

Farklı Görünüm Oranlı Bazalt Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi

Meral OLTULU^{1*}, Hasan OKTAN¹

ÖZET: Performans özelliklerini içerdiği bileşen türü, bileşen miktarları ve farklı katkılarla değiştirebildiğimiz betonun en fazla kullanılan özel halinden biri de lifli betonlardır. Lif türü açısından bazalt liflerin özellikleri ve betona uyumu çoğu lif türüne göre daha iyidir. Çalışmada lifsiz kontrol betonlarına göre farklı görünüm oranlarında bazalt lif içeren betonların mekanik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, su/çimento oranı 0.46 olan, 400 dozlu, %5 filler katkılı lifli ve lifsiz beton numuneler üretilmiştir. 3mm, 12 mm ve 24 mm uzunluğunda üç farklı l/d oranlı (160, 630 ve 1263) bazalt lifler beş farklı hacimsel oranda %0.025, 0.05, 0.10, 0.15 ve 0.20 betona eklenmiştir. Bazalt lifli betonların basınç dayanımı için l/d oranından bağımsız olmak üzere genelde hacimce %0.05 oranından yüksek oranların kullanılması olumsuz sonuçlar vermiş, eğilmede çekme dayanımı için ise hemen hemen tüm grupların dayanım değerleri artmıştır. Çalışmadan çıkan bir diğer sonuçta mekanik özellikler açısından genel itibari ile iyi sonuçlar veren 3 mm (l/d:160)'lik liflerin kullanılması gerektiğidir.

Anahtar kelimeler: bazalt lif, lifli beton, mekanik özellikler

Effect of Aspect Ratio of Basalt Fiber on the Mechanical Properties of Concrete

ABSTRACT: One of the most used special types of concrete we can change with component types, component quantities and different additives that are included in performance characteristics is fiber concrete. In terms of fiber type, the properties of basalt fibers and their compatibility with concrete are better than most fiber types. In the study, the change of the mechanical properties of concrete containing basalt fiber at different aspect ratios according to non-fiber (control) concrete was investigated. For this purpose, samples of fiber and non-fiber concrete with a water/cement ratio of 0.46, 400 doses, 5% filler added were produced. Three different l/d ratios (160, 630 and 1263) of basalt fibers in 3 mm, 12 mm and 24 mm lengths were added to the concrete in 0.025%, 0.05, 0.10, 0.15 and 0.20 in five different volumes. For compressive strength of basalt fiber concretes, the use of higher ratio of 0.05% by volume, which is independent of l/d ratio, gave negative results and almost all groups have increased resistance values for bending tensile strength. As a result, 3 mm (l/d: 160) fibers, which give good results in terms of mechanical properties, should be used.

Keywords: basalt fiber, fiber concrete, mechanical properties

¹Meral OLTULU (Orcid ID: 0000-0002-3779-6888), Hasan OKAN (Orcid ID: 0000-0002-2680-6390), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu yazar/Corresponding Author: Meral Oltulu, e-mail: mroltulu@atauni.edu.tr

* Bu çalışma Hasan OKTAN'ın Yüksek Lisans tezinin bir bölümüdür

GİRİŞ

Günümüzde betonda aranan başlıca üç temel özellik; işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılıktır (Baradan ve ark., 2012). İstenen özelliği sağlaması ve düşük çekme, eğilme dayanımı gibi dezavantajlarının ortadan kaldırılması adına gerektiğinde farklı katkı malzemeleri ile kullanım amacına uygun beton dizaynları geliştirilmiştir. Bu amaçla hafif beton, ağır beton, su altında dökülebilen beton, prepakt beton, kendiliğinden yerleşen beton ve lifli betonlar olmak üzere birtakım özel beton türleri geliştirilmiştir. 1960'lı yıllardan itibaren betona taze halde iken çeşitli yöntemlerle, değişik miktarlarda eklenen belirli bir (boy/çap) narinlik oranına sahip, süreksiz, farklı tiplerde liflerin katılmasıyla oluşturulan lifli beton kavramı günümüze kadar gelişerek gelmiştir (Mindess ve ark., 2003). Lif olarak tanımlanan malzemeler metal, polimer, mineral esaslı olabilmektedirler (Osman ve ark., 2007).

Lifli beton, normal betonun özellikle çekme gerilmesi altında kırılma yapısını değiştirmek için ortaya çıkmış beton türüdür. Rastgele dağılan lifler beton içerisine karıştırıldığında (kırılmaya sebep olan) çatlaklarda köprü kurarak çatlağın genişlemesini durdurabilirler. Böylece normal betona liflerin eklenmesi betonun mekanik davranışını artırabilir (Branston ve ark., 2016). Lifler betonların tokluk, yorulma, ilk çatlak dayanımı gibi özelliklerini iyileştirmektedirler (Song ve Hwang, 2005; Nili ve Afroughsabet, 2010).

Lif türü ve oranı bu konuda en önemli parametreler olmak üzere yapılan çalışmalarda metalik, polimer ve seramik lifler (çelik, polipropilen, poliamid, polietilen, bazalt vb. lifler) gibi farklı kimyasal ve fiziksel yapıya sahip liflerin etkileri, optimum kullanılma oranları araştırılmıştır (Oltulu ve ark., 2007; Nili ve Afroughsabet, 2010).

Betonda en çok kullanılan lif türlerinden bazalt lifler; bazalt kayalarının 1400°C'de eritilmesiyle elde edilen maliyet açısından

avantajlı, toksik olmayan ve yalıtım açısından iyi liflerdendir. Bazalt ve cam liflerin her ikisi de silikattır, üretim süreçleri benzerdir. Camın aksine bazalt lifler ikinci malzeme içermez. Üretimde kullanılan teknoloji basittir (Girgin ve Yıldırım, 2016). Cam ve karbon life göre üretiminde katkı maddesi kullanılmadığından dolayı daha ucuzdur, daha az enerji maliyeti gerektirir (Girgin ve Yıldırım, 2016, Fiore ve ark., 2015).

Bazalt lifler cam elyaflara göre daha yüksek çekme dayanımı, karbon fiberlere göre daha yüksek kopma uzamasına sahiptir. Bununla birlikte, darbeye ve yangına karşı yüksek dayanım gösterir ve üretiminde kimyasal madde etkileri ve yangınla açığa çıkan zehirli gazlar daha azdır (Çevik, 2014). Gerilme mukavemeti cam liflerden yüksektir (Branston ve ark., 2016). Taramalı elektron mikroskopları ile bazalt lif ve matris arasında erken yaşlarda çok iyi bir bağlanma görülmektedir. Fakat bu bağ daha sonraki yaşlarda zayıflamaktadır (Jiang ve ark., 2014).

Bazalt lifin kullanılma oranları yapılan çalışmalarda farklılık göstermekle beraber Ralegaonkar ve ark., 2018; harçlar için çimento ağırlığının %1-3'ü arasında oranın kullanılmasını tavsiye ederken, Erdoğan 2014; hacimce %0.25, 0.50, 0.75 ve 1 oranlarında, Borhan, 2012; %0.1, 0.3, 0.5 oranlarında Jiang ve ark., 2014; %0.05, 0.1, 0.3, 0.5 ve Kızıllıkanat ve ark., 2015; %0.25, 0.50, 0.75 ve 1 oranlarında, Arslan 2017; 0.5, 1, 2 ve 3 kg m⁻³ ve Kabay, 2014 ve Dong ve ark., 2017; 2 kg m⁻³ ve 4 kg m⁻³ oranlarında bazalt lif kullanarak çalışmalar yapmışlardır.

Bilindiği üzere lifli betonlarda sadece lif oranı değil aynı zamanda görünüm oranı, narinlik oranı adı verilen l/d özelliğinin de önemi büyüktür. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda daha çok 12 mm ve 24 mm uzunluğunda lifler kullanılmış olup boyu 12 mm' den kısa bazalt liflerle ilgili çalışma çok azdır (Afroz ve ark., 2017; Qin ve ark., 2018) ve l/d etkisine bağlı

olarak bazalt lifin betonun özelliklerine etkisinin incelendiği çalışma da bulunmamaktadır.

Bazalt liflerle ilgili yapılan çalışmalardan görüldüğü kadarı ile narinlik oranı (l/d) ve optimum kullanım oranı ile ilgili hem yerel hem de yabancı literatürde az sayıda çalışma vardır. Optimum kullanım oranı ve ideal narinlik oranı konularında herhangi bir görüş birliğine varılmamıştır. Ayrıca lif boyu olarak 3 mm'nin seçildiği çalışmanın yok denecek kadar olması nedeniyle farklı boy, l/d oranı ve hacimsel kullanılma oranları seçilerek optimum değerlere karar vermek literatürdeki bu eksiği giderebilmek adına çalışmanın temel amacıdır. Çalışmamızda üç farklı boy (3mm, 12 mm ve 24 mm) dolayısıyla l/d oranı (160, 630 ve 1263) ve beş farklı hacimsel oran (%0.025, 0.05, 0.10,

0.15, 0.20) seçilerek mekanik deneyler yapılmış, bazalt lif etkisi incelenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Bazalt lif

Bu çalışmada kullanılan bazalt lifler; Şekil 1'de gösterilen 13-25 µm çapında 3 mm, 12 mm ve 24 mm boyunda olan monofilament liflerdir. Kullanılan lif miktarı betonun hacmi oranında eklenmiştir.

Çimento

Yapılan deneylerde bağlayıcı olarak TS EN 197-1'e uygun Portland Çimentosu (CEM II A-M (P-LL) 42,5 R) kullanılmış, kullanılan çimentonun kimyasal fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Bazalt lif

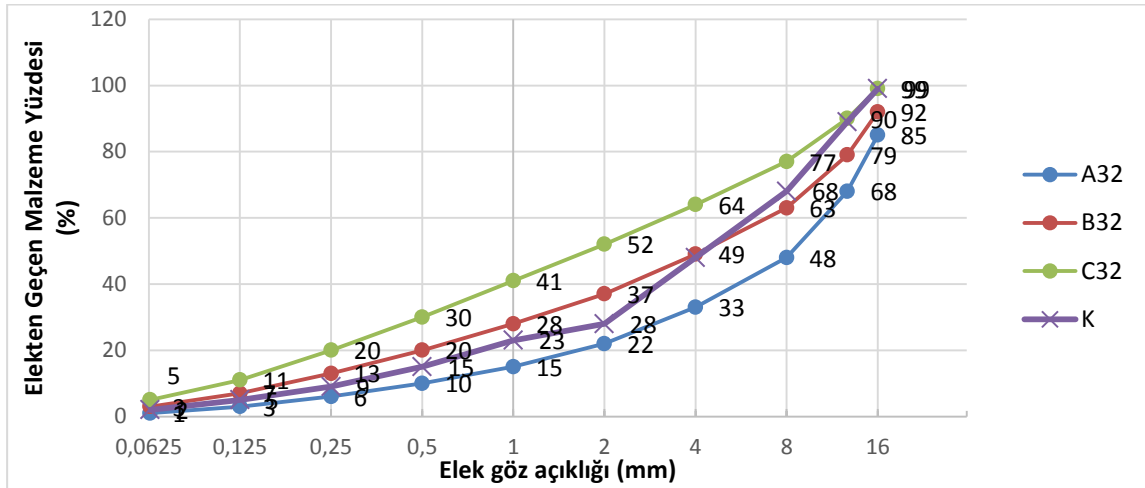
Çizelge 1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Bileşen	Oran (%)	Fiziksel, mekanik özellikler	
SiO ₂	17.60	İncelik(45µm elek üstü %)	6.01
Al ₂ O ₃	4.45	Özgül Ağırlık (g cm ⁻³)	3.01
Fe ₂ O ₃	3.08	Özgül Yüzey (cm ² gr ⁻¹)	4403
CaO	60.02	Priz Başı (saat-dk)	2 sa – 36 dk
MgO	2.29	Priz Sonu (saat-dk)	3 sa – 24 dk
SO ₃	2.67	Hacim Genişlemesi (mm)	0.50
Kızdırma Kaybı	0.49	Su İhtiyacı (%)	29.80
Na ₂ O	0.22	Basınç Dayanımı (MPa) 2.gün	27.46
K ₂ O	0.63	Basınç Dayanımı (MPa) 28.gün	51.03
Cl	0.0144		
Ölçülemeyen	0.54		
Toplam	100		
Serbest CaO	0.69		

Agrega

Üretilen betonlarda kullanılan agregalar maksimum tane boyutu 16 mm olan kırma taş agregalar olup elek analizi sonucunda beton numuneleri için TS EN 933-1:2012(EN)'e uygun standart eğriler (Şekil 2) kullanılarak beton

karışım hesabı yapılmıştır. Ön çalışmalardan hareketle çalışmamızda yeterli işlenebilirlik ve kohezyon sağlanması (Aruntaş ve ark. 2007), liflerin daha homojen dağılması, segregasyon olmaması amacı ile atık mermer tozu karışıma iri agrega hacminin %5'i kadar ilave edilmiştir.



Şekil 2. Karışım hesabında kullanılan agrega granülometrisi

Süper akışkanlaştırıcı

Süper akışkanlaştırıcı olarak polikarboksilat bazlı bir süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Ön denemeler yapılarak süper akışkanlaştırıcı tipine ve karışımdaki oranına karar verilmiş ve süper akışkanlaştırıcı çimento ağırlığının %1.2'si oranında ilave edilmiştir. Süper akışkanlaştırıcının rengi yeşil yoğunluğu ise; $1.045 \pm 0.02 \text{ gr cm}^{-3}$ dir.

Beton karışım hesabı

Özellikleri belirlenmek istenen numune grupları ve 1m^3 betondaki kullanılan malzemeler

Çizelge 2'de verilmiştir. Her bir grubun deney sonuçları 3 numunenin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Numuneler isimlendirilirken kolaylık olması için kodlama yapılmıştır. Burada kodlardaki ilk harf kullanılan lif türünün baş harfini (Bazalt), sayısal değerlerden birincisi lif boyunu ikincisi ise hacimce kullanılma oranını göstermektedir. Beton numunelerinin karışım aşamaları Şekil 3'de verilmiştir. TS EN-206-1 standardına göre beton numunelerinin slump sınıfı S2 (50-90 mm çökme değeri) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Beton karışımı hazırlama prosedürü

Çizelge 2. 1000 dm³ beton karışımında kullanılan malzeme miktarı

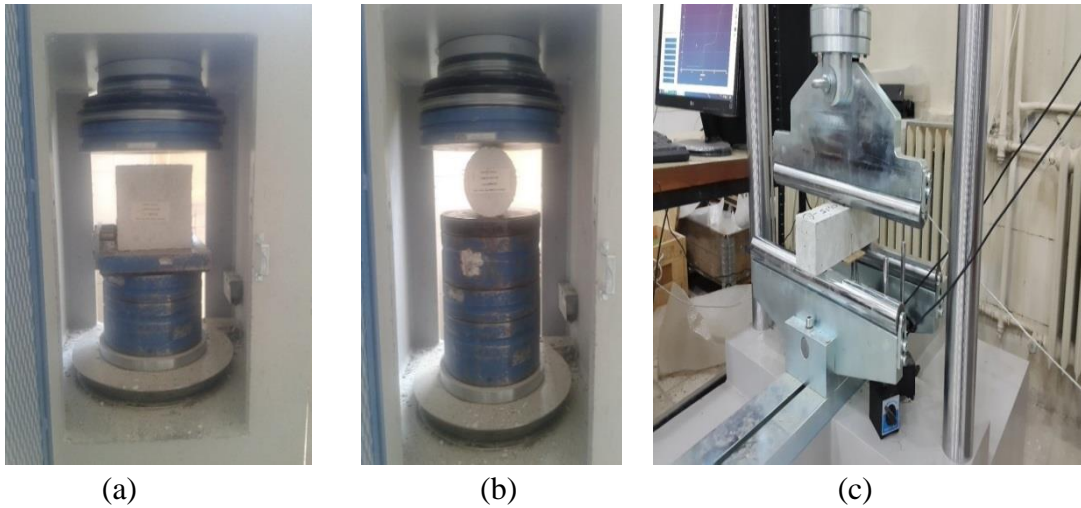
Malzeme	Numune Grupları					
	Referans	%0.025	%0.05	%0.10	%0.15	%0.20
Agrega	0-2 (kg)	510.3	510.3	510.3	510.3	510.3
	2-4 (kg)	264.6	264.6	264.6	264.6	264.6
	4-8 (kg)	331.1	331.1	331.1	331.1	331.1
	8-16 (kg)	381.7	381.7	381.7	381.7	381.7
	16-25(kg)	165.9	165.9	165.9	165.9	165.9
Çimento (kg)	400	400	400	400	400	400
Su (kg)	181.4	181.4	181.4	181.4	181.4	181.4
Akışkanlaştırıcı (kg)	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
Filler (kg)	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5
Bazalt lif 3 mm (kg)	0	0.59	1.17	2.35	3.52	4.69
Bazalt lif 12 mm (kg)	0	0.59	1.17	2.35	3.52	4.69
Bazalt lif 24 mm (kg)	0	0.59	1.17	2.35	3.52	4.69

Yöntem

Basınç dayanımı tayini

Basınç deneyleri, 150x150x150 mm'lik küp numuneler üzerinde 28. günde Şekil 4.a' da gösterilen düzenele yapılmıştır. Yapılan bütün

basınç deneyleri, sabit yükleme hızı altında gerçekleştirilmiş ve yükleme hızı TS EN 12390-3/AC (Anonim 2012)'ye göre 0.4 MPa s⁻¹ olarak alınmıştır. Basınç dayanımı deneylerinde elde edilen sonuçlar Bulgular kısmında verilmiştir.



Şekil 4. (a) Basınç dayanımı deney düzeneği, (b) Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği (c) 3 nokta eğilme dayanımı deney düzeneği

Yarmada çekme dayanımı tayini

Yarmada çekme deneyleri, Ø100/200 mm'lik silindir numuneler üzerinde 28. günde Şekil 4.b'de gösterilen düzenele yapılmıştır. Betonların yarmada çekme dayanımları aşağıda verilen Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Çekme dayanımı} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (1)$$

P: Yük (N), **L:** Silindirin yüksekliği (mm), **D:** Silindirin çapı (mm)

Eğilme dayanımı tayini

Eğilme deneyleri 70x70x280 mm'lik kiriş numuneler üzerinde 28. günde Şekil 4.c'de gösterilen düzenele 3 noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Betonların eğilme dayanımları aşağıda verilen Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$F = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2)$$

F: Eğilme dayanımı (MPa), **P:** Yük, (N), **L:** Mesnetler arası açıklık, **b,d:** numunenin enkesit uzunlukları, (mm)

BULGULAR ve TARTIŞMA

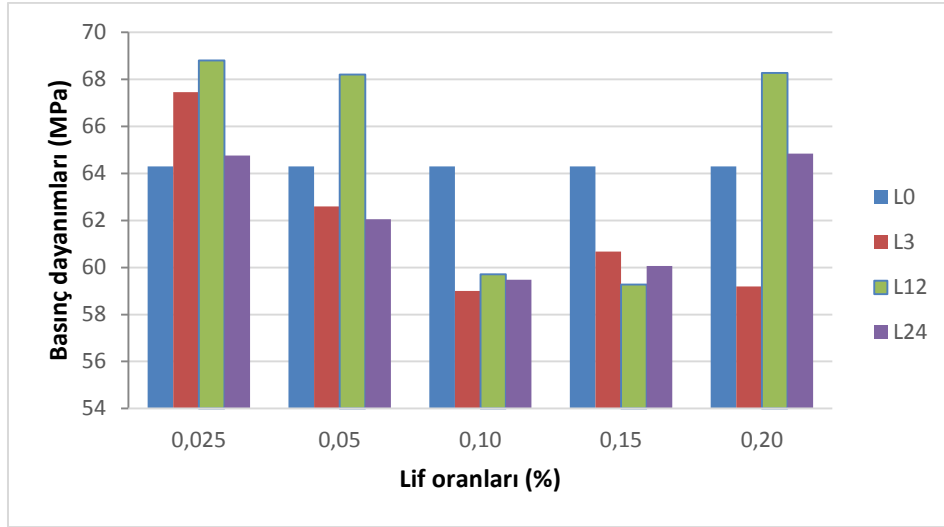
Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 3’de verilmiştir. Bu çizelgede numune gruplarının tüm mekanik deneylerden elde edilen sonuçları ve kontrol grubuna göre değişim değerleri verilmiştir. Değerlerin grafiksel olarak gösterimi ise Şekil 5,6 ve 7’de gösterilmiştir.

Yüksek dayanımlı betonlarda basınç dayanımı açısından genelde bazalt lifli beton sonuçları çok iyi çıkmamakla birlikte kontrol grubuna göre %0.025 oranında lif içeren farklı boydaki bazalt lifli gruplardan en iyi sonucu %7 artış oranı ile 12 mm’lik lifler vermiştir. % 0.05 oranında lif içeren bazalt lifli gruplardan 12 mm lik boyuttaki liflerde ikinci sırada iyi sonuç vermiştir. Seçilen boy parametrelerinde daha yüksek oranlarda dayanım değerleri düşmüştür.

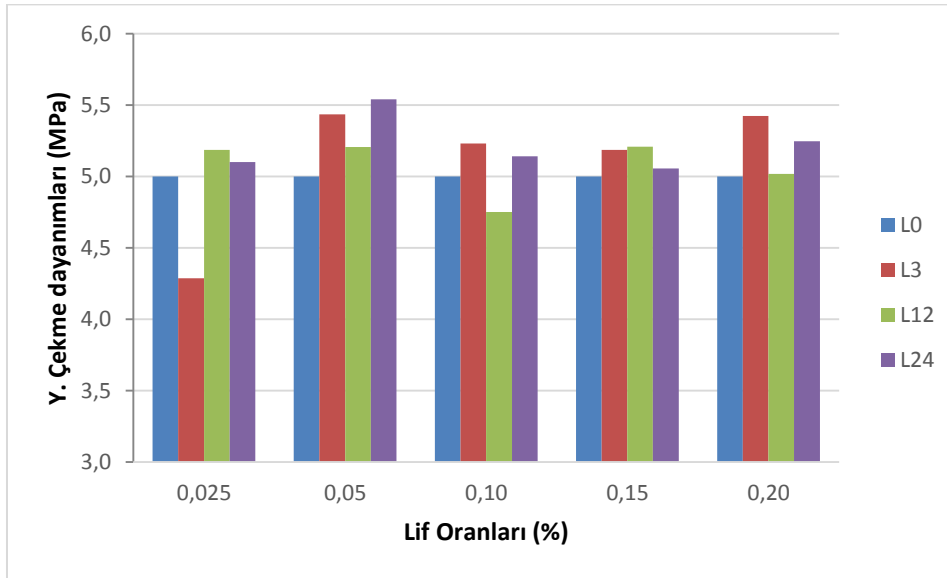
Artan lif oranı ile basınç dayanımında düşüş görülmesi literatürle uyumlu olmakla birlikte (Kabay, 2014) bu sonuç seçilen parametreler göz önünde tutularak basınç dayanımı için aslında boydan bağımsız olmak üzere genelde %0.05 oranının üstünün kullanılmaması gerektiğini göstermektedir. Literatürde 12 ve 22 mm lik bazalt lifler için 28. günde optimum oran %0.3 (Jiang ve ark., 2014) olmasına rağmen aynı çalışmada 90 günlük dayanımlarda da en iyi sonucu %0.05 oranı vermiştir. Sonuçlar yüksek oranda kullanılan bazalt liflerin yeterince homojen karışmaması ve topaklaşması nedeniyle basınç dayanımını düşürdüğünü gösterirken artan narinlik oranı ile basınç dayanımı değişiminin net bir ilişkisi olmadığı görülmüştür.

Çizelge 3. Beton gruplarının dayanım değerleri

Numune Grupları	Basınç dayanımı (MPa)	Kontrole göre değişim oranı (%)	Yarmada çekme dayanımı (MPa)	Kontrole göre değişim oranı (%)	Eğilmede çekme dayanımı (MPa)	Kontrole göre değişim oranı (%)
Referans	64.0	-	5.0	-	7.19	-
3B0.025	67.0	4.9	4.3	14.3	7.74	7.6
3B0.05	63.0	-2.7	5.4	8.7	7.46	3.6
3B0.1	59.0	-8.2	5.2	4.6	8.34	15.9
3B0.15	61.0	-5.6	5.2	3.7	8.46	17.5
3B0.20	59.0	-7.9	5.4	8.5	7.52	4.5
12B0.025	69.0	7.0	5.2	3.7	7.71	7.1
12B0.05	68.0	6.1	5.2	4.2	7.32	1.8
12B0.1	60.0	-7.2	4.7	-5.0	7.29	1.3
12B0.15	59.0	-7.8	5.2	4.2	7.70	7.0
12B0.20	68.0	6.2	5.0	0.4	8.03	11.6
24B0.025	65.0	0.7	5.1	2.0	7.58	5.4
24B0.05	62.0	-3.5	5.5	10.8	8.99	24.9
24B0.1	59.0	-7.5	5.1	2.8	7.03	-2.3
24B0.15	60.0	-6.6	5.1	1.1	7.70	7.1
24B0.20	65.0	0.8	5.2	4.9	7.86	9.2



Şekil 5. Basınç dayanımı deney grafiği



Şekil 6. Yarmada çekme dayanımı deney grafiği

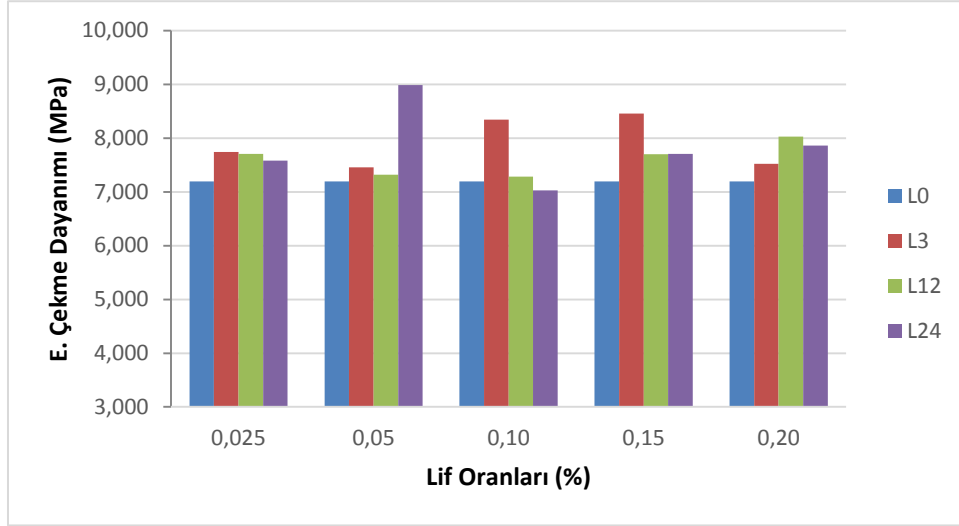
Yarmada çekme dayanımına göre tüm gruplar içinde en yüksek dayanımları %0.05 oranındaki lifler vermekte ve %0.05 oranındaki 24 mm liflerden en iyi sonuç elde edilmiştir. Bu oranın üzerinde dayanım değerleri düşmektedir. %0.10 oranında eklenen 12 mm'lik lifler dışında genelde tüm gruplar dayanımı artırmıştır. Artırma oranları %1-11 arasında değişmektedir. Literatürde de bazalt liflerin yarmada çekme dayanımını artırdığı bilinmekle beraber (Jiang ve ark., 2014; Dong ve ark., 2017) 3 mm boydaki liflerin %0.05 ve üstündeki oranlarda da dayanım artış görülmekte ve genelde lifler

çekme dayanımını artırmakta büyük rol üstlenmektedirler. Bunu da sonuçlardan çıkarabilmek mümkündür. Bu sonuç liflerin çatlakların gelişimini azaltması ve gelen gerilmeleri üzerine alabilmesi sonucu oluşmaktadır.

Eğilmede çekme dayanımına göre tüm gruplar oransal açıdan kendi içlerinde farklı sonuçlar göstermişlerdir. 3 mm boyundaki lifler için %0.15 oranı en iyi sonucu verirken ve bundan daha yüksek sonuçlarda eğilme dayanımı düşmektedir. 12 mm'lik lif oranlarının artışı ile ilginç bir artış gözlemlenmiş, %0.05 ve %0.10

oranlarında kontrole göre belirgin bir artış olmamış ama daha yüksek oranlar için (%0.15 ve %0.20) artış görülmüştür. 24 mm'lik lifler için %0.1 oranı haricindeki diğer gruplar

dayanımı artırmış en yüksek değer %0.05 oranlı gruplarda görülmüştür. Hatta bu oran tüm gruplardan daha yüksek sonuç vermiştir.



Şekil 7. Eğilmede çekme dayanımı deney grafiği

Genel itibari ile dayanımdaki değişimlerin boydan bağımsız olduğunu söylemek mümkünken yapılacak sonraki çalışmalarda farklı boydaki liflerle karma olarak üretilen beton numunelerindeki birleşik etkiye bakılması önerilmektedir. Literatürde bazalt lifle ilgili olarak çalışmalarda pek fazla göz önüne alınmamış olan 3 mm boyundaki liflerin eğilme dayanımını artırdığı ve yapılacak diğer çalışmalarda kullanılması ve değerlendirilmesi gerektiği görülmüştür.

Lifli betonlar değerlendirilirken lif tipi ve oranının yanı sıra l/d görünüm oranının da önemli bir rolü bulunmakta ve bu değerler açısından incelenmelidir.

SONUÇ

Çalışmadan çıkan sonuçlar ve sonraki çalışmalarda değerlendirilmek üzere tavsiyeler aşağıda sıralanmıştır:

1- Bazalt lifli betonların basınç dayanımı için l/d oranından bağımsız olmak üzere genelde %0.05 oranının üstü kullanılması olumsuz sonuçlar vermiş, bu oran üstünün topaklaşma ve aderans açısından liflerin sıkıntı oluşturmasından kaynaklanması ile ortaya

çıkmıştır. Daha yüksek oranlarda topaklaşma açısından tedbirler alınarak bazalt lifin kullanılması tavsiye edilmektedir.

- 2- Yarmada çekme dayanımı için yine aynı oranın iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu oranın üzerinde düşüşler görülmüştür. Dayanım artışları liflerin üzerine gelen kuvveti alıp köprü görevi görerek iletmesi nedeniyle gerçekleşmiştir.
- 3- Eğilmede çekme dayanımında 3 mm'lik lifler için %0.15 oranı en iyi sonucu vermiş, literatürde bazalt lifler için pek çalışılmamış olan bu boy parametresinin özellikle eğilmede çekme dayanımı için iyi olduğu görülmüştür.
- 4- Sonra yapılacak çalışmalar için; farklı boydaki bazalt liflerin karma olarak kullanıldığı ileri yaşlardaki mekanik özelliklerine bakıldığı çalışmalar yapılmalıdır.
- 5- Farklı boy/çap oranlı liflerle üretilen betonlarda özellikle lif matris arayüzeyinin gelişiminin ve boşluk yapısının değerlendirilmesi enstrümental analiz yöntemleri (XRD, SEM, MIP, BET,...vb.) ile desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

- Afroz M, Patnaikuni I, Venkatesan S, 2017, Chemical durability and performance of modified basalt fiber in concrete medium, *Construction and Building Materials* 154, 191–203
- Arslan ME, 2017, Bazalt liflerin geleneksel betonların mekanik özellikleri ve kırılma enerjilerine etkilerinin incelenmesi, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg.* 23(3)
- Aruntaş HY, Dayı M, Tekin İ, Birgül R, Şimşek O, 2007, Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi, Kimyasal katkı maddeleri, 2. yapı kimyasalları sempozyum ve sergisi, 12-13 Nisan 2007, Ankara, 174-180
- Baradan ve ark., 2012, Beton. D.E.Ü. Müh. Fak. Yayınları.
- Borhan MT, 2012, Properties of glass concrete reinforced with short basalt fibre. *Materials and Design*, 42:265-271,.
- Branston J, Das S, Sara YK, Taylor C, 2016, Mechanical behaviour of basalt fibre reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 124, 15 October 2016, Pages 878-886
- Chaohua J, Ke F, Fei W, Da C, 2014, Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete, *Materials and Design* 58, 187–193
- Çevik N, 2014, Bazalt Elyafının Beton Yollarda Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dong JF, Wang QY, Guan ZW, 2017, Material properties of basalt fibre reinforced concrete made with recycled earthquake waste, *Construction and Building Materials* 130, 241–251.
- Erdoğan G, 2014, Bazalt Lif Katkılı betonların mekanik ve geçirimsizlik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fiore V, Scalici T, Di Bella G, Valenza A, 2015, A review on basalt fibre and its composites, *Composites Part B* 74.
- Girgin ZC, Yıldırım MT, 2016, Usability of basalt fibres in fibre reinforced cement composite, *Materials and Structures*, 2016, 49:3309–3319.
- High C, Seliem HM, El-Safty A, Rizkalla SH, 2015, Use of basalt fibers for concrete structures, *Construction and Building Materials* 96, 37–46.
- Jiang C, Fan K, Wu F, Da C, 2014, Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete, *Materials & Design*, Volume 58, June 2014, Pages 187-193.
- Kabay N, 2014, Abrasion resistance and fracture energy of concretes with basalt fiber, *Construction and Building Materials*, Volume 50, Pages 95-101.
- Kızıllkanat AB, Kabay N, Akyüncü V, Erdoğan G, 2014, Basalt Fibers and Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced concrete, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 32, 444-452.
- Mindess S, Young JF, Darwin D, 2003, *Concrete*, Prentice Hill, New Jersey.
- Nili, M, Afroughsabet, V, 2010, The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete, *Construction and Building Materials*, Vol.24, No.6, pp. 927-933.

- Oltulu M, Şahin R, Amil PA, 2007, Effect of polypropylene fibers on shrinkage and fire resistance of high strength concrete at later age, TÇMB 3rd International Symposium, Sustainability in Cement and Concrete, 21-23 May 2007, İstanbul.
- Osman Ü, Uygunoğlu T, ve Gençel O, 2007, Çelik Liflerin Beton Basınç Ve Eğilme Özelliklerine Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol.13, No.1, pp. 23-30.
- Qin X, Shen A, Guo Y, Li Z, Lv Z, 2018, Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers, Construction and Building Materials 159, 508–516.
- Ralegaonkar R, Gavali H, Aswath P, 2018, Abolmaali S., Application of chopped basalt fibers in reinforced mortar: A review, Construction and Building Materials 164, 589–602
- Song PS, Hwang S, ve Sheu BC, 2005, Strength properties of nylon- and polypropylene-fiber-reinforced concretes, Cement and Concrete Research, Vol.35, No.8, pp. 1546-1550.
- TS EN 933-1:2012(EN), Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN-206, 2014, Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2012, Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390–3/AC, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.