



## Polyester Bağlayıcı Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

### Mechanical Properties of Polyester Based Composites

Özer Sevim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 71451, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 11/12/2018

Kabul/Accepted: 24/05/2019

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2019

#### Öz

Bu çalışmada bağlayıcı olarak polyester, agrega olarak ponza ve katkı malzemesi olarak uçucu kül kullanılarak polyester bağlayıcı polimer kompozitler üretilmiştir. Bağlayıcı malzeme olarak çimento yerine polyester kullanılması ile polyester esaslı çimentosuz kompozitler üretilmiştir. 40×40×160 mm ebatlarında prizmatik numuneler üretilerek kompozitlerin basınç ve eğilme dayanımları test edilmiştir. EN 196-1'e göre maksimum basınç ve eğilme dayanımları sırasıyla 45,69 MPa ve 8,49 MPa elde edilmiştir. Kontrol numuneye göre basınç ve eğilme dayanımları sırasıyla %32,2 ve %27,9 oranında artmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

*“Ponza agrega, Polimer kompozit, Polyester bağlayıcı kompozit, Uçucu kül”*

#### Abstract

In this study, polyester-based polymer composites were produced by using polyester as binder, pumice as aggregate and fly ash as additive material. Polyester-based composites were produced by using polyester instead of cement as binder material. The compressive and flexural strengths of the composites were tested by using prismatic samples of 40×40×160 mm. The maximum compressive and flexural strengths for EN 196-1 were 45.69 MPa and 8.49 MPa, respectively. Compressive and flexural strengths increased by 32.2% and 27.9%, respectively, compared to the control sample.

#### Key Words

*“Pumice aggregate, Polymer composite, Polyester based composites, Fly ash”*

## 1. Giriş

Son yıllarda, polyesterler olağanüstü mekanik özellikler sağlamak için reçine sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Xu vd., 2014; Şimşek ve Uygunoğlu, 2018). Bu özellik polyester reçinelerin inşaat mühendisliği alanında kullanılması için araştırmaları çekici hale getirmiştir (Heidari vd., 2014; Zhao vd., 2016). Silis dumanı ve uçucu kül gibi puzolanlar ve çimento, beton kompozitlerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için polyester reçine içine dahil edilmiştir (Seleem, 2006). Yapılan bu çalışmada ise polyester, hafif agrega olan ponza agregası ve uçucu kül ile kullanılmıştır.

Ponza, lavın katılaşması sırasında gazların salınmasıyla oluşan volkanik kökenli doğal bir malzemedir. Ponzaların yapısı, yanardağlardan akan erimiş lav içerisindeki gazların soğuması durumunda kabarcıkların veya hava boşluklarının oluşumu ile meydana gelir. Bu boşluklar bazen birbirine paralel bazen ise birbirleri ile bağlantılıdır. Volkanik ponza dünyanın birçok yerinde hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılmaktadır (Uysal vd., 2004; Yasar vd., 2003; Hossain, 2003; Hossain, 2004; Hossai vd., 2011). İşlenmiş yapay agregaların yerine doğal hafif agregaların kullanılması, beton maliyetleri önemli ölçüde azaltabilmektedir (Hossai vd., 2011).

Dünyada her yıl 19,6 milyon ton volkanik ponza (VP) çıkarılıyor ve Türkiye yılda 4,2 Milyon ton üretimiyle hâkim üretici konumundadır (Crangle, 2011). Diğer önde gelen ülkeler ise İtalya, Şili, Ekvador, Etiyopya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İspanya ve ABD'dir. Ponza normal olarak hafif yapı blokları, beton ve çeşitli yapı ürünlerinde agrega olarak kullanılır (Crangle, 2011; Grasser vd., 1990; Yeginobali vd., 1998; Litvan, 1985). Son birkaç yıldır çimento ve beton üretiminde volkanik kül ve ponza kullanımı üzerine araştırmalar yapılmıştır (Hossain, 2004; Hossain ve Lachemi, 2006; Khandaker ve Hossain, 2005a; Khandaker ve Hossain, 2005b).

Bu çalışmada ponza agregasına ek olarak tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan ve çimento gibi bir başka bağlayıcı ile bağlayıcılık özelliği kazanan uçucu kül kullanılmıştır. Yapay bir puzolan olan uçucu küller çimento yerine ikame edilerek kullanılmaktadır. Kömürle çalışan termik santrallerde kömürün yanması sonucu meydana gelen atık kül taneciklerinin bacalardaki elektro-filtreler yardımıyla tutulması ile elde edilen üründür. Uçucu küllerin önemli bir kısmı  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'den meydana gelmektedir (Neville, 1981; Aruntaş, 2006; Sevim ve Demir, 2019a; Sevim ve Demir, 2019b; Demir vd., 2018). Uçucu küller çimentoda katkı malzemesi, ikame malzemesi ve hammadde olarak kullanılmaktadır (Zhao vd., 2015; Bagheri vd., 2013; Shaikh ve Supit, 2015)

Bilimsel literatürde yer alan yukarıdaki bilgiler ışığında, ponza agregası ile üretilen polyester bağlayıcı kompozitlerin eksikliği görülmüştür. Literatürdeki eksikliği dikkate alınarak, bu çalışmada polyester bağlayıcı ve ponza agregası ile çimentosuz kompozitler üretilmiştir. Polyester bağlayıcı kompozitler birçok gelişmiş ülkede yeni bir malzemedir ve hala araştırılmaktadır (Haddad vd., 1983; Heidari vd., 2014; Zhao vd., 2016). Yukarıdaki bilgilerde göz önüne alındığında, hafif ponza agregası, polyester ve uçucu kül içeren kompozitlerin tasarımları yapılmıştır. Üretilen polyester bağlayıcı kompozitlerin 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir.

## 2. Deneysel Program

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Ponza

Yapılan çalışmada birim hacim ağırlığı  $710 \text{ kg/m}^3$ , ısı iletkenlik katsayısı  $0,015 \text{ W/mK}$  ve ses yalıtımı  $50 \text{ dB}$  olan ponza agregası kullanılmıştır. Ponza agregası hafif agrega olarak kullanılmış ve polyester bağlayıcı hafif agregalı kompozitlerin üretilmesini sağlamıştır.

#### 2.1.2. Uçucu Kül

Çalışmada Çayırhan termik santralinde üretilen  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  yüzdesi %70'den az ve CaO oranı %10'dan fazla olan C sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu küle ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1'de sunulmuştur. Kullanılan uçucu kül fabrikadan çıktığı şekilde öğütülmeden direk kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Birleşim (%)	Uçucu Kül
SiO <sub>2</sub>	48,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,71
CaO	14,53
MgO	7,24
SO <sub>3</sub>	5,51
Na <sub>2</sub> O	1,01
K <sub>2</sub> O	2,23
Fiziksel Özellikler	
Özgül yüzey alanı (cm <sup>2</sup> /g)	2760

### 2.1.3. Polyester

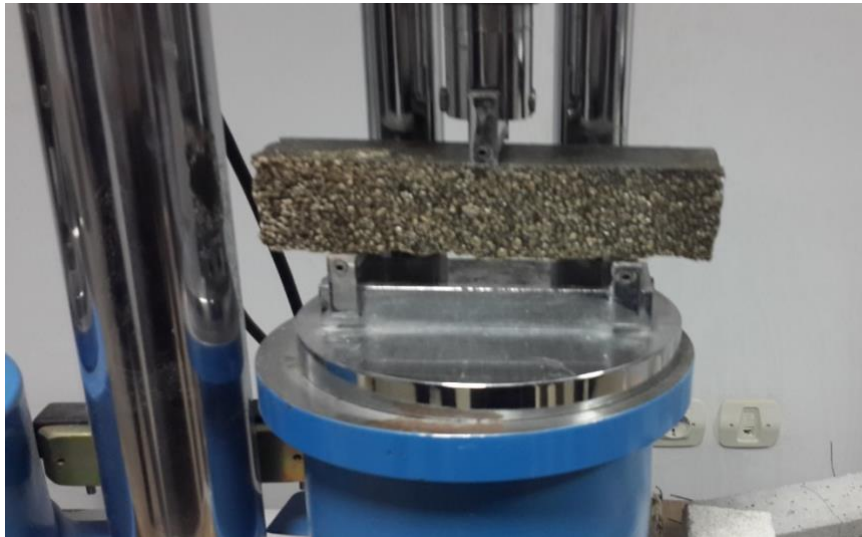
Polyesterler genelde lifler halinde veya granüler halde özellikle otomotiv endüstrisi kumaşlarında, giyim endüstrisinde kullanılmaktadır (Wang vd., 2016; Lin vd., 2014; Carosio vd., 2014; Zhao vd., 2014). Bu çalışmada özgül ağırlığı 1132 kg/m<sup>3</sup> olan sıvı polyester, çimento yerine bağlayıcı bileşen olarak kullanılmıştır. Polyester sertleştiricisi olarak iki adet malzeme kullanılmıştır. Bunlar mor (kobalt) ve şeffaf (mekperoksit) olarak isimlendirilmiştir.

### 2.1.4. Strafor köpük

Yapılan bu çalışmada bazı karışımlarda strafor köpük kullanılmıştır. Strafor köpükler bünyelerindeki granüller sayesinde çok iyi yalıtım özelliği gösterir. Bu nedenle ilave izolasyon malzemesine ihtiyaç göstermez. Kullanılan strafor köpüğün yoğunluğu 320 kg/m<sup>3</sup>, ısı iletkenlik katsayısı 0,065 W/mK'dir.

### 2.2. Metot

Karışım hesabı kontrol numune TS 802'ye göre yapılmıştır (TS 802, 2016), karışım hesabında dayanım sınıfı C 25 olarak alınmıştır. Yapılan çalışma için kontrol numune haricinde 5 adet deney numunesi EN 196-1'e göre üretilmiştir (TS EN 196-1, 2016). Üretilen 5 numune için karışımlar Tablo 2'de verilmiştir. Üretilen kompozitler için bağlayıcı olarak çimento yerine polyester kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerin 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları, EN 196-1'e göre belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler deney gününe kadar 20±2°C'de kirece doygun su içerisinde bekletilerek standart kür işlemi uygulanmıştır. Eğilme dayanımı için suda bekletilen kompozitler kür havuzundan çıkarılarak eğilme presi ile EN 196-1'e uygun (50±10) N/s yükleme hızında 3 noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 1).



**Şekil 1.** Kompozitlerin 3 noktalı eğilme dayanım testleri

40×40×160 mm boyutunda prizmatik çubuklar, her bir değer için üç adet kırılarak ve üç adet sonucun aritmetik ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Eğilme dayanımı sonucu altı adet 40×40×40 mm boyutundaki kompozitler basınç presi ile basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanımı cihazı deney için uygun kapasitede ve EN 196-1'e uygun (2400±200) N/s yükleme hızında ayarlanmıştır. Basınç dayanımı deneyinin sonucu, 3 prizmatik takımdan elde edilen 6 adet çimento harcı basınç deneyi sonucunun aritmetik ortalaması olarak ifade edilmiştir. 6 adet sonuç içerisinde biri ortalamadan ± %10'dan fazla farklılık gösterdiği durumda bu sonuç atılarak, geri kalan 5 sonucun ortalaması alınmıştır.

**Tablo 2.** Polyester bağlayıcılı kompozitlerin karışım miktarları

Karışım No	Ponza (g)	Polyester (g)	Uçucu Kül (g)	Katılaştırıcılar		Köpük (dm <sup>3</sup> )
				Mor (ml) / Şeffaf (ml)		
1	625,0	250,0	-	-	-	-
2	500,0	250,0	250,0	-	-	-
3	500,0	250,0	250,0	0,50	1,30	-
4	406,4	406,4	203,2	0,90	2,14	-
5	203,2	203,2	101,6	0,45	1,07	0,5

### 3. Deneysel Bulgular

Bu çalışma kapsamında, Tablo 2'de karışım miktarları verilen kontrol numune haricinde 5 farklı polyester bağlayıcılı kompozit serisi için deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu 5 farklı deneysel çalışma için polyester, bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Polyester katılaştırıcısı, uçucu kül ve köpük ise her karışım için farklı oranlarda karıştırılarak 1 dm<sup>3</sup>'lük karışımlar hazırlanmıştır. Polyester bağlayıcılı kompozitlerden (Şekil 2) elde edilen basınç ve eğilme dayanımları Tablo 3'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Polyester bağlayıcılı kompozitlerin kalıplanması

**Tablo 3.** Polyester bağlayıcılı kompozitlerin basınç dayanımları

Karışım	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
Kontrol	34,56	6,64
1	-	-
2	-	-
3	42,72	7,66
4	45,69	8,49
5	9,75	1,80

Karışım 1'de katılaştırıcı ve uçucu kül kullanılmamıştır. 40×40×160 mm prizmatik kalıplarda bekletilen karışım 1 numuneleri 28 günün sonunda dayanım göstermemiştir. Karışım 1 göz önüne alınarak işlenebilirliği artırması için ponza agregası azaltılarak uçucu kül kullanılmıştır. Karışım 2 numunelerinin, 28 gün sonunda prizini tam alamadığı görülmüştür.

Karışım 1 ve Karışım 2'nin prizini tam alamayıp bağlayıcılık kazanamadığından dolayı Karışım 3 ile birlikte polyester katılaştırıcısı kullanılmıştır. Karışım 3'de polyester katılaştırıcısı 1,8 (0,5+1,3) ml Karışım 4'de ise 3,04 (0,9+2,14) ml kullanılmıştır. Şekil 3'de gösterilen Karışım 4'de polyester bağlayıcılı kompozitin katılaştırıcı derişimi daha fazla kullanılmıştır. Katılaştırma derişimi daha fazla olan karışım 4'de daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.



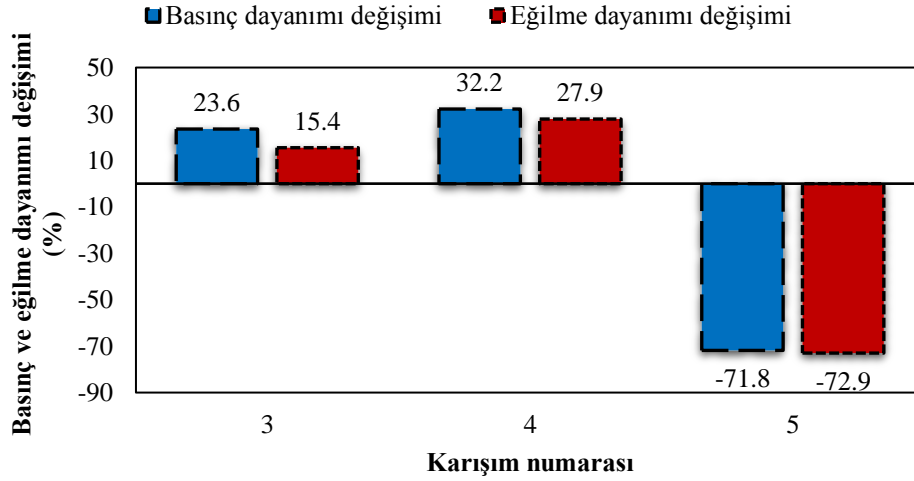
**Şekil 3.** 4 numaralı polyester bağlayıcılı kompozitler

Şekil 4’de gösterilen Karışım 5’de ise daha hafif bir kompozit elde edebilmek için köpük kullanılarak basınç ve eğilme dayanımlarının elde edilip edilmediğine bakılmış ve üretilen hafif kompozitlerde kayda değer bir basınç dayanımı elde edilmiştir.



**Şekil 4.** 5 numaralı polyester bağlayıcılı kompozitler

Tablo 3’ de görüldüğü gibi Karışım 1 ve Karışım 2 numunelerinde mekanik dayanımlar elde edilememiştir. Karışım 3 numunesinin basınç ve eğilme dayanımları 42,72 MPa ve 7,66 MPa elde edilmiş ve kontrol numuneye göre %23,6 ve %15,4 oranında artmıştır. Karışım 4’de polyester katılaştırıcının derişiminin artması ile basınç ve eğilme dayanımı 45,69 MPa ve 8,49 MPa elde edilmiştir ve kontrol numuneye göre %32,2 ve %27,9 oranında artmıştır. Karışım 5’de polyester ve ponza oranı azaltılarak hafif kompozit üretimi için çalışma yapılmış ve basınç ve eğilme dayanımları 9,75 MPa ve 1,80 MPa elde edilmiştir. Karışım 5 basınç ve eğilme dayanımları kontrol numuneye göre %71,8 ve %72,9 oranında azalmıştır. Karışım numunelerinin kontrol numuneye göre basınç ve eğilme dayanımı değişimleri Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Polyester bağlayıcılı kompozitlerin basınç dayanımı değişimi

#### 4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında hafif ponza agregalı ve 5 farklı karışımda üretilen polyester bağlayıcılı kompozitlerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Karışım 4’de verilen polyester bağlayıcılı kompozitin en yüksek basınç ve eğilme dayanımları sırasıyla 45,69 MPa ve 8,49 MPa olarak belirlenmiştir. Çimento bağlayıcı içeren normal kontrol kompozitlere göre basınç ve eğilme dayanımları %32,2 ve %27,9 oranında artmıştır.
- Polyester bağlayıcı içeren fakat katılaştırıcı içermeyen numunelerde basınç ve eğilme dayanımı elde edilememiştir.
- Katılaştırıcı derişiminin yükselmesi kompozit mekanik özelliklerini artırmıştır.
- Yüksek basınç dayanımı nedeniyle normal beton yerine dış saha uygulamalarında kullanılabilirliği gösterilmiştir.
- Çimento üretiminde ortaya çıkan yüksek CO<sub>2</sub> miktarından dolayı, bağlayıcı olarak çimento yerine polyester kullanılması ile çimentonun çevreye verdiği zarar ortadan kaldırılarak çevreye olumlu etki sağlanacaktır.
- Polyester bağlayıcılı kompozitlerin köpük ile birlikte kullanılması, kompozitin kendi ağırlığını taşıyabilecek olmasından ve içerdiği boşlukların fazla olmasından dolayı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir.
- Karışımında değişik agregaların kullanılması ile basınç dayanımı daha yüksek polyester kompozitler elde edilebilir.
- İleriki çalışmalarda polyester bağlayıcılı ve ponza agregalı kompozitlerin durabilite/kalıcılık özellikleri incelenebilir.

#### Referanslar

Aruntaş, H.Y. (2006). Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(1), 2006.

Bagheri, A., Zanganeh, H., Alizadeh, H., Shakerinia, M., & Marian, M.A.S. (2013). Comparing the performance of fine fly ash and silica fume in enhancing the properties of concretes containing fly ash. Construction and building materials, 47, 1402-1408. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.06.037

Carosio, F., Di Blasio, A., Cuttica, F., Alongi, J. & Malucelli, G. (2014). Flameretardancy of polyester and polyester–cotton blend treated with caseins. Industrial & Engineering Chemistry Research, 53(10): 3917–3923. doi:10.1021/ie404089t

Crangle, R.D. (2011). Pumice and pumicite. US geological survey minerals year book – mineral commodity summaries, 124–25.

Demir, İ., Güzelkücük, S., & Sevim, Ö. (2018). Effects of sulfate on cement mortar with hybrid pozzolan substitution. Engineering Science and Technology, an International Journal, 21(3), 275-283. doi:10.1016/j.jestch.2018.04.009

Grasser, K., & Minke, G. (1990). Building with pumice. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Germany: Eschborn.

Haddad, M.U., Fowler, D.W., & Paul, D.R. (1983). Factors affecting the curing and strength of polymer concrete, ACI Journal, 80(5), 396–402.

- Heidari-Rarani, M., Aliha, M.R.M., Shokrieh, M.M., & Ayatollahi, M.R. (2014). Mechanical durability of an optimized polymer concrete under various thermal cyclic loadings—An experimental study. *Construction and Building Materials*, 64, 308–315. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.031
- Hossain, K.M.A. (2003). Blended cement using volcanic ash and pumice. *Cement and Concrete Research*, 33(10), 1601-1605. doi:10.1016/S0008-8846(03)00127-3
- Hossain, K.M.A. (2004). Properties of volcanic pumice-based cement and lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(2), 283-291. doi:10.1016/j.cemconres.2003.08.004
- Hossain, K.M.A., & Lachemi, M. (2006). Performance of volcanic ash and pumice based blended cement concrete in mixed sulfate environment. *Cement and Concrete Research*, 36(6), 1123-1133. doi:10.1016/j.cemconres.2006.03.010
- Hossain, K.M.A., Ahmed, S., & Lachemi, M. (2011). Light weight concrete incorporating pumice based blended cement and aggregate: Mechanical and durability characteristics. *Construction and Building Materials*, 25(3), 1186-1195. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.09.036
- Khandaker, M., & Hossain, K.M.A. (2005). Chloride induced corrosion of reinforcement in volcanic ash and pumice based blended concrete. *Cement and Concrete Composites*, 27(3), 381-390. doi:10.1016/j.cemconcomp.2004.02.047
- Khandaker, M., & Hossain, K.M.A. (2005). Volcanic ash and pumice as cement additives: pozzolanic, alkali-silica reaction and autoclave expansion characteristics. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1141-1144. doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.025
- Lin, J.H., Hsieh, J.C., Lin, J.Y., Lin, M.C., & Lou, C.W. (2014). Polyester/low melting point polyester nonwoven fabrics used as soilless culture mediums: effects of the content of low melting point polyester fibers. *Applied Mechanics and Materials*, 457, 49–52. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.457-458.49
- Litvan, G.G. (1985). Further study of particulate admixtures for enhanced freeze–thaw resistance of concrete. *ACI Journal*, 82 (5):724–730.
- Neville, A.M. (1981). *Properties of Concrete*. Longman Scientific and Technical, New York.
- Seleem, H.E.H. (2006). The effect of inorganic fillers on the mechanical and thermal properties of polyester, *Polymer- Plastics Technology and Engineering*, 45(5), 585–590. doi:10.1080/03602550600553754
- Sevim, Ö., & Demir, İ. (2019). Optimization of fly ash particle size distribution for cementitious systems with high compactness. *Construction and Building Materials*, 195, 104-114. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.11.080
- Sevim, Ö., & Demir, İ. (2019). Physical and permeability properties of cementitious mortars having fly ash with optimized particle size distribution. *Cement and Concrete Composites*, 96, 266-273. doi:10.1016/j.cemconcomp.2018.11.017
- Shaikh, F.U., & Supit, S.W. (2015). Compressive strength and durability properties of high volume fly ash (HVFA) concretes containing ultrafine fly ash (UFFA). *Construction and building materials*, 82, 192-205. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.02.068
- Şimşek, B., & Uygunoğlu, T. (2018). Thermal, electrical, mechanical and fluidity properties of polyester-reinforced concrete composites. *Sādhanā*, 43(4), 57. doi:10.1007/s12046-018-0847-5
- TS 802, (2016). *Design of Concrete Mixes*. Turkish Standard Institution, Ankara.
- TS EN 196-1, (2016) *Methods of testing cement—Part 1: Determination of strength*. Turkish Standard Institution, Ankara, 2016.
- Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R., & Gül, R. (2004). The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(5), 845-848. doi:10.1016/j.cemconres.2003.09.018
- Wang, B., Qian, T., Zhang, Q., Zhan, X., & Chen, F. (2016). Heat resistance and surface properties of polyester resin modified with fluorosilicone. *Surface and Coating Technology*, 304, 31–39. doi:10.1016/j.surfcoat.2016.06.075
- Xu, F., Zhou, M., Chen, J., & Ruan, S. (2014). Mechanical performance evaluation of polyester fiber and SBR latex compound-modified cement concrete road overlay material. *Construction and Building Materials*, 63, 142–149. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.054
- Yasar, E., Atis, C. D., Kilic, A., & Gulsen, H. (2003). Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash. *Materials Letters*, 57(15), 2267-2270. doi:10.1016/S0167-577X(03)00146-0

Yeginobali, A., Sobolev., K.G., Soboleva, S.V., & Tokyay, M. (1998). High strength natural lightweight aggregate concrete with silica fume. ACI SP-178-38, 178, 739–758.

Zhao, J., Wang, D., Wang, X., Liao, S., & Lin, H. (2015). Ultrafine grinding of fly ash with grinding aids: Impact on particle characteristics of ultrafine fly ash and properties of blended cement containing ultrafine fly ash. *Construction and Building Materials*, 78, 250-259. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.01.025

Zhao, L., Guo, X., Ge, C., Li, Q., Guo, L., Shu, X. & Liu, J. (2016). Investigation of the effectiveness of PC@GO on the reinforcement for cement composites. *Construction and Building Materials*, 113, 470–478. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.03.090

Zhao, M.L., Li, F.X., Yu, J.Y., & Wang, X.L. (2014). Preparation and characterization of poly (ethyleneterephthalate) copolyesters modified with sodium-5-sulfo-bis-(hydroxyethyl)-isophthalate and poly (ethyleneglycol). *Journal of Applied Polymer Science*, 131(3). doi:10.1002/app.39823