., Yılmaz, A. O. (2018). Classification of rock and support applications for tunneling, sample of environmental road in Gümüşhane. *The 4th International Underground Excavations Symposium*, 535–540.
- Külekcı, G., Yılmaz, A. O., Yılmaz, T., Özyazıcı, B. (2015b). Excavation and reinforcement applications in Trabzon Akyazı tunnel. *IMCET2015*, 529–540. Antalya.
- Malmgren, L., Nordlund, E., Rolund, S. (2005). Adhesion strength and shrinkage of shotcrete. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(1), 33–48.
- Manca, M., Karrech, A., Dight, P., Ciancio, D. (2018). Image processing and machine learning to investigate fibre distribution on fibre-reinforced shotcrete round determinate panels. *Construction and Building Materials*, 190, 870–880.
- Nemkumar, B., Jean-Francois, T., Denis, B., David, W. (1994). Steel fiber reinforced wet-mix shotcrete: influence of fiber geometry. *Concrete International: Design and Construction*, 16(6), 27–32.
- Nour, A., Massicotte, B., De Montaignac, R., Charron, J.P. (2011). Derivation of a crack opening deflection relationship for fibre reinforced concrete panels using a stochastic model: Application for predicting the flexural behaviour of round panels using stress crack opening diagrams. *Cement and Concrete Research*, 41(9), 964–974.
- Saiang, D., Malmgren, L., Nordlund, E. (2005). Laboratory tests on shotcrete-rock joints in direct shear, tension and compression. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 38, 275–297.
- Terzić, A., Andrić, L., Mitić, V. (2014). Mechanically activated coal ash as refractory bauxite shotcrete microfiller: Thermal interactions mechanism investigation. *Ceramics International*, 40(8A), 12055–12065.
- Tunçdemir, H., Güçlü, E. (2014). Post crack behavior of shotcrete in rock support interaction curve. *Selçuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, 2(2), 31–31.
- Türk, K., Kına, C. (2017). The use of hybrid in cementitious composites. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(6), 671–678.
- Yun, K.K., Choi, S.Y., Yeon, J. H. (2015). Effects of admixtures on the rheological properties of high-performance wet-mix shotcrete mixtures. *Construction and Building Materials*, 78, 194–202.
- Yurdakul, Ş. (2001). *Püskürtme Beton Teknolojisinin TTK Ocakları Ana Galerilerinde Uygulanabilirliğinin Araştırılması*. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.
- Zain, N.E.L. (2018). *An Experimental Study of the Validity of the Round Panel Test Method for Shotcrete*, MSc Thesis, KTH Royal Institute of Technology, School of Architecture and The Built Environment, Sweden.