



## Değişken Su/Çimento Oranına Sahip Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Su Emme Durumu

Serkan ETLİ<sup>1\*</sup> ve Melek AKGÜL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sağlık Bilimleri Fakültesi, Munzur Üniversitesi, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Tunceli MYO, Munzur Üniversitesi, TÜRKİYE

\*([serkanetli@munzur.edu.tr](mailto:serkanetli@munzur.edu.tr)) Başlıca yazarın mail adresi

**Özet** – Çalışma kapsamında CEM-I 52.5R beyaz portland çimento kullanılarak değişken su/çimento (S/Ç) oranına sahip kendiliğinden yerleşen harç (KYH) karışımı üretilmiştir. Üretilen 6 farklı KYH karışım setlerinin 28. deney gününde 24 saatlik su emme durumu incelenmiştir. Her KYH seti 50x50x50 mm ayrıtlı 18 adet numuneden oluşmaktadır. Küp numuneler 28. günlük kür sonrası etüv kurusu hal durumu sağlanarak su emme deneyine tabi tutulmuştur. Çalışma verilerine göre artan S/Ç oranına bağlı olarak su emme oranındaki değişim tespit edilmiştir. Sonuçlar grafikler ve tablolar ile sunulmuştur. KYH karışım setlerinde S/Ç oranındaki artış porozite üzerinde artışa neden olmanın yanı sıra su emme sınır durumunda da artışı desteklemektedir.

*Anahtar Kelimeler – Kendiliğinden Yerleşen Harç, KYH, Su Geçirimsizliği, Porozite*

### I. GİRİŞ

Birçok yapının inşasında büyük hacimlere sahip olan beton; otoyollardan köprülere, binalardan havaalanlarına, elektrik direklerinden kanalizasyon hatlarına kadar çok geniş bir yelpazede kullanım alanına ve kayda değer ekonomik bir paya sahiptir [1], [2]. Teknolojik değişim ve ilerlemelere kolaylıkla uyum sağlayabilen beton, sektörde ilk sırada tercih edilmesinin bir sonucu olarak büyük oranda üretilir ve buna paralel olarak da önemli miktarda hammadde ve doğal kaynak tüketimine yol açar [3]-[5]. Beton elemanların üretim sürecinde hedeflenen dayanım ve dayanıklılığın tahsis edilmesi birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu sürecin en belirleyici parametre dizisini hesap tasarımı ve beton bileşenleri kadar doğru üretim tekniği, kalıba yerleşim ve kür yöntemleri oluşturur.

Betonun tercihinde; bileşenlerinin ucuz ve kolay temin edilebilir olması, istenilen formun kolaylıkla verilebilmesi, onarım maliyetlerinin alternatif yapı

malzemelerine oranla daha az olması ve maruz kaldığı zararlı dış ortam koşullarına karşı yüksek performans sergilemesi en belirleyici faktörlerdir. Ancak yetersiz süneklik, yerleşim ve vibrasyon problemi gibi iyileştirilmesi gereken zayıf yönleri beton teknolojilerinde yeni arayışları tetiklemiştir. Yetersiz vibrasyon ile üretilmiş beton elemanlarda servis ömrü süresince beklenen durabilite performansı çoğu kez sağlanamaz. Bu durum çok sık donatılı ve karmaşık kesitli yapı elemanlarında yerleşimini kolaylaştırmak ve yeterli ölçüde homojenliği sağlamak amacıyla kendiliğinden yerleşen harç (KYH) ve kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretimini gerekli kılmıştır [5], [6]. Kendinden yerleşen/sıkışan bu sistemler; kendi ağırlığı altında vibrasyona gerek duymaksızın kalıbı boşluksuz doldurma özelliğine sahiptir. Kendiliğinden yerleşen çimentolu sistemlerin ilk uygulamaları 1988'de Tokyo Üniversitesi'nde işçilik maliyetini azaltmak ve daha yüksek kalitede beton yüzeyi elde etmek amacıyla yapılmıştır [5], [7], [8].

KYH kullanımını farklı coğrafyalarda artan bir ivme ile mühendislik uygulamalarında yerini almıştır. Bu artışta KYH teknolojisinin yenilikçi ve sürdürülebilir teknolojiler ile uyum sağlaması ve bu durumun birçok akademik çalışmada desteklenmesi belirleyicidir [9]-[13].

Kendiliğinden yerleşen çimentolu sistemler genellikle yüksek ayrışma direnci ve deformasyon özelliğine sahip kompozit malzemelerdir. Ayrıca uygulama yöntemlerinde en belirleyici dezavantajı maliyettir. Buna bağlı olarak da son akademik ve sektörel çalışmalarda KYH'ların reolojik özellikleri dikkate alınarak yenilikçi ve geri dönüştürülmüş ikame bileşenlere bağlı tasarımlar hedeflenmektedir. Çok sayıda endüstriyel atık özellikle agregaya ikameli olarak KYH ve KYB bileşeni olarak kullanılmaktadır. Atık lastik, inşaat yıkıntı atığı, endüstri atığı vb.lerin farklı oran, geometri ve uygulama yöntemleri ile kendiliğinden yerleşen çimento sistemlerine eklenmesi tasarımın birçok özelliği üzerinde belirgin etkilere sahiptir [12].

EFNARC kriterleri, kendiliğinden yerleşen çimento tasarımları için; doldurma kabiliyeti, kararlılık, akışkanlık, vizkozite, geçiş yeteneği, segregasyon gibi önemli parametrelere dair tespit yöntemi ve sınır durumları sunmaktadır [14].

## II. MATERYAL VE METOD

Çalışma kapsamında KYH karışımları hazırlanırken; CEM-I 52.5R beyaz portland çimento ve doğal kum (0-4 mm) kullanılmıştır. Karışım tasarımında kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri fabrika verisi olarak Tablo 1'de sunulmuştur. Deneysel çalışma kapsamında agregaya uygunluk deneyleri yapılmıştır. Doğal kum için TS EN 933-1'e uygun olarak gerçekleştirilen elek analizi Tablo 2'de verilmiştir. Agregaya tane yoğunluğu 2.65 gr/cm<sup>3</sup>'tür. Çalışmada karışım suyu olarak TS EN 1008'e uygun Tunceli ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır [15]-[17]. KYH özelliklerinin sağlanması için karışım tasarımında TS EN 934-2+A1'e uygun ürün kodu Sika Visco Crete Hi-Tech-28 olan polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı (HRWR) kullanılmıştır [18].

Tablo 1. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal bileşim (%)	SiO <sub>2</sub>	21.07
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---
	AlO <sub>3</sub>	3.96
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.35
	CaO	65.35
	Na <sub>2</sub> O	0.32
	SO <sub>3</sub>	3.22
	K <sub>2</sub> O	0.52
	MgO	1.44
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08
	TiO	0.14
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0033
	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0033
Kızdırma kaybı		3.54
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)		4530
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )		3.1

Tablo 2. Agregaya Elek Analizi

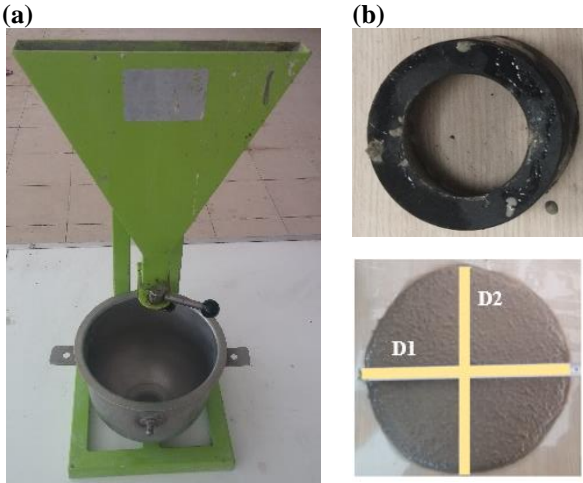
Elek göz açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)
4	100.00
2	61.23
1	52.63
0.5	36.24
0.25	22.00
0.125	15.31
0.063	9.28
Toplama Kabı	0.00

Karışım tasarımında S/Ç oranı değişken tutularak 6 farklı KYH karışımı ASTM C109/C109M-13'e uygun ekipman ile Tablo 3'te belirtilen taze KYH dizayn miktarı esas alınarak hazırlanmıştır. Tablo 3'te tüm setlerin 1 m<sup>3</sup> karışımına esas tasarım verilmiştir [19].

Tablo 3. KYH Karışım Tasarımı

1 m <sup>3</sup> Dizayn (kg/m <sup>3</sup> )					
	Çimento	Su	HRWR Visco Crete	Doğal Kum	S/Ç
<b>KYH.1</b>	520.0	300.0	3.0	1402.9	0.58
<b>KYH.2</b>	510.0	310.0	3.0	1385.0	0.61
<b>KYH.3</b>	505.0	320.0	2.5	1364.0	0.63
<b>KYH.4</b>	500.0	330.0	2.5	1341.8	0.66
<b>KYH.5</b>	500.0	340.0	2.0	1316.5	0.68
<b>KYH.6</b>	500.0	350.0	2.0	1290.0	0.70

Çalışmada üretilen KYH karışımları için mini çökme-yayılma konisi ve mini V hunisi işlenebilirlik deneyleri EFNARC standardına uygun olarak yapılmış elde edilen veriler EFNARC'ın sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır [20]. EFNARC'a göre hedeflenmiş yayılma çapı değerleri (240-260 mm) sağlayan harçlarda, mini V-hunisi deney düzeneğinde (Şekil 1.a) sıkıştırılmadan doldurulduktan sonra harcın huniden akma süresi ölçülmüştür. Mini çökme konisi KYH ile sıkıştırma yapılmadan doldurulduktan sonra koni kaldırılmış ve serbest yayılma çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek aritmetik ortalaması ( $D_{ort}$ ) hesaplanmıştır. Şekil 1.b'de yapılan bir ölçüme esas olan yayılmış harcın görüntüsü yer almaktadır [19].



Şekil 1. (a) V Hunisi Deney Düzeneği; (b) Mini Çökme-Yayılma Konisi Yayılma Deneyi

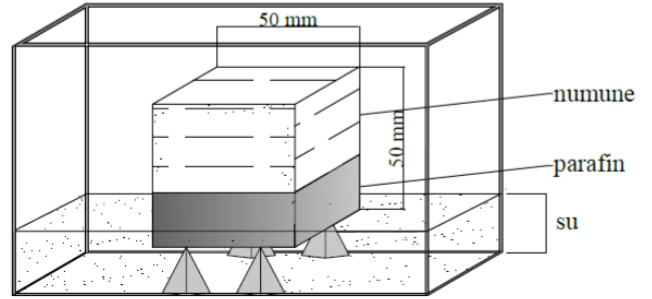
Her bir KYH setleri için 3 adet toplamda 18 adet 50x50x50 mm boyutlu küp numune sıkıştırılmadan ve vibrasyon yapılmaksızın TS EN 12390-1'e uygun olarak hazırlanmıştır. Numuneler 24±2 saat sonunda kalıptan alınmış ve ilgili deney gününe kadar (28 gün) kür havuzunda  $20 \pm 2$  °C sıcaklık ile %100 nispi nem ortamında kür edilmiştir [21].

Tüm KYH setleri 28. deney gününde kılcal su emme deneyine tabi tutulmadan önce  $105 \pm 5$  °C sıcaklıktaki hava sirkülasyonlu etüvde sabit ağırlığa kadar bekletilmiş ve etüv kuru ağırlıkları kaydedilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Su emme deneyi öncesi KYH setleri genel görünümü

Sabit ağırlık ve oda sıcaklığı sağlanmış numunelerin yan yüzeyleri kaplanarak yalıtılmıştır. Numuneler Şekil 3'te verilen düzeneğe tabandan ve tek yüzeyden su emecek şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 4'te su emme deneyine tabi olan numune örnekleri verilmiştir.

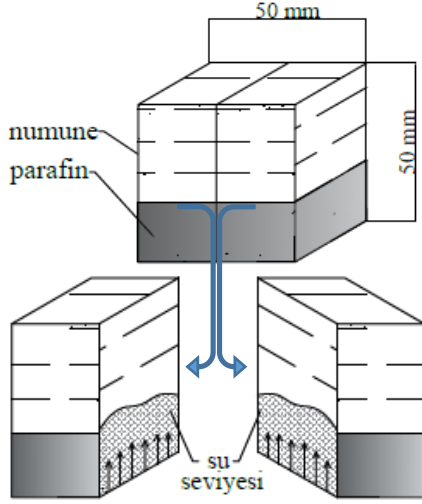


Şekil 3. Su emme deney düzeneği

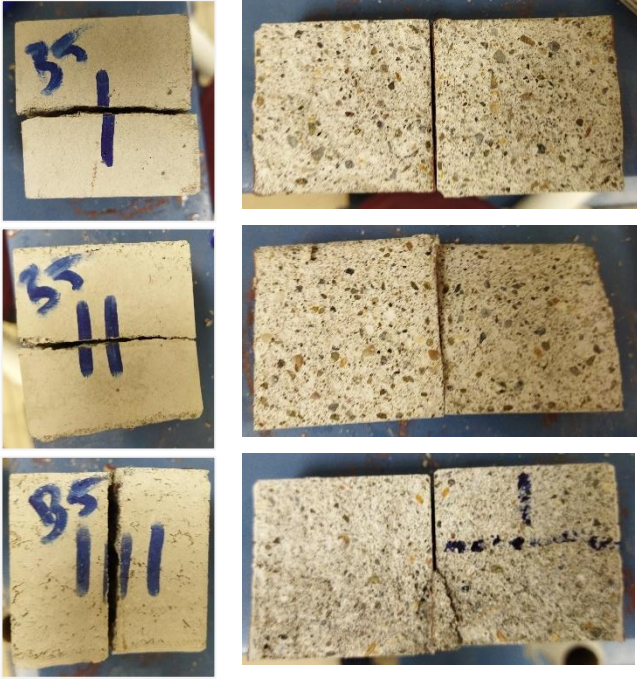


Şekil 4. Su emme deneyi

24 saat (1140 dk) sonra numunelerin yüzeylerindeki serbest su silinerek su emme durumu iç görüntüsü Şekil 5'te verildiği gibi değerlendirilmiştir. Değerlendirme ve numune içi görünümünün tespiti için numuneler su emme yüzeyine dik doğrultuda iki eşit parçaya ayrılmıştır (Şekil 6).



Şekil 5. Numunelerde su emme durumunun iç yüzeyde tespiti



Şekil 6. Su emme deneyi sonrası numune iç görünümü

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

EFNARC'a göre hedeflenmiş yayılma çapı değerleri sağlandıktan sonra harçlarda, mini V-hunisi deneyi gerçekleştirilmiştir. Tüm KYH'ların mini çökme konisi yayılma çapı (mm) ve V-hunisi akma süresi (sn) Tablo 4'te verilmiştir. Kaydedilen V-hunisi akma süreleri 7-11 sn aralığında olup EFNARC kriterlerine uygunluk teşkil eder.

Tablo 4. KYH Karışımları V hunisi ve Mini Çökme-Yayılma Konisi Deneyi Verileri

	Mini Çökme-Yayılma Konisi Yayılma Çapı (mm)	V-Hunisi Akma Süresi (sn)
<b>KYH.1</b>	250	9.64
<b>KYH.2</b>	253	9.36
<b>KYH.3</b>	255	9.08
<b>KYH.4</b>	258	8.97
<b>KYH.5</b>	260	8.92
<b>KYH.6</b>	260	8.85

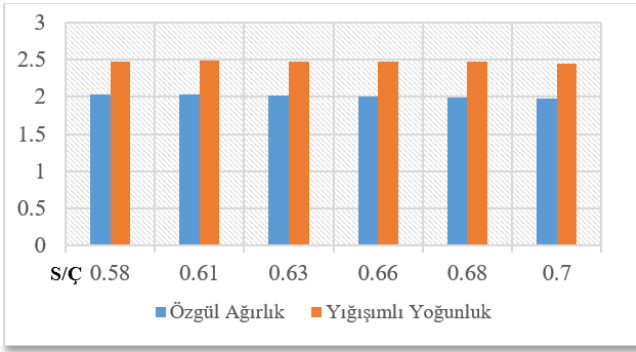
KYH karışımlarının tasarımına bağlı olarak değişen birim özgül ağırlık, yığışlı yoğunluk, porozite ( $G_p$ ) ve su emme yüksekliği ( $l_w$ ) tespit edilmiş ve Tablo 5'te verilmiştir [22].

Tablo 5. KYH setleri için özgül ağırlık, yığışlı yoğunluk, porozite ( $G_p$ ) ve su emme yüksekliği ( $l_w$ )

	Özgül Ağırlık	Yığışlı Yoğunluk	Porozite $G_p$ (%)	Su Emme Yüksekliği ( $l_w$ ) (mm)
<b>KYH.1</b>	2.04	2.48	19.20	20
<b>KYH.2</b>	2.03	2.49	20.30	23
<b>KYH.3</b>	2.02	2.48	20.90	27
<b>KYH.4</b>	2.01	2.48	21.70	30
<b>KYH.5</b>	1.99	2.47	22.20	32
<b>KYH.6</b>	1.98	2.45	22.70	40

KYH karışımlarında artan S/Ç oranına bağlı olarak porozitede ( $G_p$ ) belirgin artış kaydedilmiştir. En fazla S/Ç oranı olan 0.70 değerine sahip KYH.6 için  $G_p$  değeri 22.70 iken; en düşük S/Ç oranına (0.58) sahip KYH.1 için  $G_p$  değeri 19.20'dir. KYH.1 ve KYH.6 arasında bu veriler değerlendirildiğinde; S/Ç oranındaki 0.12 oranındaki artış porozite üzerinde %3.50 artışı da beraberinde getirmektedir.

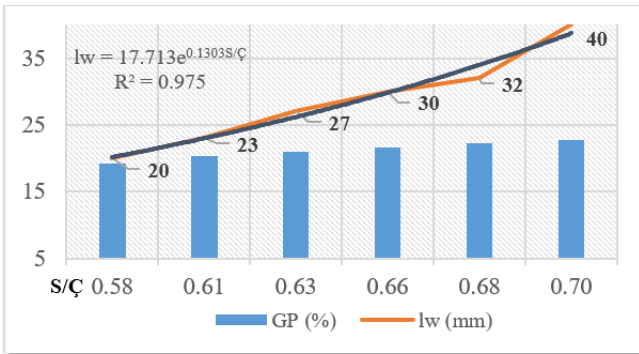
En düşük ve en yüksek özgül ağırlık değerleri sırasıyla KYH.6 ve KYH.1 setleri için 1.98 ve 2.04 olarak kaydedilmiştir. Yığışlı yoğunluk değerleri de bu verilere paralellik sergilemektedir. KYH setlerinde S/Ç oranındaki artış özgül ağırlık değerlerinde ters orantılı olarak azalışı sağlamaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Özgül ağırlık, yığışımlı yoğunluk ve S/Ç oranı ilişkisi

Şekil 8’de KHY setleri için tek yüzeyden (50x50 mm<sup>2</sup>) su emme yüksekliği ( $l_w$ ), porozite ( $G_P$ ) ve S/Ç oranı ilişkisi verilmiştir. S/Ç oranı ile  $l_w$  değeri arasındaki denklemin  $R^2$  değeri 0.975’tir ve ilgili denklem eşitliği Şekil’8 de yer almaktadır.  $l_w$  değeri artan S/Ç oranına bağlı olarak artan parabolik bir eğri ile kaydedilmiştir.

KYH numunelerde S/Ç oranı “0.60 ve üzeri” olan numune setlerinde  $G_P$ ’nin yaklaşık “20” olması  $l_w$  değerini “23 mm”ye taşımaktadır. Kapiler su emme değeri yüksek olan numunelerde kütlece su emme değerlerinin de yüksek olması beklenir [23], [24]. S/Ç oranının “0.60 ve üzeri” değerleri için hacimsel su emme verisi yaklaşık %46’dır.



Şekil 8. Su emme yüksekliği ( $l_w$ ), porozite ( $G_P$ ) ve S/Ç oranı ilişkisi



Şekil 9. KYH numuneleri su emme deneyi sonrası su emme yüksekliği ( $l_w$ )

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, CEM-I 52.5R beyaz portland çimento kullanılarak 0.58-0.70 bandında değişken S/Ç oranı ile üretilen 6 farklı KYH'nin 24 saatlik su emme durumu incelenmiştir.

Üretilen tüm KYH setlerinde artan S/Ç oranına bağlı olarak porozitenin ( $G_p$ ) arttığı ve buna paralel olarak 24 saat sonunda kılcal su emme sonrası yükselen su seviyesinin ( $l_w$ ) daha fazla olduğu veriler ışığında kaydedilmiştir.

Tek yüzeyden ( $50 \times 50 \text{ mm}^2$ ) kılcal su emme deneyi sonrası en fazla su emme yüksekliği ( $l_w$ ) verisi KYH.6 setlerinde 40 mm olarak elde edilmiştir. Bu durum 24 saatlik bir süreçte numunede büyük oranda poroziteye ( $G_p$ ) bağlı su emme durumu ile açıklanmaktadır. Çünkü genel bir kabul ile su emme verisi numunenin porozitesi hakkında dolaylı bilgi vermektedir. Tek yüzeyden sağlanan kılcal su emme değeri yüzeye açılan sürekli boşluk miktarından etkilenir. Kılcal su emme değeri yüksek olan elemanlarda kütlece su emme değerinin de yüksek olması beklenen bir durumdur. Bu deneysel çalışma verilerine bağlı olarak sunulan grafik ve denklemlere göre S/Ç oranı ve su emme yüksekliği ( $l_w$ ) arasında yüksek bir korelasyon ilişkisi ( $R^2=0.975$ ) bulunmaktadır. KYH elemanlarda yeterli dayanım, dayanıklılık ve durabilitenin sağlanması için S/Ç oranının düşük tutulması büyük öneme sahiptir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Ö. Çakır, Yüksek Fırın Cürufunun Betonun ve Betonarmenin Kalıcılığına (Durabilitesine) Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.* 2006.
- [2] M. Akgül, O. Doğan, O.G. Odacıoğlu, A Review on Adherence in Reinforced Concrete. *Civil Engineering Beyond Limits*, 4,1765. 2022. doi: 0.36937/cebel.2022.1765
- [3] M. Akgül, Betonarme Yapılarda Donatı Korozyon Oranının ve Yaşının Belirlenmesi. *Doktora Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.* 2022.
- [4] A. Adesina, Use of Rice Husk in concrete: Review of mechanical properties. 2018 [https://depot.ceon.pl/bitstream/handle/123456789/15839/CEPPIS\\_2018\\_ost\\_15-22.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://depot.ceon.pl/bitstream/handle/123456789/15839/CEPPIS_2018_ost_15-22.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [5] MMA. Beediq, Mineral Katkıların Yüksek Dayanımlı Kendiliğinden Yerleşen Harç Özelliklerine Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.* 2021.
- [6] R. Deeb, Flow of self-compacting concrete. *Doktora Tezi. Cardiff Üniversitesi.* 2013.
- [7] A. Seddik, A. Beroual, A. Zergua, M.N. Guetteche, Self Compacting Concrete under Local Conditions. *Open Journal of Civil Engineering*, 3(2), 2013. doi: 10.4236/ojce.2013.32014
- [8] H. Okamura, M. Ouchi, Self-compacting concrete. Development, present use and future. In *Self-Compacting Concrete: Proceedings of the First International RILEM Symposium, Cachan Cedex, France: Rilem Publications.* 1999.
- [9] M. Akgül, O. Doğan, S. Etlı, Investigation of mechanical properties of granulated waste rubber aggregates substituted self-compacting concrete mortar produced with different cement. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12 (2), 787 – 798, 2020. doi: 10.29137/umagd.734614
- [10] S. Cemalgil, S. Etlı, Effects of Specimen Size on The Compressive Strength of Rubber Modified Self-Compacting Concrete. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 6(2), 118-129. 2020. doi:10.29132/ijpas.789480.
- [11] S. Cemalgil, S. Etlı, O. Onat, Curing effect on mortar properties produced with styrene-butadiene rubber. *Computers and Concrete*, 21(6), 705-715. 2018. doi:10.12989/cac.2018.21.6.705.
- [12] E. Güneysi, M. Gesoğlu, Uçucu Kül ve Metakaolın İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçlar. 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Kardelen Press, Ankara, Turkey,* 2007. .
- [13] C. Hall, Water sorptivity of mortars and concretes: a review. *Magazine of concrete research*, 41.147 (1989): 51-61.1989.
- [14] EFNARC & The European Project Group, The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use. The European Guidelines for Self Compacting Concrete. May, 63.2005.
- [15] TS EN 21. Çimento - Beyaz portland çimentosu - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.* 2012.
- [16] TS EN 1008. Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.* 2003.
- [17] TS EN 933-1. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini- Eleme yöntemi. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.* 2012.
- [18] TS EN 934-2+A1. Kimyasal katkıları- Beton, harç ve şerbet için- Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları- Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.* 2013
- [19] ASTM C109/C109M-13. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). *ASTM International, West Conshohocken, PA.* 2016.
- [20] EFNARC. Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete. EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, 32. 2002.

- [21] TS EN 12390-1. Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.* 2013
- [22] ASTM C642-13. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. *ASTM International, West Conshohocken, PA.* 2013.
- [23] A. Özdemir, Bazı Yapı Malzemelerin Kapiler Su Emme Potansiyelleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 26 (1), 19-32. 2002.
- [24] M. Göktepe, C3A Oranı Farklı Çimentolarla Üretilmiş Betonlarda Sülfat Etkisi ve Klorür Geçirirmliliği. *Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.2008.