



## Polimer ilaveli harçlarda sülfat etkisinin ve alkali silis reaksiyonunun incelenmesi

### Investigation of sulfate resistance and alkali silica reaction in polymer-incorporating mortars

Şemsi YAZICI<sup>1\*</sup>, Gözde İNAN SEZER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.  
semsiyazici@gmail.com, aginan@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 03.04.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 28.10.2015  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.78557  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Bu çalışmada, polimer ilaveli harçların sülfat etkisine ve alkali silika reaksiyonuna karşı direnci incelenmiştir. Bu amaçla, bağlayıcı olarak normal portland çimentosu ve stiren-akrilik polimer emülsiyonu kullanılmıştır. Polimer ağırlıkça %0, 5, 10 ve 15 oranlarında çimento yerine ikame edilerek harç karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan harç örneklerinin 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları, kılcal yolla su emme, porozite, birim ağırlık gibi özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca harç karışımlarının ASTM C1012 standardına göre sülfat direnci, ASTM C1260 standardına göre alkali silis reaksiyonuna karşı direnci araştırılmıştır. Polimer ilaveli harçlarda elde edilen sonuçlar kontrol harcı ile kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Polimer, Sülfat etkisi, Alkali silis reaksiyonu

#### Abstract

In this study, sulfate resistance and alkali silica reaction in mortars incorporating polymer were investigated. In this aim, normal portland cement and styrene-acrylic polymer emulsion were used. Mortar mixtures were prepared by replacing cement, with 0, 5, 10 and 15% polymer, by weight. 28-days compressive and flexural strength, water absorption and water sorptivity, porosity and unit weight of prepared mortar specimens were determined. Besides, sulfate resistance and alkali silica reaction resistance of prepared mortar mixtures were determined according to ASTM C1012 and ASTM C1260, respectively. Results obtained in polymeric mortar mixtures were comparatively evaluated with control mortar mixture.

**Keywords:** Polymer, Sulfate attack, Alkali silica reaction

## 1 Giriş

Betonun zayıf olan bazı özellikleri çimento ile birlikte veya yerine polimer kullanımı ile iyileştirilmektedir. Özellikle normal betonun çekme dayanımının, sünekliğinin ve dayanıklılığının yükseltilmesi amacıyla değişik polimerler betonda kullanılmaktadır. Polimer içeren betonlar, bağlayıcı olarak sadece polimerin kullanıldığı polimer betonları, polimerin çimentolu beton karışımına ilave edilmesiyle hazırlanan polimer ile modifiye edilmiş betonlar ve normal yollarla hazırlanmış betona polimer emdirilmesi suretiyle hazırlanan polimer emdirilmiş betonlar olmak üzere üç farklı yöntemle üretilmektedir. Polimer betonları; kimyasal etkilere karşı dayanıklılığının yüksek olması, mekanik özelliklerinin üstün olmasından dolayı genellikle endüstriyel amaçlarla kaplama ve tamir işlerinde, yapı güçlendirmelerinde, köprü tabliyelerinin onarımlarında, kanalizasyon borularında, tünel kaplamalarının prefabrik bölümlerinde, maden kazılarında iksa işlerinde kullanılmaktadır. Ancak üretim maliyetlerinin yüksek olması, termal ve sünme özelliklerinin normal betona kıyasla daha kötü olması nedenleriyle yapısal uygulamalarda tercih edilmemektedir [1]-[9].

Betonda sülfat etkisi, betonun sertleşmesinden sonra bazı portland çimentosu hidrasyon ürünlerinin kimyasal yapısının değişimine sebep olan ve hacim genleşmesi yaratan ürünlerin açığa çıkmasını sağlayan kimyasal reaksiyon olarak tanımlanabilir. Beton bu etkiden dolayı; hacim genleşmesi, dayanım ve kütle kaybına uğramaktadır. Bu etkiler sülfat iyonunun tipi ve konsantrasyonuna bağlı olarak gelişir. Bu nedenle sülfatlı ortamlarda kullanılacak malzemelerin uygun şekilde üretilmesi ve malzeme seçiminin ona uygun olması gereklidir [10]-[12].

Betonda alkali-silis reaksiyonu reaktif agregalarda bulunan aktif silis ve çimento içerisinde bulunan alkaliler ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) arasında gelişen bir kimyasal reaksiyondur. Bu reaksiyon sonucunda genleşme özelliğine sahip bir jel meydana gelmektedir. Bu ASR jelinin oluşmasıyla beton içerisinde bir takım gerilmeler doğmakta ve buna bağlı olarak rastgele gelişen çatlamlar oluşmaktadır. Alkali silis reaksiyonunu etkileyen temel faktörler; çimento alkali içeriği, agreganın reaktif silis içeriği, agrega inceliği, betonun geçirgenliği ve pH derecesidir [2],[13],[14].

Bu çalışmada çimentonun bir kısmı yerine değişik oranlarda polimer kullanımının harçların bazı dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2 Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

DeneySEL çalışmada bağlayıcı olarak CEM I 42.5 R tipi portland çimentosu ve stiren-akrilik esaslı polimer emülsiyon kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan polimerin katı içeriği yaklaşık %58, 20 °C'de pH değeri ortalama 7.5 ve vizkozitesi 300-1000 cps'dir. Kullanılan çimentonun karma oksitleri,  $\text{C}_3\text{S}$ : %62.4,  $\text{C}_2\text{S}$ : %9,  $\text{C}_3\text{A}$ : %10.9 ve  $\text{C}_4\text{AF}$ : %7 olarak Bogue denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır.

DeneySEL çalışmada harç örneklerinin hazırlanmasında iki tip agrega kullanılmıştır. Alkali-silis reaksiyonu deneylerinde 0-4 mm reaktif nitelikteki bazalt agregası, sülfat direnci, su emme, birim ağırlık, kılcallık ve mekanik deneylerde ise 0-5 mm kırma kireçtaşı kullanılmıştır. ASR için uygulanan deneylerde kullanılan agreganın gradasyonu ASTM C1260 standardı uyarınca belirlenmiş olup Tablo 2'de verilmiştir. Agregaların

ölgül ağırlık, su emme ve birim ağırlık değerleri sırasıyla ASTM C128 ve ASTM C29 standartlarına göre belirlenmiştir.

Tablo 1: Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Kimyasal kompozisyon %	CEM I 42.5 R
SiO <sub>2</sub>	19.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.3
CaO	63.70
MgO	1.1
Na <sub>2</sub> O	0.30
K <sub>2</sub> O	0.85
SO <sub>3</sub>	2.73
Kızdırma Kaybı	4.05
Serbest CaO	0.88
Fiziksel Özellikler	
Ölgül Ağırlık	3.13
Ölgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	3670
0.09 mm elek üstü (%)	0.7
0.032 mm elek üstü (%)	18.2
Hacim Sabitliği (mm)	1.0

Tablo 2: Bazalt agreganın özellikleri.

Elek boyutu	Kalan (%)
4.75 mm (No.4)-2.36 mm (No. 8)	10
2.36 mm (No.8)-1.18 mm (No. 16)	25
1.18 mm (No.16)-600 µm (No. 30)	25
600 µm (No.30)-300 µm (No. 50)	25
300 µm (No.50)-150 µm (No. 100)	15
Fiziksel özellikler	
Ölgül ağırlık (kyd)	2.79
Su emme oranı (%)	0.65
Gevşek birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	1630

Kırma kireçtaşı agregasını elek analizi ve bazı fiziksel özellikleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3: Kireçtaşı agreganın özellikleri.

Elek açıklığı (mm)	Geçen (%)
8	100
4	95
2	75
1	51
0.5	31
0.25	20
0.125	12
Fiziksel Özellikler	
Ölgül ağırlık (kyd)	2.70
Su emme oranı (%)	0.29
Gevşek birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	1660

## 2.2 Metot

Çalışmada 1 adet kontrol 3 adet polimer içeren toplam 4 adet harç karışımı hazırlanmıştır. Polimer içeren harç karışımlarında polimer %5, 10 ve 15 oranında ağırlıkça çimento yerine kullanılarak 40x40x160 mm ölçülerinde prizmatik örnekler dökülmüştür. Hazırlanan polimer içeren harç örnekler üzerinde toplam 28 günlük kür (1 gün oda sıcaklığında kalıpta bekletme + 24 saat 50 °C etüvde bekletme + 26 gün oda sıcaklığında havada kür) uygulamasına tabi tutulmuştur. Polimer içermeyen kontrol karışımı ise polimerli harçlarla aynı kür süresi boyunca standart küre tabi tutulmuştur. Bu şekilde kür uygulaması ile çimentonun bir kısmı yerine kullanılan polimerin polimerize olması

hedeflenmiştir. Uygulanan kür işlemi sonunda örneklerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları tespit edilmiştir. Eğilme deneyleri ortadan yüklemeli olarak gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyleri, eğilme deneyleri sonrasında kırılan örnekler üzerinde yapılmıştır.

Üretilen harç örneklerin birim ağırlık, görünür porozite ve su emme deneyleri 28 günlük kür sonrası 40x40x160 mm prizmatik numuneler kullanılarak yapılmıştır. Harç örneklerin birim hacim ağırlık, görünür porozite ve su emme deneyleri ASTM C 642'e göre tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında harç örnekler üzerinde kılcalık deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Deneyler 28 günlük kür sonunda 40x40x160 mm harç numuneleri üzerinde ASTM C 1585 standardına uygun olarak yapılmıştır.

Sülfat direnci deneyleri ASTM C1012 standardı uyarınca gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda sülfat etkisi için hazırlanan numunelerin karışım oranları Tablo 4'te sunulmuştur. Kontrol, %5, 10 ve 15 polimer içeren karışımların her birinden üçer adet örnek, %4.2 konsantrasyonda MgSO<sub>4</sub> ve %5 konsantrasyonda Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltileri içerisinde bekletilmiştir. Numuneler 25x25x285 mm boyutlarında pimli çubuk şeklinde hazırlanmıştır. Harç numuneleri çözeltilere yatırılmadan önce aynı gün dökümü yapılan 50x50x50 küp numunelerin basınç dayanımlarının 20 MPa'a ulaşması beklenilmiştir. Bu bekleme süresince örnekler 1 gün oda sıcaklığında kalıpta bekletme + 24 saat 50 °C etüvde bekletme + 20 MPa ulaşmaya kadar geçen sürede havada kür uygulamasına tabi tutulmuştur. Bu kür uygulamasının yapılmasının amacı polimerin polimerizasyonu için kuru ve sıcak ortamın gerekli olmasıdır. Örnekler 20 MPa basınç dayanımına ulaştıktan sonra aynı gün numunelerin ilk boy okumaları yapılmış ve çözeltilere yatırılmıştır. Çözeltilere yatırılan numunelerin genleşme ölçümleri periyodik olarak alınmıştır.

Tablo 4: Sülfat etkisi deneyleri için karışım oranları.

Harç kodu	Polimer oranı (%)	Çimento (g)	Agrega (g)	Polimer (g)	Su (g)
KH	0	491	1350	-	238
5 PH	5	466.5	1350	24.6	238
10 PH	10	441.9	1350	49.1	238
15 PH	15	417.4	1350	73.7	238

ASR genleşmeleri ASTM C1260 standardı uyarınca gerçekleştirilmiştir. Kontrol (polimer katkısız), %5, 10 ve 15 polimer içeren harç karışımların her birinden 3 adet örnek hazırlanmıştır. Karışımlar 25x25x285 mm boyutlarında pimli çubuklar halinde dökülmüştür. Harç numuneleri 24 saat kalıp süresi ardından polimer içeren harçların polimerizasyonu için 24 saat 50 °C etüvde bekletilmiştir. Bu işlemden sonra örnekler 24 saat 80 °C suda bekletilerek ilk boyları saptanmıştır. Daha sonra da 80 °C 1 N NaOH çözeltisinde bekletilmek üzere 14 günlük genleşmesi periyodik olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarda ASR deneylerinde kullanılan numunelerin karışım oranları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: ASR deneyleri için karışım oranları.

Harç kodu	Polimer oranı (%)	Çimento (g)	Agrega (g)	Polimer (g)	Su (g)
KH	0	440	990	-	207
5 PH	5	418	990	22	207
10 PH	10	396	990	44	207
15 PH	15	374	990	66	207

### 3 Bulgular ve tartışma

#### 3.1 Basınç ve eğilme deneyi sonuçları

Deneysel çalışmada değişik oranlarda çimento yerine polimer katılarak üretilen harç örneklerin 28 günlük basınç dayanımları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Harçların dayanım deney sonuçları.

Harç kodu	Polimer oranı (%)	28 günlük Eğilme dayanımı MPa	28 günlük basınç dayanımı MPa
KH	0	8.6	43.5
5 PH	5	8.2	39.8
10 PH	10	7.5	36.5
15 PH	15	7.4	34.9

Tablo 6'daki sonuçlar incelendiğinde; kontrol harcının hem 28 günlük eğilme hem de 28 günlük basınç dayanımlarının polimer içeren harçlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Harçlarda polimer oranının yükselmesiyle basınç ve eğilme dayanımlarının da düştüğü tespit edilmiştir. Benzer bulgular Şengül ve Doğan tarafından yapılan çalışmada da tespit edilmiştir [21].

#### 3.2 Birim ağırlık, görünür porozite ve su emme deneyi sonuçları

Çalışmada üretilen harç örneklerin birim ağırlık, görünür porozite ve su emme deneyi sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7'de verilen sonuçlar incelendiğinde; harç karışımına polimer ilavesi ile harçların su emme oranları ile birim hacim ağırlıklarının azaldığı, buna karşın boşluk oranlarının (porozitelerinin) bir miktar arttığı görülmektedir. Kullanılan polimerin harçlarda bir miktar hava sürüklediği, dolayısıyla boşluk oranını artırdığı, ayrıca dışarıya açık boşlukları az da olsa tıkaması nedeniyle su emme değerlerinde düşüşe sebep olduğu düşünülmektedir.

Tablo 7: Harçların Su emme, porozite ve birim hacim ağırlık deneyi sonuçları.

Harç kodu	Su emme (%)	Porozite (%)	BHA (kg/m <sup>3</sup> )
KH	4.3	9.8	2085
5 PH	3.9	9.9	2002
10 PH	3.6	10.2	1992
15 PH	3.4	10.6	1984

#### 3.3 Kılcal yolla su emme deneyi sonuçları

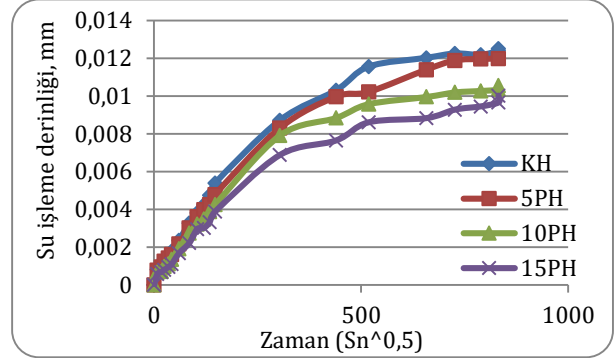
Üretilen harç örneklerin üzerinde yapılan kılcallık deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'deki sonuçlar incelendiğinde; harç karışımına polimer ilavesi ile harçların kılcal yolla emdiği suyun ulaştığı yüksekliğin azaldığı görülmektedir. Benzer sonuçlar Şengül ve Doğan tarafından yapılan çalışmada da vurgulanmıştır [21].

Bu azalmanın polimer oranının artışına bağlı olarak arttığı da görülmektedir.

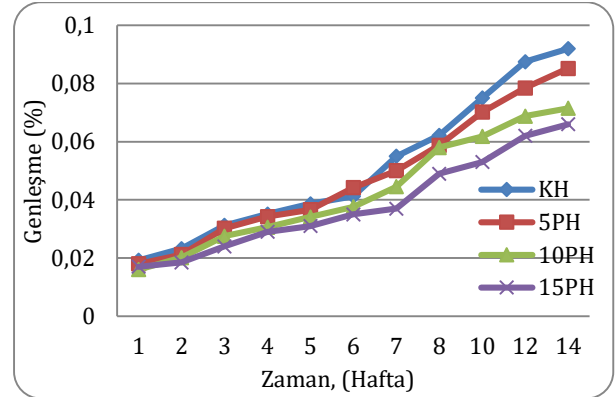
#### 3.4 Sülfat etkisi deney sonuçları

Üretilen harç örneklerin Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve MgSO<sub>4</sub> çözeltilerindeki genleşme değerleri sırasıyla, Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Beklenildiği gibi MgSO<sub>4</sub> çözeltilerinde beklenen örneklerin Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltilisinde beklenen örneklerle kıyasla daha yüksek genleşme gösterdiği görülmektedir. Şekil 2 ve 3'teki sonuçlar incelendiğinde; harç karışımına polimer ilavesi ile harçların sülfat etkisinde genleşme değerlerinin azaldığı görülmektedir.

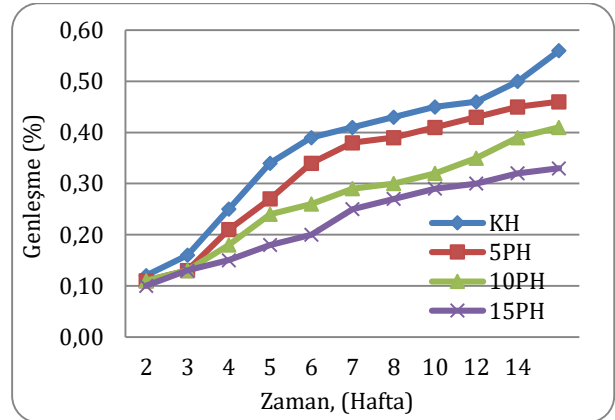
Polimer oranı arttıkça sülfat etkisine az da olsa direncin yükseldiği de tespit edilmiştir. Sülfat etkisi, betonun sertleşmesinden sonra bazı portland çimentosu hidratasyon ürünlerinin kimyasal yapısının değişimine sebep olan ve hacim genişlemesi yaratan ürünlerin açığa çıkmasını sağlayan kimyasal bir reaksiyondur. Çimentonun C<sub>3</sub>A içeriği sülfat direnci açısından büyük önem taşımaktadır. Polimer ilavesi ile birlikte çimento miktarının azalmasıyla ortamdaki C<sub>3</sub>A miktarının düşmesi sonucu oluşan etrenjit miktarının azalması ve yukarıda verilen kılcallık ve su emme bulgularına dayanarak harçların geçirgenliklerinin düşmesi sonucu dışarıdan sülfat iyonlarının girişinin zorlaşması olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 1: Harçların kılcal yolla su emme derinlikleri.



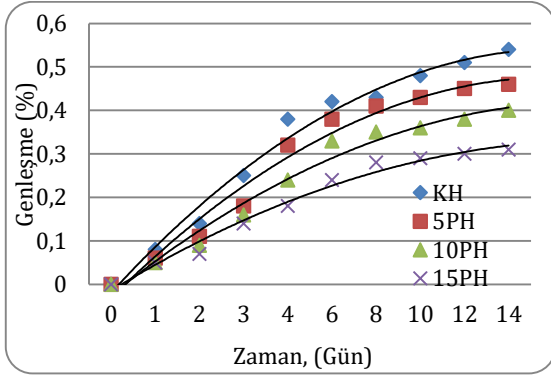
Şekil 2: Harç numunelerinin Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisindeki genleşmeleri.



Şekil 3: Harç numunelerinin MgSO<sub>4</sub> çözeltisindeki genleşmeleri.

### 3.5 ASR genleşmeleri

Harç örneklerin alkali silika reaksiyon genleşme değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Polimer içeren harç numunelerinin ASR genleşmeleri.

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek genleşme değerleri kontrol harcında, en düşük genleşme değerleri de %15 polimer içeren harçta elde edilmiştir. Ayrıca test edilen tüm karışımların ASTM 1260 da verilen 14 günlük genleşme limitini aştığı görülmektedir. Harç karışımına polimer ilavesi ile harçların alkali silika reaksiyonu genleşme değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Benzer bulgular Saccani ve Motori tarafından yapılan çalışmada da elde edilmiştir [22]. Bilindiği gibi alkali silika reaksiyonu çimento içerisindeki alkaliler ile reaktif agrega arasında gerçekleşen bir reaksiyondur. Polimer ilavesi ile çimento miktarının azalması sonucu ortamdaki alkali miktarı da azalmaktadır. Ayrıca, polimerin aktif olan agrega tanelerinin yüzeylerini kaplamaları sonucu agregaların reaksiyona girmeleri engellenmektedir. Bunların yanı sıra polimer ilavesinin geçirgenliği düşürmesi neticesinde de ortama nem girişi engellenmiş olmaktadır. Böylelikle oluşabilen alkali silika jellerinin genleşme potansiyeli de düşmektedir.

## 4 Sonuçlar

Yapılan bu çalışma sonucunda;

- Araştırmada kullanılan polimer oranları ve kür yöntemine bağlı olarak çimento esaslı harç karışımlarına polimer ikame edilmesiyle harçların mekanik özelliklerinin olumsuz yönde, dayanıklılık özelliklerinin ise olumlu yönde etkilendiği görülmüştür. Bu etkiler polimer ikame oranının artması ile daha da belirginleşmektedir,
- Harçlarda uygulanan etüv+hava kürü yöntemine bağlı olarak polimer oranının yükselmesiyle 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları düşmektedir,
- Harç karışımlarına polimer ilavesi ile harçların su emme oranları ile birim hacim ağırlıkları azalmış, buna karşın boşluk oranları bir miktar artış göstermiştir,
- Üretilen harç karışımına polimer ilavesi ile harçların kılcal yolla emdiği suyun ulaştığı yükseklik azalmıştır,
- Üretilen harç örneklerinden MgSO<sub>4</sub> çözeltisinde bekletilen örneklerin Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde bekletilen örneklerle kıyasla daha yüksek genleşme gösterdiği görülmüştür. Harç karışımına polimer ilavesi ile harçların sülfat etkisinde genleşme değerleri düşmüştür,

- Harç karışımına polimer ilavesi ile harçların alkali silika reaksiyonu genleşme değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

## 5 Kaynaklar

- [1] Özden ÇA. Polimer Betonların Donma-Çözülme Etkisine Dayanıklılığı. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 2010.
- [2] Baradan B, Yazıcı H, Aydın S. *Beton*. İzmir, Türkiye, DEU Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2012.
- [3] Del Vecchio, FJC, Reis, JM, Da Costa Mattos, HS. "Elasto-Viscoplastic behaviour of polyester polymer mortars under monotonic and cyclic compression". *Polymer Testing*, 35, 62-72, 2014.
- [4] Fowler DW. "Polymers in concrete: A vision for the 21<sup>st</sup> century". *Cement and Concrete Composites*, 21(5-6), 449-452, 1999.
- [5] Gorninski JP, Dal Molin DC, Kazmierczak CS. "Study of the modulus of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assessment of polymer concrete and Portland cement concrete". *Cement and Concrete Research*, 34(11), 2091-2095, 2004.
- [6] Ohama Y. "Recent progress in concrete-polymer composites". *Advanced Cement Based Materials*, 5(2), 31-40, 1997.
- [7] Rebeiz KS. "Precast use of polymer concrete using unsaturated polyester resin based on recycled PET waste". *Construction and Building Materials*, 10(3), 215-220, 1995.
- [8] Rebeiz KS. "Time-temperature properties of polymer concrete using recycled PET". *Cement and Concrete Composites*, 17(2), 111-124, 1995.
- [9] Soykan O, Özel C. "Polimer betonlarda kür süresinin fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi". *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 35(2), 33-41, 2014.
- [10] İnan, G. Değişik Tip Çimentoların ve Bunlarda Üretilen Betomların Sülfat Direnci. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2002.
- [11] Al-Amoudi OSB. "Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments". *Cement and Concrete Composites*, 24(3-4), 305-316, 2002.
- [12] DePuy GW. Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials (Chemical Resistance of Concrete), American Society for Testing and Materials, Fredericksburg, 1994.
- [13] Erdoğan TY. *Beton*. Ankara, Türkiye, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ. Yayını, 2003.
- [14] Akman S. *Yapı Malzemeleri*. İstanbul, Türkiye, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 1990.
- [15] ASTM C1260. "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)".
- [16] ASTM C128. "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate".
- [17] ASTM C29. "Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate".

- [18] ASTM C642. "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete".
- [19] ASTM C1585. "Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes".
- [20] ASTM C1012. "Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution".
- [21] Şengül Ö, Doğan ÜA. "Polimer katkı betonların mekanik ve durabilite özellikleri". 5. *Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 1-3 Ekim 2003.
- [22] Saccani A, Motori A. "The effect of polymer addition on alkali silica reactions in cementitious mortars". *Materials and Structures*, 34(6), 373-377, 2001.