



Makale / Research Paper

Bazalt Lifi Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Osman GÜNAYDIN¹, Kadir GÜÇLÜER²

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 02200 Adıyaman/TÜRKİYE

²Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, 02200 Adıyaman/TÜRKİYE

kgucluer@adiyaman.edu.tr

Received/Geliş: 27.01.2018

Revised/Düzelme: 27.02.2018

Accepted/Kabul: 05.03.2018

Öz: Beton, günümüz dünyasında inşaat endüstrisi için kullanım alanı en fazla olan taşıyıcı yapı malzemesidir. Beton malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi proje güvenliği açısından da oldukça önemlidir. Bazalt lifler bazaltın yüksek sıcaklıklarda eritilmesi sonucu elde edilen malzemelerdir. Liflerin beton malzemede kullanım amacı, basınç dayanımı yanında çekme ve eğilme dayanımını geliştirerek malzemeye sünek davranış özelliği kazandırabilmektir. Bu çalışmada, beton malzemeye bazalt lifi katkının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla üretilen beton numunelere çimento hacminin %1'i oranında bazalt lifi katkı ilave edilerek deney örnekleri üretilmiş, 7 ve 28 günlük deney örnekleri üzerinde basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, bazalt lifi katkının beton deney örneklerinin yarmada çekme dayanımlarını %16 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Beton, bazalt lifi, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı.

An Investigation of Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Concrete

Abstract: Concrete is the most widely used structural building material for the construction industry in today's world. The development of the mechanical properties of concrete materials is also very important in terms of project safety. Basalt fibers are materials that are the result of melting basalt in high temperatures. The purpose of the fibers in concrete is to provide ductility behavior property to the material by improving the tensile and bending strength as well as the compressive strength. In this study, it was investigated that the effect of basalt fiber contribution to concrete. Test specimens were produced by adding %1 ratio basalt fiber admixture to concrete specimens produced for this purpose, compressive strength, ultrasound pulse velocity and splitting tensile strength tests were carried out on 7 day and 28 day experimental samples. As a result, it was determined that concrete strengths of basalt fiber reinforced concrete increased the tensile strengths in the wind by %16.

Keywords: Concrete, basalt fiber, compressive strength, splitting tensile strength, ultrasound pulse velocity.

1. Giriş

Beton, kompozit bir yapı malzemesidir. Beton malzemenin çekme dayanımının basınç dayanımına oranı yaklaşık %10 seviyesindedir ve bu durumdan dolayı beton gevrek bir şekil değişim davranışı göstermektedir. Farklı bir ifadeyle beton plastik şekil değişim özeliği oldukça zayıf olan bir yapı malzemesidir. Bu nedenle beton karışımı içine bu kırılmaları önleyebilecek lif malzemeler eklenmektedir. [1].

Farklı tipte malzemelerin liflerle desteklenerek çeşitli özelliklerini yükseltmeye yönelik çalışmaların teorik anlamda değerlendirilmesi yeni olsa da, ilk uygulamaların oldukça eskiye

Bu makaleye atıf yapmak için

Günaydın, O., Güçlüer, K. "Bazalt Lifi Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(2); 416-424.

How to cite this article

Günaydın, O., Güçlüer, K. "An Investigation of Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Concrete" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2018, 5.(2); 416-424.

dayandığı bilinmektedir. Kerpicin bitkisel lif ve samanla harmanlanarak yapılması (4500 yıl öncesine dayanmaktadır), alçı hamurunda bitkisel liflerin kullanımı vb. verilebilecek örneklerden yalnızca birkaçıdır. Günümüzde lif kelimesinin yerine elyaf kelimesi de kullanılabilir [2].

Kullanılan lif katkıları farklı boylarda ve şekilde olabilmektedir. Genel tanımlamalarda lifin çap değeri ve boy/çap değer oranı karakteristik bir unsur olarak kabul edilmekte olup bu oran lif narinliği olarak isimlendirilmektedir. Fakat liflerin belirli bir değerden ince olması gerektiğinden lif çap değeri de sınırlayıcı bir kriterdir [2].

ASTM kriterlerinde bir malzemenin lif olarak değerlendirilmesi için, boy/ortalama çap değerinin $(L/d) \geq 10$ olması, lifin en büyük kesit alanının da $0,05 \text{ m}^2$ 'den daha küçük olması gerekmektedir. Amerikan Beton Enstitüsü'nün [3] 544 sayılı komite raporuna göre ise, bir lifi tasnif eden en belirgin sayısal değer "lif narinlik oranı" dır. Lif uzunluğunun, lifin kesit alanına eş olan bir dairenin çapı şeklinde adlandırılan "eşdeğer lif çapı"na oranlanmasıyla bulunan bu değer, betonda, uzunlukları 0,60 ile 7,62 cm (1/4"-3") arasında değişiklik gösteren lifler için karakteristik değeri 30 ile 150 aralığında olmaktadır [3].

Bazalt, ergime sıcaklığı 1300-1500 °C derece olan donmuş lavlardan oluşan doğal hammaddedir [4]. Anadolu yarımadasının jeolojik özelliği gereği birçok bölgede bulunan ve tarih boyunca kullanılan bazaltlar günümüzde de kullanılmaya devam edilmektedir. Bazaltlar özellikle II. Dünya Savaşından sonra makina sanayinde metale alternatif bir malzeme olarak da bir süre kullanılmıştır [5]. Bazalt lifi, bazalt kayaktan üretilen inorganik elyafıdır. Çevre dostudur, sağlığa veya çevreye, yanıcı ve patlayıcı zarar verebilecek hiçbir kimyasal reaksiyon içermez [6]. Diğer avantajları ise yüksek ısı direnci, kimyasal saldırılara karşı yüksek direnç, yüksek kesme mukavemeti ve ticari olarak kolay elde edilebilirliği olarak söylenebilir [7].

Dep [8] yapmış olduğu deneysel çalışmada, karışıma hacimce %0,3, %0,8, %1,3 ve %1,8 oranlarında bazalt lifi katarak deney örnekleri üretmiş ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Lif katkılı örneklerin eğilme dayanımlarının şahit numuneye göre daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduklarını bulmuştur. Li ve Xiu [9] yaptıkları çalışmada, bazalt lifi katkılı beton numuneler üretmişlerdir. Bazalt lifi katkının basınç dayanımına etkisinin çok belirgin olmadığını ancak lif katkılı numunelerin tokluk değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Dias ve Thomurgato [10], deneysel çalışmalarında, %0, %0,5 ve %1 bazalt lifi katkılı polimer betonların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Sonuç olarak bazalt liflerinin, %0,5 oranında kullanımı ile betonun çekme dayanımını %34, %1 oranında kullanımında ise çekme dayanımını %25 oranında arttırdığını bulmuşlardır. Jiang [11] tarafından yapılan çalışmada ise hacimce %0,3 oranında bazalt lif katkı kullanılması basınç dayanım değerlerini 7 günlük sürede %10 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Ahmed vd. [12] yaptıkları çalışmada ise basınç dayanımı ve eğilme dayanımlarında %46 ve %74 oranında artış tespit etmişlerdir. Zhao vd. [13] yaptıkları çalışmada bazalt lif katkılı donatılı betonların donma çözünme dayanıklılıklarını ve aderans dayanımlarını araştırmışlardır. Bazalt lif katkılı betonların donma çözünme dayanıklılıklarının referans betonlara göre daha iyi seviyelerde olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada, özellikle hazır beton uygulamalarında kullanılması amacıyla çimento hacminin %1'i oranında karışıma ilave edilen bazalt lifi katkılı betonların mekanik özellikleri araştırılmıştır.

2. Materyal Metot

Çalışmada TS EN 197-1 [14] ile uyumlu CEM I 42.5 R tipte çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun kimyasal bileşimi

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	KK
Çimento	19,29	3,88	4,25	62,63	3,42	2,58	0,34	2,86

Çimentonun kimyasal bileşiminde beton üretimi için sakınca yaratabilecek kimyasal bileşene rastlanmamıştır.

Tablo 2. Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler		Sonuçlar
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		3.09
Priz Süresi	İlk (dakika)	125
	Son (dakika)	190
İncelik	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3420

Çimentonun, çimento piknometresi ile yapılan özgül ağırlık deneyi sonucu özgül ağırlığı 3.09 gr/cm³ olarak bulunmuştur. Blaine incelik deneyi sonucunda özgül yüzey alanı değeri ise 3420 cm²/gr olarak bulunmuştur. Beton karışımlarında kullanılan agreganın maksimum tane çapı değeri 22 mm'dir. Agregaların su emme kapasitesi ve özgül ağırlığı TS EN 1097-6'ya göre [15] (Tablo 3), agrega granülometrisi TS 706 EN 12620'ye göre [16] belirlenmiştir (Şekil 2).

Tablo 3. Kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Agrega		
Özgül Ağırlık	İnce (0-5 mm)	2.52
	Orta (5-12 mm)	2,52
	İri (12-22 mm)	2.50
Su emme (%)		2.48

Tablo 4. Kullanılan agreganın kimyasal bileşimi

Bileşen	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	KK
Agrega	31.41	7.20	5.19	2.62	22.4	0.23	0.04	0.01	30.55

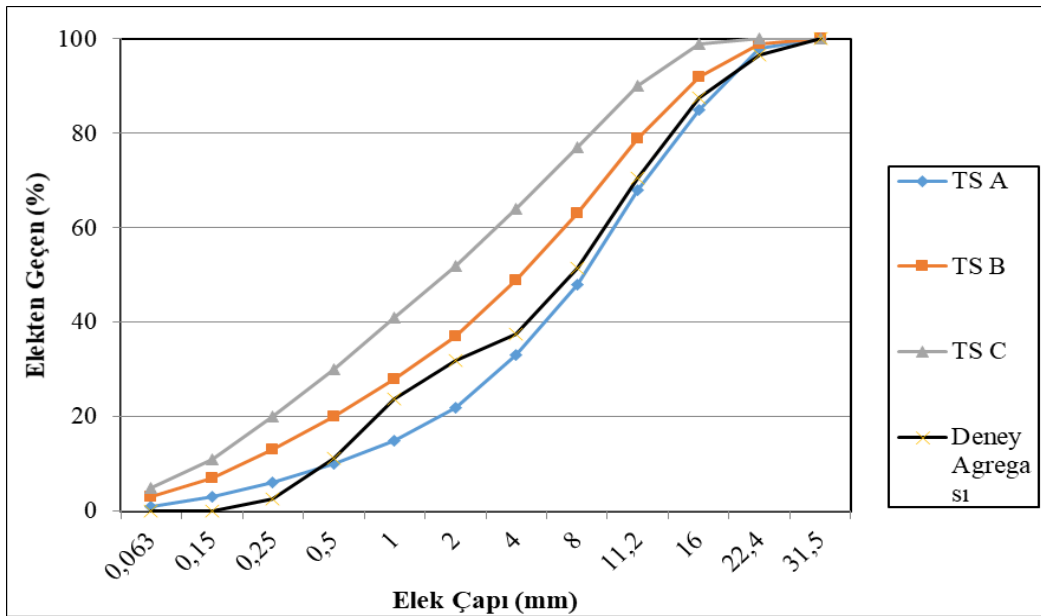
Agrega olarak Adıyaman Göksu deresinden elde edilen doğal agrega tercih edilmiştir. Agregaya ait kimyasal özellikler Tablo 4'de verilmiştir. Çalışmada CVC kimyasal tarafından temin edilen 24 mm uzunlukta bazalt elyaf kullanılmış olup teknik özellikleri Tablo 5'te verilmiştir (Şekil 1).

Tablo 5. Bazalt elyaf katkının teknik özellikleri

Teknik Özellik	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Elyaf Çapı (mikron)	Elyaf Uzunluğu (mm)
Bazalt Elyaf	4850	86	10-22	24



Şekil 1. Bazalt elyaf



Şekil 2. Agrega granülometrisi

Beton karışımına katılan malzeme miktarları Tablo 6'da verilmektedir. Beton karışım değerlerinin hesabı TS 802'de [17] verilen mutlak hacim metoduna göre yapılmıştır. Hesap işleminde hapsolmuş hava miktarı ise TS 802'den alınarak gereken agrega miktarının hacmi hesaplanmış ve daha sonra da agrega ağırlıkları bulunmuştur. Bazalt lifi katkı çimento hacminin %1'i oranında karışıma katılmıştır.

Tablo 6. Beton karışımına giren malzeme miktarları (kg/m³)

İnce Agrega (0-5 mm)	Orta Agrega (5-12 mm)	İri Agrega (12-22 mm)	Çimento	Su	Hava	Bazalt Lif
668	618	444	371	204	20	%1*

*Çimento hacminin %1'i

Ultrases geçiş hızı okumaları ASTM C 597 [18] referans alınarak uygulanmıştır. 7 ve 28 gün süre ile kür edilen 3'er adet numuneye kür uygulaması sonrasında ultrases ölçümleri uygulanmıştır. Beton numunelerde hız okumaları; deney örneklerinin zemine değen yüzeylerine dik yönde yapılmıştır. Örnekler, proplar arasına uygun biçimde yerleştirilmiş ve deney örneği uzunluğunca okunan geçiş süresi, mikro saniye cinsinden kaydedilmiştir. Beton numunelerin geçiş hızı hesaplamalarında, formül (1)'den yararlanılmıştır. Ayrıca formül (2) yardımı ile ultrases geçiş hızı değeriyle tahmini beton basınç dayanımı değerleri elde edilmiş ve basınç dayanımı sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

$$V = L / t \quad (1)$$

$$f_{ck} = 1,6 * Vp^{1,6} \quad (2)$$

Burada; V, ultrases geçiş hızı, (km/sn), t, ultrases geçiş süresi (sn), Vp ultrases geçiş süresi (km/sn), f_{ck} beton basınç dayanımı ve L, ölçü boyu (km)'dir.

Beton basınç dayanımı deneyleri, hazırlanan 15x15x15 cm ebatlarındaki 7 ve 28 gün süre ile kür edilen 3'er adet numune üzerinde TS EN 12390-3 [19] referans alınarak yapılmıştır. Beton numunelerin basınç dayanımları hesabında formül (3)'den faydalanılmıştır.

$$\sigma = P/A \quad (3)$$

Burada; σ = beton basınç dayanımını (MPa), P= uygulanan kuvveti (N), A= yüzey alanını (mm²) temsil etmektedir.

Beton numunelerin yarmada çekme dayanımları TS EN 12390-6 [20] standardına göre gerçekleştirilmiş olup, yarmada çekme dayanımı hesaplamalarında formül (4)'den faydalanılmıştır.

$$\sigma_{yarma} = 2P / \pi DH \quad (4)$$

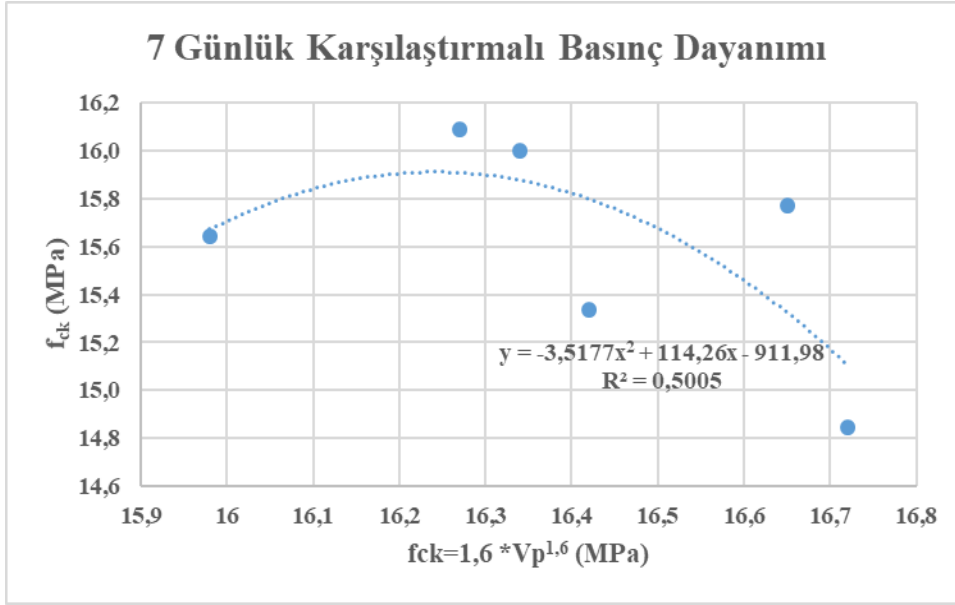
Burada; σ_{yarma} = yarmada çekme dayanımını (MPa), P= uygulanan kuvveti, D=numune çapını ve H= numune uzunluğunu temsil etmektedir.

3. Bulgular

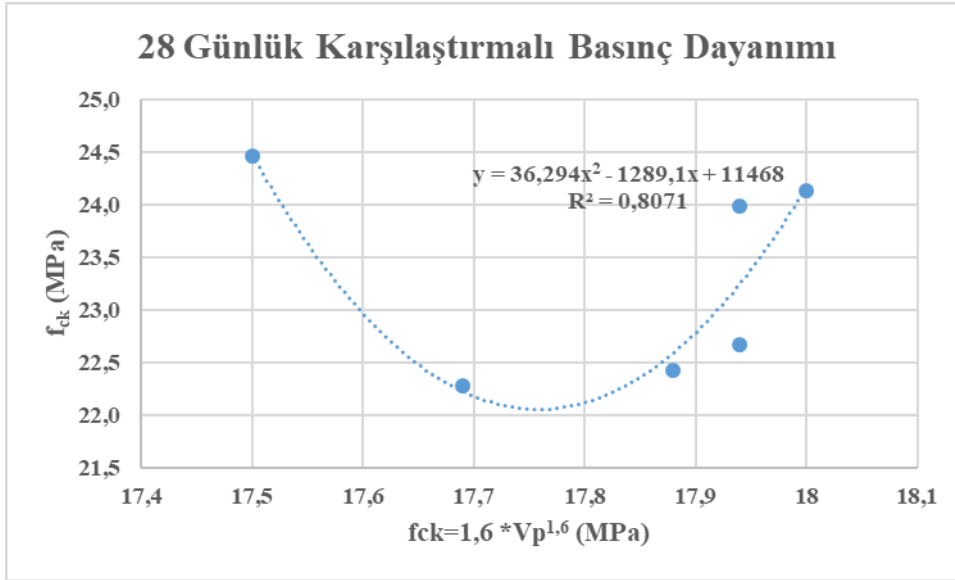
3.1. Ultrases Geçiş Hızına Bağlı Basınç Dayanımı Bulguları

Çimento hacminin %1'i oranında bazalt lifi kullanılması ile üretilen beton deney örneklerinin 7 ve 28 gün süresince kür tankında bekletilmeleri sonrasında gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı ölçümleri sonrasında formül (2) yardımı ile hesap edilen tahmini basınç dayanımları ile ölçülen gerçek basınç dayanımları arasındaki ilişkiye ait bulgular Şekil 3 ve 4'te verilmiştir.

Ultrases geçiş hızı okumaları ile tahmin edilen basınç dayanımları ile ölçülen gerçek basınç dayanımları arasındaki ilişkiler için Şekil 3 ve 4 incelendiğinde 28 günlük numuneler arasındaki korelasyonun 0,80 7 günlük numuneler arasındaki korelasyonun ise 0,50 olarak bulunduğu görülmektedir. Beklenen şekilde 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri daha yüksek olarak belirlenmiştir. 7 günlük numunelerdeki korelasyon değerlerinin düşük çıkmasının erken dönem hidrasyon ürünlerinin istenilen seviyede gerçekleşmemesi ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3. 7 günlük numunelere ait karşılaştırmalı basınç dayanımı grafiği



Şekil 4. 28 günlük numunelere ait karşılaştırmalı basınç dayanımı grafiği

3.2. Basınç ve Yarmada Çekme Dayanımı Bulguları

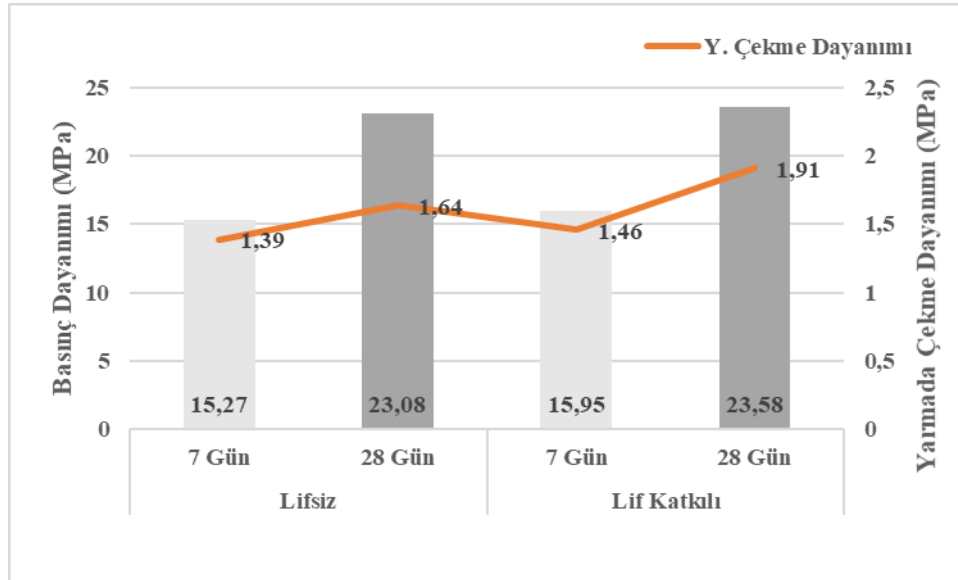
Bu bölümde 7 ve 28 gün süreyle kür tankında bekletilmiş 15 cm kenarlı küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş olan basınç ve yarmada çekme dayanımı deneylerinde oluşan kırılma biçimleri Şekil 5'te görülmektedir. Beton numunelerin, bazalt lifi katkısının eklenmesiyle birlikte çimento ile olan aderanslarının ilerleyen süreçte daha iyi olabileceği beklenebilir. Bu duruma ilişkin elde edilen basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerleri Şekil 6'da 7 ve 28 günlük numuneler için karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Şekil 6 incelendiğinde, 7 günlük lifsiz numunelerin basınç dayanımları 15,27 MPa, lif katkılı numunelerin basınç dayanımı ise 15,95 MPa olarak belirlenmiştir. Yarmada çekme dayanımları ise katkısız numunelerde 1,39 MPa olarak ölçülürken, lif katkılı numunelerde 1,46 MPa olarak

ölçülmüştür. Bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin yarmada çekme dayanımlarında %5,03 oranında artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı uygulanmış deney örnekleri



Şekil 6. Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı bulguları

28 günlük numunelerin basınç dayanımları 23,08 MPa olarak belirlenirken, lif katkılı numunelerin basınç dayanımları 23,58 MPa olarak belirlenmiştir. Bazalt lifi katkısı deney örneklerinin 28 günlük basınç dayanımlarında %2,16'lık artışa sebep olmuştur. High vd. (2017) [21] bazalt lif katkısının basınç dayanımına olan etkisinin %5'i aşmadığını belirtmektedirler ancak Vijayaraghavan vd. (2017) [22] yaptıkları çalışmada %1 oranında kullandıkları bazalt lifi katkısının 28 günlük basınç dayanımı değerlerini %13,28 arttırdığını belirtmektedirler. Katkısız 28 günlük numunelerin yarmada çekme dayanımları 1,64 MPa olarak belirlenirken, lif katkılı 28 günlük numunelerin yarmada çekme dayanımları 1,91 MPa olarak ölçülmüştür. Bazalt lif katkısının 28 gün sonunda ise yarmada çekme dayanımı değerlerinde %16,46 artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Arivalagan (2012) [23] kendi çalışmasında bu oranı %22,75 olarak bulurken Hirde ve Shelar (2017) [24] ise %4 oranında bazalt lifi katkılı ürettikleri deney örneklerinin 28 günlük yarmada çekme dayanımlarında %33,6 oranında artışa sebep olduğunu belirtmektedirler. Bu durum agrega ve betonunun iç yapısı ile ilgilidir (Liu vd., 2017) [25]. Beton üretimi sırasında iç yapıda hidrasyon kaynaklı bazı iç mikro çatlaklar vardır. Mikro çatlaklar sıkıştırma yükünün artması ile hızla gelişir

ve bu da mukavemet azalmasına sebep olur. Beton, bazalt lif ile desteklendiğinde, lif malzeme mikro çatlakların çatlama direnci kabiliyetini ve mekanik özelliklerin performansını artırabilir. Bu durum, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımlarındaki artışa sebep olarak gösterilebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Çimento hacminin %1'i oranında bazalt lifi katılmasıyla elde edilen mekanik sonuçlardan basınç dayanımları ve yarmada çekme dayanımları sonuçlarına göre;

- 7 günlük basınç dayanımı değerlerinde bazalt lifi katkısı %4,45 oranında artışa sebep olmuştur.
- 7 günlük yarmada çekme dayanımları değerlendirildiğinde ise bazalt lifi katkı %5,03 oranında artışa sebep olmuştur.
- 28 günlük numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde bazalt lifi katkı %2,16 oranında artışa sebep olmuştur.
- 28 günlük yarmada çekme dayanımları değerlendirildiğinde ise bazalt lifi katkı %16,46 oranında artışa sebep olmuştur.

Deney sonuçlarına göre, yarmada çekme veya eğilme dayanımının önemli olduğu bölgelerde kullanılmak üzere üretilecek betonlarda bazalt lifi katkısı kullanılması önerilebilir. Ayrıca farklı bazalt lifi katkısı oranlarıyla yapılacak deneylerden elde edilecek mekanik sonuçlara ilişkin gerçekleştirilecek durabilite deneyleri de bazalt lifi katkısının kullanımı açısından fayda sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] Erdoğan, G. "Bazalt lif katkılı betonların mekanik ve geçirimsizlik özelliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014).
- [2] Ersoy, H.Y. "Kompozit Malzeme", Literatür Yayıncılık, İstanbul, (2001).
- [3] ACI Committee 544, "State-of-the Art Report on Fiber Reinforced Concrete", Proceeding of the International Symposium on Fiber Reinforced Concrete, Publication SP-44, Appendix, ACI Detroit, (1974).
- [4] Milikty, J., Kovacic, V., Rubnerova, V. "Influence of thermal treatment on tensile failure of basalt fibers", Engineering Fracture Mechanics, 2002, 69:1025–1033.
- [5] Er, S., Tuğrul, A. "Doğal ve ergitilmiş bazaltların fiziko-mekanik özelliklerinin karşılaştırılması", Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu, Adana, 316-323, (2017).
- [6] Borhan, M., T. "Properties of glass concrete reinforced with short basalt fibre", Materials and Design, 2012, 42:265–271.
- [7] Iang CH, McCarthy TJ, Chen D, Dong QQ. "Influence of basalt fibre on performance of cement mortar", Key Engineering Materials, 2010, 93(6):426–427.
- [8] Deb S. "The impact of basaltic fibre on selected physical and mechanical properties of cement mortar", Composite Materials, 2012, 46(3):286-290.
- [9] Li, W., Xu, J., Impact Characterization of Bazalt Fiber Reinforced Geopolymeric Concrete Using a 100-mm-diameter Split Hopkinson Pressure Bar, China, (2009).
- [10] P.D. Dias, C. Thaumaturgo. "Fracture toughness of geopolymeric concretes reinforced with basalt fibers", Cement and Concrete Composites, 2005, 27:49-54.
- [11] C. Jiang, K. Fan, F. Wu, D.Chen. "Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete", Materials and Design, 2014, 58:187-193.

- [12] Ahmed, T., Alam, A., Chufal, M.S. "Experimental study on mechanical properties of basalt fibre reinforced concrete", International Journal of Science and Research, 2015, 4(8):468-472.
- [13] Zhao, Y.R., Wang, L., Lei, Z.K., Han, X.F., Xing, Y.M. "Experimental study on dynamic mechanical properties of the basalt fiber reinforced concrete after the freeze-thaw based on the digital image correlation method", Construction and Building Materials, 2017, 147:194–202.
- [14] TS EN 197–1, "Çimentoların Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri", (2002).
- [15] TS EN 1097–6, "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler", (2002).
- [16] TS 706 EN 12620, "Beton Agregaları", (2009).
- [17] TS 802, "Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları", (2009).
- [18] ASTM C597-09, "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete", (2009).
- [19] TS EN 12390-3, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini", (2003).
- [20] TS EN 12390-6, "Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarımada çekme dayanımının tayini", (2002).
- [21] High, C., Gelani, A., Rizkalla, S., Abaid, S. Effects of Basalt Fibers on Mechanical Properties of Concrete. <https://www.ccee.ncsu.edu/srizkal/wp-content/uploads/sites/7/2016/08/No-5-submitted-Conference-Highs-Abstract.pdf>, Erişim tarihi:10.12.2017.
- [22] Vijayaraghavan, Dinesh, Nanthinipriya, Umabalachandran. "A Study on strength characteristics of fiber reinforced concrete using basalt rock fiber", International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 2017, 45(9):471-475.
- [23] Arivalagan, S. "Study on the compressive and split tensile strength properties of basalt fibre concrete members", Global Journal of Researches in Engineering Civil And Structural Engineering, 2012, 12(4):23-28.
- [24] Hirde, S., Shelar, S. "Effect of basalt fiber on strength of cement concrete", International Journal of Current Engineering and Technology, 2017, 7(2):600-602.
- [25] Liu, H., Yang, J., Kong, X., Xue, X. "Basic mechanical properties of basalt fiber reinforced recycled aggregate concrete", The Open Civil Engineering Journal, 2017, 11:43-53.