

PÜSKÜRTME BETONDA BAZALT LİF KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ *Evaluation Of Bazalt Fiber In Shot-Concrete*

M. Çamkerten^{1*}, A. Çalışcı², C.O. Aksoy³

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü
(* Sorumlu Yazar: mehmet.camkerten@gmail.com)

ÖZET

Beton, en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden birisidir. Günümüzde, betonun farklı alanlarda kullanılma ihtiyacının artması, beton teknolojisi alanında bazı gelişmelere neden olmuştur. Beton birçok üstün özelliğinin yanı sıra, çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi düşük olan kompozit bir malzemedir. Bu alandaki gelişmelerden birisi de lifli beton üretimidir. Betonun bu zayıf özelliğinin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli türlerde lifler katılmaktadır. Özellikle, tünel inşaatlarında ve metalik maden galerilerinde lifli betonlar çok sık kullanılırlar. Genellikle günümüzde çelik ve polimer lifli betonlar kullanım alanı bulmuştur. Bu çalışmada, son dönemde kullanım alanı bulan bazalt liflerin püskürtme betonda kullanım şartları incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Lifli beton, doğal lif, çelik lif, polimer lif, bazalt lif.

ABSTRACT

Concrete is one of the most widely used building materials. Today, the need to use concrete in different areas has led to some improvements in the field of concrete technology. Concrete is a composite material with many superior properties as well as tensile strength and tensile capacity. One of the developments in this area is the production of fiber concrete. Various types of fibers are incorporated in order to improve this weakness of concrete. Especially, in tunnel constructions and metallic mine galleries, fibrous concretes are frequently used. Usually today, steel and polymer fiber concrete has been found to be used. In this study, the usage conditions of the basalt fibers, which have been used in recent years, were investigated.

Keywords: Fiber reinforced concrete, natural fiber, steel fiber, polymer, basalt fiber.

1. GİRİŞ

Tünel inşaatlarında ve metalik yeraltı madenlerindeki galerilerde hem dayanım hem de iş süresi açısından çelik hasır yerine lifli püskürtme beton kullanım alanı bulmuştur. Püskürtme betonda genel olarak çelik tel ve polimer elyaf lif olarak kullanılır. Son dönemlerde, doğal malzeme kullanılması amacıyla bazalt liflerin betonda kullanılabilirliği sorgulanmaktadır. Dayanım olarak gerekli standartları sağlamasına karşın ekonomiklik açısından incelemeler devam etmektedir. Çelik lifli püskürtme beton, içinde homojen dağılmış çelik lifler bulunan ve basınçlı hava ile uygulanacak yüzeye, yüksek hızla püskürtülen harç veya betondur. Püskürtme betonda çelik liflerin kullanımındaki öncelikli amaç, çelik hasır donatının yerleştirilmesindeki zorlukların ve zaman kayıplarının azaltılması, hatta ortadan kaldırılmasıdır. Çelik liflerle güçlendirilmiş püskürtme betonun yeraltı tahkimatlarında ilk uygulamaları, Kuzey Amerika'da 1970'li yıllarda başlamıştır. İlk uygulamalarda, çelik lif olarak 0,25 mm çapında ve 25 mm uzunluğundaki düzgün teller kullanılmış, çimento ile agrega karışımına ağırlıkça % 3-6 arasında katılmıştır (Yurdakul, 2001). Çelik lif, 1973 yılında ilk kez bir yaklaşım tüneline (Rivie Barajı, Idaho, ABD) uygulanmıştır (Özbayoğlu ve Kenet, 1989). 1980'lerden sonra, çelik lifli püskürtme betonun mühendislik özellikleri üzerinde yapılan çok sayıda araştırmaya paralel olarak üniform karıştırmayı sağlayan besleme ekipmanlarının da geliştirilmesiyle, çelik lifin betonda kullanımı yaygınlaşmıştır.

Çelik lifli püskürtme beton, uluslararası tünel uygulamalarında çelik hasırlı püskürtme betonun yerini almaya başlamıştır. Bu olgunun temel nitelikleri şöyle özetlenebilir:

- Çelik hasırlı kaplamada, hasırdan dolayı püskürtme betonun yapışma özelliğinin çok değişken olması ve geri sıçramanın özellikle tavan bölgelerinde % 40 gibi yüksek değerlere ulaşması.
- Çelik hasır kullanıldığında, tünel cidarı ile hasır arasında kalan boşluğun doldurulamaması ve bu nedenle kaplamanın nem-su gibi dış etkenlere açık olması.
- Çelik hasırın tünel cidarlarına tespit edilmesi ve yerleştirilmesi işlemlerinde harcanan “zaman” ve “işçilik” girdisinin tünel ilerlemesindeki yüksek payı.
- Kaya patlaması gibi ani ve tahripkâr özellik sergileyen dinamik zorlamalarda, yaşamsal işlevi olan “süneklik özelliği” nin çelik lifli püskürtme beton kaplamalarında daha iyi gerçekleştirilmesi.
- Çelik lifli püskürtme betonun taşıyıcılık özellikleri nedeni ile “kaplama kalınlığı” hasırlı kaplamaya kıyasla daha düşük olması, böylelikle anlamlı boyutta “kazı ekonomisi” yaratması.

Çelik telleri betonda kullanmanın başlıca beş yararı vardır:

- a) Yüksek taşıma kapasitesine sahip sünek beton.
- b) Donatı korozyonunun oluşmadığı düzgün beton yüzeyinin elde edilmesi.
- c) Etkin çatlak kontrolü.
- d) Dayanıklılık.
- e) Donatı işçiliğinde belirgin azalma.

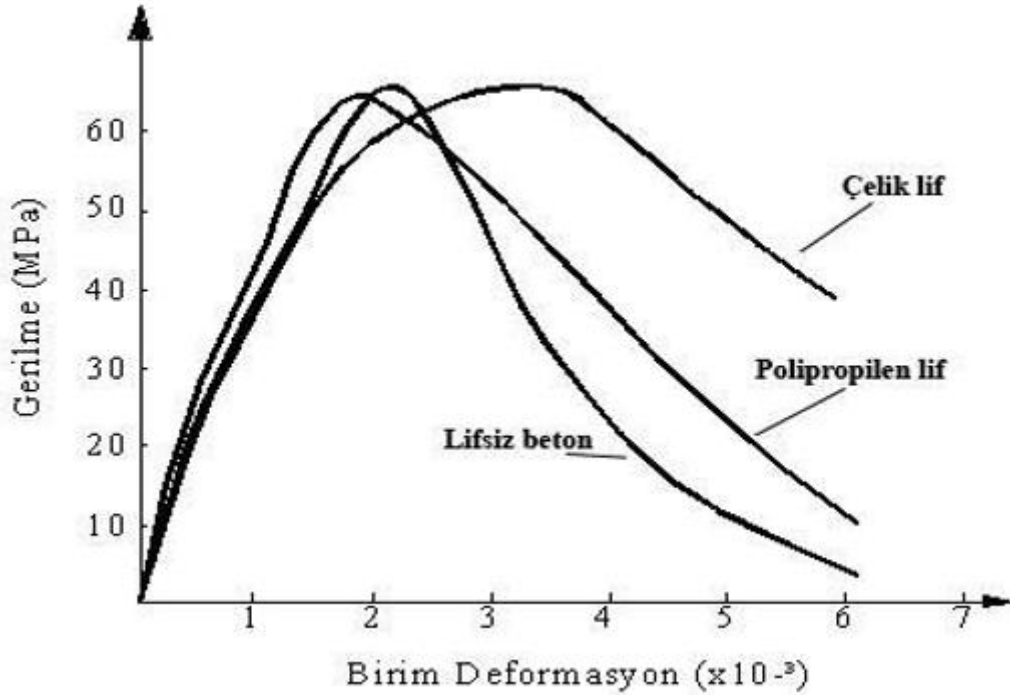
Çelik teller beton içinde yüzey ve kenarlar da dahil olmak üzere homojen biçimde dağılır. Betonun sertleşmesi sırasında, hidrasyon süreci malzeme içinde sayısız küçük boşluklara ve çatlaklara neden olur. Çekme gerilmelerinin rastlantısal doğasına çelik teller karşı koyar; rötre çatlakları oluşmadan, şekillenmeden ve daha fazla büyümeden önlenir.

Polipropilen lifler ilk olarak 1960’ larda betonda kullanılmıştır. Polipropilen, sentetik hidrokarbon polimerdir. Polipropilenlerin hidrofobik oluşu çimento matrisi ile zayıf bağ meydana getirmesine neden olmaktadır. Ayrıca bu yapıdan ötürü düşük ergime sıcaklığı, kolay tutuşabilen ve diğer sentetik liflere göre daha düşük elastisite modülüne sahiptir. Polipropilen liflerin düşük çekme gerilmesi ve düşük elastisite modülü onları plastik şekil değiştirmeye sürükler.

- Polipropilen lifler, basınç dayanımını lifsiz yüksek dayanımlı betona göre % 0,4 - 0,5 civarında azaltmakta.
- Çekme dayanımlarını da % 12 ve % 14 oranında arttırmaktadır.
- Çekme dayanımı, lif yoğunluğu ile oluşan boşluklara rağmen, yük arttıkça yükselen moment kolu daha çok lifli betonda sıyırmaya karşı zorlamaktadır. Bu da mukavemette artışı sağlamaktadır.

Bazalt lifler ve epoksi reçine kullanılarak betonarme yapılarda kullanılan çelik formunda üretilen bazalt lifli donatı Amerika, Rusya ve Ukrayna gibi ülkeler başta olmak üzere birçok ülkede, bazı yapı elemanlarında donatı çeliğine alternatif olarak kullanılan ürünlerdendir. Lifli donatı, özellikle korozyon bulunan yapı elemanlarında donatı çeliği için önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Donatı çeliğinden daha yüksek dayanıma sahip olan bazalt lifli donatı, çelik donatıya oranla yaklaşık üç kat daha hafiftir. Aynı zamanda termal genleşme katsayısı da betonun genleşme katsayısına oldukça yakındır. Alkali reaksiyonlara karşı yüksek direnci de dikkate alındığında, birçok alanda donatı çeliğine alternatif olma potansiyeli bulunmaktadır. Bazalt elyaflar kısıtlı olsa da ülkemizde bilinmekte ve kullanılmaktadırlar. Farklı boyutlarda üretilebilme olanağı vardır. 20 mikron çapında liflerden oluşan ve genellikle 5 mm ile 100 mm arasında uzunluğa sahip olarak üretilen lifler beton içerisinde üç boyutlu olarak donatı etkisi oluşturmaktadır. Hafif olduğu için beton içerisinde homojen dağılması mümkündür. Bazalt elyafların betona karıştırılması ile fiziksel ve teknik bazı avantajlar sağlanmaktadır. Örneğin beton içerisinde oluşan çatlaklar ciddi oranda azalmakta, betonun eğilme ve çekme etkisi altındaki performansı artmakta, geçirimsiz ve don dayanımı yüksek betonlar elde edilebilmektedir. Benzer şekilde betonun yorulma dayanımı ve aşınma dayanımı da artmaktadır. Bazalt lifin, betonun kuru karışımı hazırlanırken karışıma ilave edilmesi ve normal betona göre karışım süresinin %20 artırılması

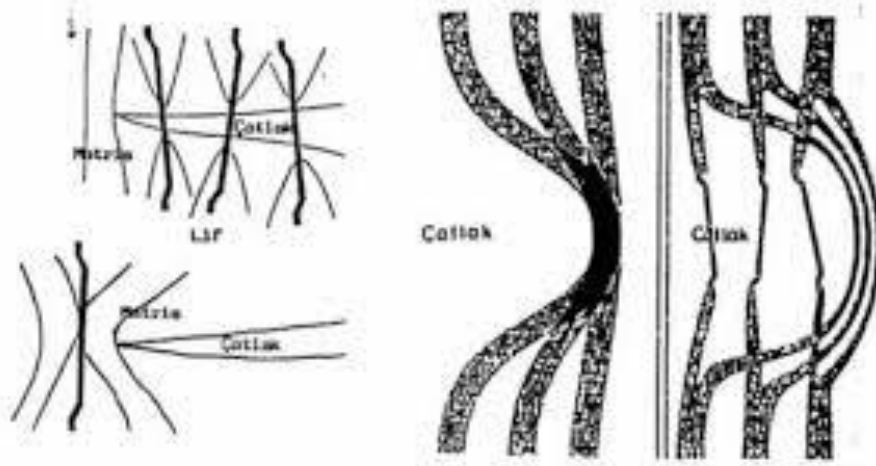
önerilmektedir. Topaklanma riski olduğundan taze beton içerisine sonradan ilave edilmesi tavsiye edilmemektedir. Lifli betonların 28 günlük Gerilme-Deformasyon Eğrisi Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Lifli Betonların 28 Günlük Gerilme Deformasyon Eğrisi (Sarı, 2013)

2. Beton Üretiminde Bazalt Fiber Kullanımının Değerlendirilmesi

Lif donatılı betonlarda kullanılan lifler, yüksek çekme mukavemetleri sayesinde, betondaki çatlakların başlangıcını, yayılmasını ve birleşmesini önlerler. Amacına uygun yeterli miktarlarda kullanılan lifler betonda oluşabilecek çatlaklardaki gerilmeleri betonda çatlak oluşmamış kısımlara iletirler. Lifler çatlak sonlarına bitişik olduklarından, matristeki gerilmelerin üzerlerinden geçmesini ve böylece daha önce çatlamamış beton kesitlerinin de dayanımından yararlanılmasını sağlamaktadırlar. Bu durum Şekil’2 de görülmektedir. Çatlakların oluştuğu bölgede bu şekilde taşıma gücü artırılarak, mühendislik özellikleri gelişmiş bir malzeme elde edilmektedir. Şekil 2’de lif etkisinin betonlarda gerilme şekil değiştirme bağıntısı üzerindeki etkisi görülmektedir.

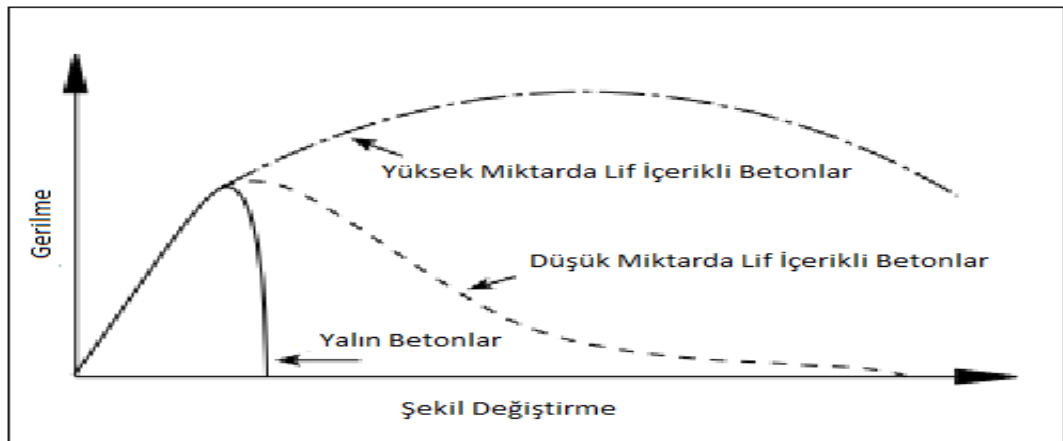


Şekil 2. Fiber kullanımı (Sarı, 2013)

Şekil 2’ de Liflerin gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması görülmektedir. Liflerin betona verdiği katkıları kısaca şu şekilde sıralanabilir;

- Taze betonda çatlakların oluşmasını engeller,
- Çekme ve eğilme dayanımlarını artırır,
- Çarpma dayanımını ve tokluğu artırır,
- Gevrek kırılmayı engeller,
- Durabiliteyi artırır

Şekil 3’de lif miktarına göre betonlardaki gerilme-deformasyon karakteristiği temsili olarak verilmektedir.



Şekil 3. Gerilme kuvvetleri (Sarı, 2013)

3. Laboratuvar Çalışmaları

Bu araştırmada, bazalt lif ve bazalt elyaf katkılı betonlarda yapılan deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bazalt lif içeren betonların dayanım parametreleri, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı (eğilmede çekme) ve kırılma enerjileri hesaplanarak yalın betonla kıyaslanmıştır.

Bazalt liflerinin 24 mm uzunluğunda kırılmasıyla üretimi yapılan bazalt elyaf ürünü, beraber kullanılacağı malzeme ile uyum sağlaması için sizing ile kaplanmıştır. Bazalt lifler, yüksek mekanik ve termal özelliklere sahip olması nedeniyle pek çok alanda kullanılmaktadır. Uygulama alanları; mikrodonatı oluşturma için beton katkısı olarak, termoplastik enjeksiyon parçalarının mekanik olarak güçlendirilmesinde olarak sayılabilir. Teknik Özellikleri; Çekme Dayanımı: 4840 MPa, Elastisite Modülü: 89 GPa, Uygulama Sıcaklık limitleri -260°C - +982°C, Ergime Sıcaklığı 1450°C, Özgül Ağırlık 2,60-2,80 gr/cm³, Elyaf Çapı: 9-23 mikron. Bazalt liflerin görünümü Şekil 4’de verilmektedir.

Bazalt liflerin kullanıldığı püskürtme beton örneklerinin dayanım parametrelerini belirleyebilmek amacıyla bazı laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde PORTLAND TS EN 197 -1 CEM 1 42.5 R Çimento kullanılmıştır.

Tek eksenli basınç dayanımı ve kırılma enerjilerini hesaplamak için 15x15x15 cm boyutlarında 16 adet küp numune, eğilme dayanımı belirlemek amacıyla 45x10x10 cm boyutlarında 12 adet çentikli kiriş numune üretilmiştir. Önceden etüvde kurutulmuş ve kuru, ıslak ağırlıkları tartılmış 0-3 mm boyutlarında 21,238 kg, 0-5 mm boyutlarında 20,792 kg, 5-15mm boyutlarında 14,274 kg ve 15-25mm boyutlarında 14,205 kg agrega kullanılmıştır (Şekil 5).

Akışkanlaştırıcı malzeme LYKSOR LEXP 917 (Şekil 6) kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda lifsiz betonda 34 g, 2kg/m³, bazalt lifli betonda 45 g, 6 kg/m³ bazalt lifli betonda 90 g, 10kg/m³ bazalt lifli betonda ise 102 g akışkanlaştırıcı malzeme kullanılmıştır.



Şekil 4. Bazalt lifi (24 mm kırılmış)

Yapılan farklı bazalt lif içerikli betonlarda, çırpıcı içine 6,865 kg su eklenmiştir. Mikser içinde önce agrega konulur ve karıştırılır, 2. Aşama olarak bazalt lif konulur ve karıştırılır, 3. Aşama olarak Portland CEM1 çimento konulur ve karıştırılır, 4. Aşama olarak su eklenir ve mikser içerisinde karıştırılır ve son olarak akışkanlaştırıcı konularak beton elde edilir. Gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarında kullanılan malzeme miktarları Çizelge 1’de verilmektedir.

Üretilen betonlarda, taze beton deneylerinden slump (çökme) (Şekil 7) ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden önce çırpıcı ’den boşaltılan betonun sallantılı masada içindeki hava kabarcıklarının atılması sağlanmıştır. Lifsiz beton deneyinde, slump uzunluğu 16 cm, 2kg/m³ bazalt lif içeren beton deneylerinde 18,30 cm, 6kg/m³ bazalt lif içeren betonda 24,30 cm ve 10kg/m³ bazalt lif içeren beton da slump uzunluğu 8 cm’dir (Şekil 8).

Çizelge 1. Ağırlık Hacim Tablosu

Malzeme	Ağırlık kg/m ³	Hacim dm ³
Çimento	350,00	4,52
Uçucu Kül	0,00	0,00
Su	171,62	6,86
0-3 agrega	519,79	8,21
0-5 agrega	530,96	8,11
5-15 agrega	356,84	5,28
15-25 agrega	355,12	5,27
Akışkanlaştırıcı	0,00	0,00
Hava	0,00	0,80
Toplam	2284,32	39,06



Şekil 5. Slump ölçümü

Slump işlemi, taze betonun kıvamı ve işlenebilirliği hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla yapılmıştır. Çökme konisi içerisine beton üç kademede şişlenerek yerleştirildikten sonra çökme konisinin yukarı kaldırılması ve betonun kendi ağırlığıyla yayılması sonrasında ilk konumuna göre yükseklik farkı ölçülerek çökme miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen ıslak betonu küp ve çentikli kiriş numunelere koyduktan sonra 24 saat kuruma aşaması beklenmiştir. Beton numuneleri kuruduktan sonra (Şekil 9), yüksek basınçlı hava ile numune kaplarından çıkartılarak 20 °C ‘ lik bekleme havuzunda 28 gün beklemeye alınmıştır. Betonun tek eksenli basınç dayanımı ve basınç gerilmeleri altında gerilme-deformasyon davranışı normal olarak, tek bir eksende yüklenmiş kiriş veya küp örneklerin eksenel basınç deneyi kullanılarak bulunur.



Şekil 6. Küp ve çentikli kiriş numuneler



Şekil 7. Kurumuş çentikli kiriş ve küp numuneler



Şekil 8: Tek eksenli basınç dayanımı

Örneklerin boy (L) ve çap (D) değerleri kumpas yardımıyla ölçülerek kaydedilir. Numune, hidrolik press tablaları arasına yerleştirilir. Yükün numune üzerine homojen şekilde yayılmasını sağlamak amacıyla numune alt ve üst kısmına numune ile aynı çapta olan çelik diskler konulur. Hidrolik preslerde numunenin üzerine konulduğu alt tabla yukarı doğru hareket eder. Prese bağlı bilgisayar aracılığıyla numune üzerine düşey yük uygulanır. Numune yenildiği anda bilgisayardan yenilme yükü (F_c) okunarak kaydedilir (Şekil 10). Deney, 4 adet numune üzerinde gerçekleştirilir ve her bir numunenin dayanım değerleri hesaplanarak bunların ortalaması alınarak, kayacın Tek Eksenli Basma Dayanımı hesaplanır. Çizelge 2’de gerçekleştirilen deneyler sonrasında elde edilen Tek Eksenli Basınç Dayanımları verilmektedir.

Çizelge 2. Lif miktarına göre Tek Eksenli Basınç Dayanımı sonuçları

Lif Miktarı(kg/m ³)	Tek Eksenli Basınç Dayanım (MPa)
2	33,40
6	28,50
10	33,60

Beton kirişlere eğilme yüklerinin uygulanması ile eğilme dayanımının ve dolaylı olarak çekme dayanımının elde edilir. Bu yöntemde, kiriş beton örnekleri iki mesnet üzerine yerleştirilir ve ortadan tekil veya üç te bir açıklıklarda çift tekil yük uygulanarak eğilme etkisi yaratılıp örnekler kırılmaktadır (Şekil 11).

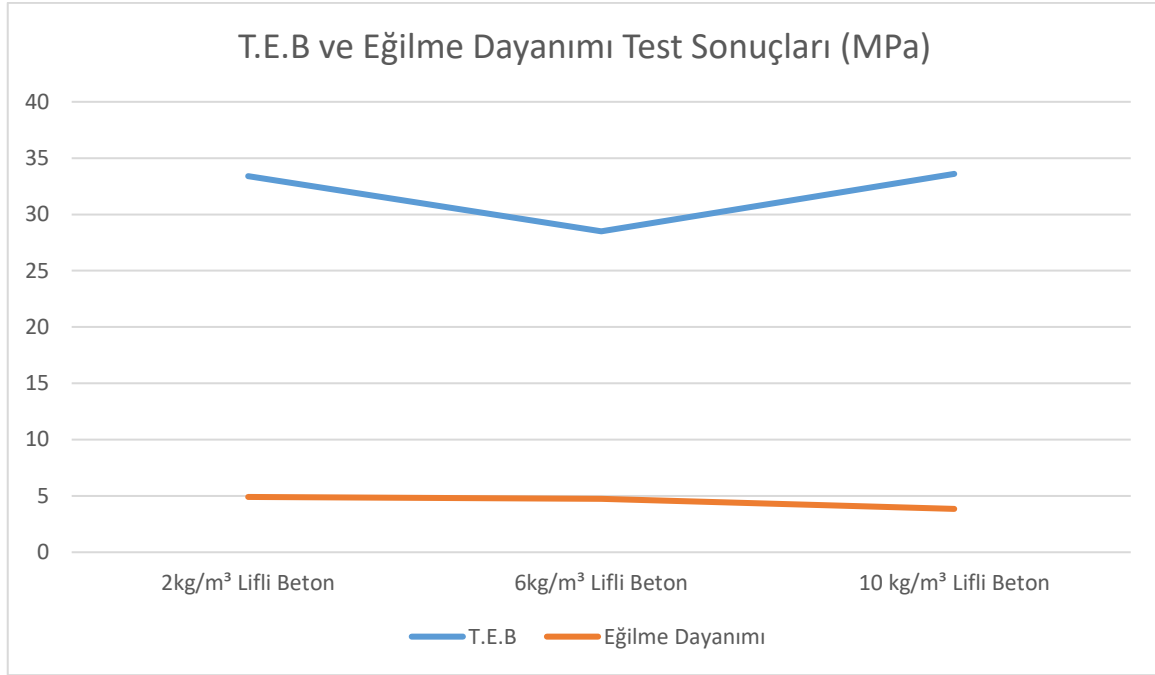


Şekil 9. Eğilme Çekme Dayanımı

Bu deneyde, donatı içermeyen beton bir kirişi eğmek üzere, yenilme gerçekleşene kadar iki noktadan veya tek noktadan yükleme yapılır. İki noktadan yükleme durumunda, yükleme noktaları açıklığın üçtebir kısımlarına yerleştirildiği için 'dört-noktalı yükleme deneyi' olarak isimlendirilir. Betonun eğilme dayanımı bulunması ile ilgili standartlar şunlardır; TS EN 12390-5, ASTM C 78 ve ASTM C 293. ASTM C 293 standardında, beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki mesafenin orta noktasından (L/2 mesafesinde) yüklenmesi durumundaki deney yöntemini açıklamaktadır. ASTM C 78 ise, beton kirişin oturtulduğu mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi durumunda eğilme dayanımının nasıl bulunması gerektiğini anlatmaktadır. Çizelge 3'de elde edilen eğilme dayanımları verilmektedir. Tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımlarının karşılaştırıldığı grafik Şekil 10'da verilmektedir. Püskürtme betonda çelik ve polimer liflerinde kullanıldığında daha önce bahsedilmiştir. Bu liflerin dayanım özellikleri ile bazalt liflerin dayanım özelliklerinin karşılaştırması Çizelge 4'de verilmektedir.

Çizelge 3. Lif miktarına göre Eğilme Dayanımı Deneyleri sonuçları

Lif Miktarı(kg/m ³)	Eğilme Dayanımı (MPa)
2	4,91
6	4,75
10	3,85



Şekil 10. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Eğilme Dayanımı deney sonuçları

Çizelge 4. Farklı lif içerikli betonların dayanım özelliklerinin karşılaştırması

Lif Tipi	Eğilme Dayanımı (MPa)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
Çelik Lif(20 kg/m ³)	6,84	32,20
Polimer Lif(2,3 kg/m ³)	6,18	36,90
Bazalt Lif(2,0 kg/m ³)	4,91	33,40

4. Sonuç

Bazalt lif katkılı olarak hazırlanan kiriş ve küp numunelerin kullanıldığı bu çalışmada, betonun basınç ve eğilme testleri gerçekleştirilerek malzeme davranışı tespit edilmiştir. Ayrıca, polipropilen lif ve çelik lif katkılı betonların, bazalt lif katkılı betonlara göre kıyaslama yapılmıştır. Bu sonuçlar kullanılarak püskürtme beton ve tünel çalışmaları için örnek bir çalışma yapılmıştır.

Bazalt lifli beton karışımlarında farklı oranlarda lifler kullanılarak, oran değişiminin beton davranışına etkisi gözlemlenmiştir. Çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- 28 günlük Küp numunelere yapılan tek eksenli basınç dayanımı testi sonucunda bazalt lifli beton karışımları arasında en yüksek dayanım 10 kg/m³ lifli betonda 33.6 MPa 'dır. Tüm beton karışımları arasında en yüksek dayanım polimer lifli beton karışımından elde edilmiştir.
- 28 günlük kiriş numunelere yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçlarında en yüksek dayanım çelik lifli beton karışımından elde edilmiştir.
- Bazalt lifli çentikli kiriş numuneleri, 28 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde, 4.91 MPa dayanım ile en yüksek 2 kg/m³ bazalt lif içeren numuneden elde edilmiştir.
- Küp ve kiriş beton numunelerin birim ağırlıkları testlerden önce hesaplanmış ve birim ağırlık artışıyla test sonucu belirlenen basınç ve eğilme dayanımlarında belirgin bir değişim olmadığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak üretimi gerçekleştirilen beton numuneleri içinde, lif katkılı olan betonların donatısız şahit numunelere göre ve kuru püskürtme beton işleminde kullanılacak numunelerin eğilme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. Beton, tünellerde kullanılabilirlik bakımından karşılaştırıldığında sırasıyla çelik lif, polipropilen lif ve bazalt lif katkısıyla en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Araz, N. G., Aksoy, A., İskender, E., Sayın, A. (2018) Beton Üretiminde Bazalt Fiber Kullanımının Değerlendirilmesi 9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği

Arslan M.E., 2017. Bazalt liflerin geleneksel betonların mekanik özellikleri ve kırılma enerjilerine etkilerinin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 203-208.

Devlet Planlama Teşkilatı, (Çimento Sanayi) Özel İhtisas Komisyon Raporu, DPT, (2006), Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007- 2013) Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler.

Erdoğan T., 2000. Türkiyede Üretilen Çimentolar, Özellikleri ve Kullanımları. Web adresi: <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12317.pdf>

Avcıoğlu, M., 2012. Malzeme Bilimi Yapı Malzemeleri ve Deneyle, Birsen Yayınevi

Günaydın, A. , Güçlüer K., 2018. Bazalt lifi Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 416-424

Kapkaç, F. 2016. Çimento Çeşitleri, Özellikleri, Hammaddeleri Ve Üretim Aşamaları. Web adresi: http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2013_16/223.pdf (Erişim tarihi: 11.5.2019)

Sarı, M. 2013. Farklı Tipteki Liflerin Betonun Davranışlarına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Özdoğan, M. V. (2009) Yeraltı yapılarında püskürtme beton ve dolgu dizaynı. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir

Yeğinoğlu, A., 2009. Çimento- Yeni Bir Çağın Malzemesi, TÇMB Yayınları.

Yeğinoğlu A. ,Ertün, A., 2007. Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar, TÇMB Yayınları