

# BETON ÜRETİMİNDE ALTERNATİF SU GEÇİRİMSİZLİK KATKILARININ KULLANIMI

**Burak FELEKOĞLU**

Araş. Gör.  
Dokuz Eylül Üniversitesi,  
İnş.Müh. Böl.  
İzmir, Türkiye

**Bülent BARADAN**

Prof. Dr.  
Dokuz Eylül Üniversitesi, İnş.  
Müh. Böl.  
İzmir, Türkiye

## ÖZET

Beton üretiminde su geçirimsizlik katkısı olarak çoğunlukla modifiye lignosülfonat kökenli katkıları kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı bir su geçirimsizlik katkısının belli oranlarda kullanımının çimento harcı ve betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kullanılan katkı, modifiye lignosülfonat ve organik yağ asidi esteri karışımından oluşmaktadır. İlk aşamada bu katkı ile harç örnekleri hazırlanıp örneklerin; kılcal su emme, klor iyonu penetrasyon derinliği, toplam su emme, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Su emme özellikleri ile ilgili deney sonuçları sadece klasik modifiye lignosülfonattan oluşan bir katkı kullanılarak hazırlanan harçlardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, katkının değişik kriterlere göre en uygun kullanım oranı belirlenmiştir. İkinci aşamada ise katkısız, %3 ve %5 oranında su geçirimsizlik katkısı kullanılarak beton karışımları üretilmiştir. Bu karışımlardan alınan örnekler üzerinde basınçlı su geçirimsizlik deneyi yapılmıştır. Çalışma sonucunda uygun oranda modifiye lignosülfonat ve organik yağ asidi esteri karışımı kullanımının harç ve betonun su geçirimsizlik özelliğini olumlu etkileyebileceği, ancak basınç dayanımında bir miktar azalma meydana geleceği belirlenmiştir.

## GİRİŞ

Beton üretiminde su geçirimsizlik katkıları özellikle havuz betonu, su deposu, temel betonu ve son kat döşeme betonu üretimlerinde zaman zaman talep edilmektedir. Ancak uygulamada su geçirimsizlik katkısı olarak çoğunlukla sadece modifiye lignosülfonat kökenli katkıları kullanılmaktadır. Bu katkıların betonda su geçirimsizliği sağlama mekanizmaları dolaylıdır. Su azaltma performansları ile beton bünyesinde oluşacak kapiler boşlukların miktar ve boyutunu küçültmektedirler [1]. Böylece betonun bünyesine su ve benzeri zararlı maddelerin girişi zorlaşmaktadır. Dolayısıyla su geçirimsizlik performansları üretimde sağladıkları su azaltma miktarı ile orantılıdır. Modifiye lignosülfonat kökenli katkıların su azaltma performansları da kullanım oranına bağlı olarak genellikle %10-12'yi geçmediğinden, su geçirimsizlik açısından çok etkili oldukları söylenemez. Bu çalışmada alternatif bir su geçirimsizlik katkısının belli oranlarda kullanımının harç ve betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir. Kullanılan katkı modifiye lignosülfonat ve organik yağ asidi esteri karışımından oluşmaktadır. Bu katkının kullanımı ile sertleşmiş betonun su geçirimsizlik özelliklerindeki değişiklikler karşılaştırmalı deneylerle ortaya konulmuştur.

## AMAÇ

Bu çalışmada, pratikte en sık kullanılan su geçirimsizlik katkılarına alternatif olabilecek ve daha iyi performanslı beton üretimine olanak sağlayabilecek bir kimyasal katkının çimento harcı ve betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Kullanılan katkı modifiye lignosülfonat ve organik yağ asidi esteri karışımından (WRC) oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında WRC ve LS katkılı çimento harcı örneklerinin kılcal su emme, klor iyonu penetrasyon derinliği, toplam su emme, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Bu kapsamda WRC ve LS katkılarının çimento harcındaki performansı, şahit harç örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ışığında WRC katkısının su geçirimsizliği sağlama açısından LS katkısına göre daha etkili olduğu görülmüş ve en uygun kullanım oranı belirlenmiştir. Ardından, beton üretiminde kullanılması halinde, WRC katkısının basınçlı su geçirimsizliğini ve basınç dayanımını nasıl etkilediği incelenmiştir.

## Deneysel çalışmalar

### Kullanılan malzemeler

Çimento harcı ve beton üretimlerinde CEM I 42.5 tipi normal Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur. Harç karışımlarında kırma kum, beton karışımlarında da kırma kuma ilave olarak 5-15 mm ve 15-25 mm tane boyutlarında kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Agreganın özellikleri Tablo 2’de ve tane boyut dağılımları Şekil 1’de verilmiştir. Beton üretiminde kullanılan agreganın tane boyut dağılımı da Şekil 1’de görülmektedir.

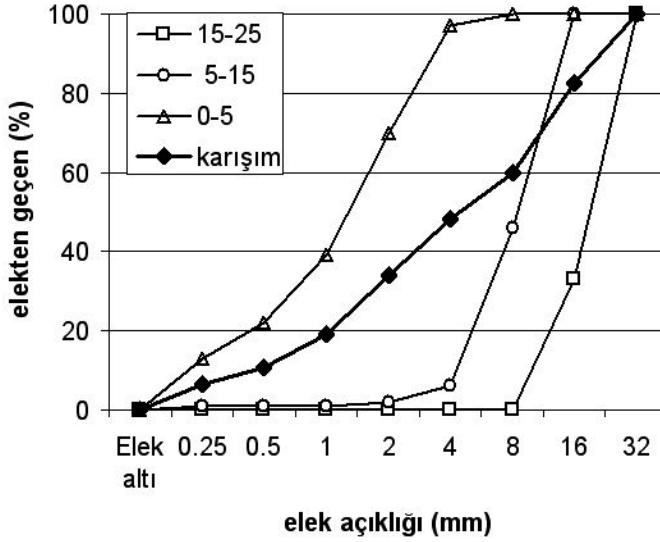
Tablo 1. CEM I 42.5 çimentosunun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

<b>Karma oksit kompozisyonu</b>	C <sub>3</sub> S (%)	56.40	<b>Fiziksel ve mekanik özellikler</b>	Özgül ağırlık	3.11
	C <sub>2</sub> S (%)	15.80		Blaine - Özgül yüzey (m <sup>2</sup> /kg)	340
	C <sub>3</sub> A (%)	10.95		Priz başlangıcı (dak.)	145
	C <sub>4</sub> AF (%)	7.53		Priz bitişi (dak.)	215
				28 günlük basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	48.5

Tablo 2. Agregaların fiziksel özellikleri

<b>Fiziksel özellik</b>	<b>kırma kireçtaşı iri agregası</b>		<b>kırma kum</b>
	<b>15-25 mm</b>	<b>5-15 mm</b>	<b>0-5 mm</b>
özgül ağırlık (kuru)	2.68	2.70	2.59
özgül ağırlık (K.Y.D)	2.69	2.71	2.62
su emme (%)	0.25	0.39	1.21

Su geçirimsizlik katkısı olarak aynı firmanın ürünü iki farklı katkı kullanılmıştır. İlki sadece modifiye lignosülfonat kökenli bir ürün (LS) iken diğeri modifiye lignosülfonat ve organik yağ asidi ester karışımından oluşmaktadır. WRC isimli ikinci katkı uygulamada kullanılan katkılardan farklı bir kimyasal yapıya sahiptir. WRC ve LS katkılarının özgül ağırlıkları ve pH değerleri sırasıyla 1.35, 1.16 ve 8.2, 5.6 olarak ölçülmüştür. Her iki katkının da suda çözülebilir klor içerikleri 3000 ppm’in altındadır.



Şekil 1. Agregaların tane boyut dağılımları

## Deney programı

Çimento harcı karışımları deney programı

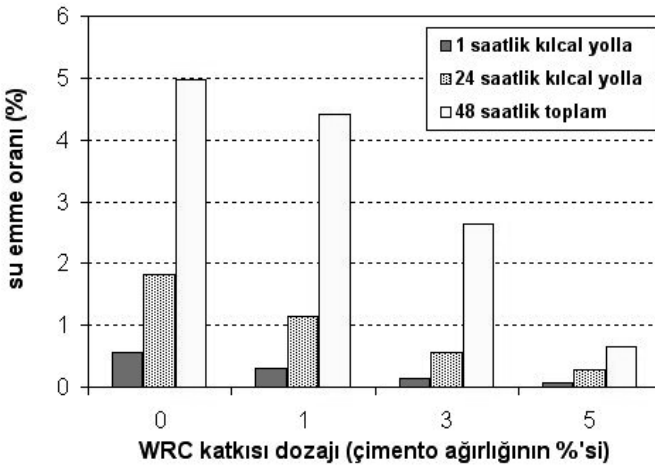
İlk aşamada farklı oranlarda WRC ve LS katkıları içeren harç karışımlarının kılcak ve toplam su emme özellikleri standart harç karışımı ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla hazırlanan harç karışım oranları Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4'den görüleceği üzere WRC katkısı için katkı ağırlığının bir kısmı su olduğu için karışım suyundan katkı ağırlığı kadar azaltma yapılmıştır. LS katkısının kullanıldığı karışımlarda ise katkı dozajına bağlı olarak su azaltması yapılmıştır. Katkıların deneysel çalışma kapsamında taranan kullanım oranları değişkenlik göstermektedir. LS için (sadece modifiye lignosülfonat kökenli) %1'in üzerinde kullanımın priz geciktirici ve hava sürükleyici etki yapacağı dikkate alınarak üst sınır %0.8 olarak belirlenmiştir. WRC katkısında ise modifiye lignosülfonat miktarının katkıdaki oranı düşük düzeydedir. Bu yüzden kullanım oranı taramasında %5'e kadar çıkılmıştır. Ancak WRC katkısının da yüksek oranda kullanımda hava sürüklenme etkisi olduğu tespit edilmiştir. Deney sonuçları sonraki bölümlerde sunulacaktır.

Hazırlanan harç karışımlarının ASTM C187 [2]'ye göre yapılan sarsma tablası kıvam deneyi sonuçları da Tablo 4'de verilmiştir. Karışım suları yayılma çapı  $115 \pm 5$  mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Her karışımından altışar adet  $40 \times 40 \times 160$  mm boyutlarında prizmatik örnekler hazırlanmıştır. Bunlardan yarısı 28 gün boyunca suda, diğer yarısı ise 7 gün boyunca suda

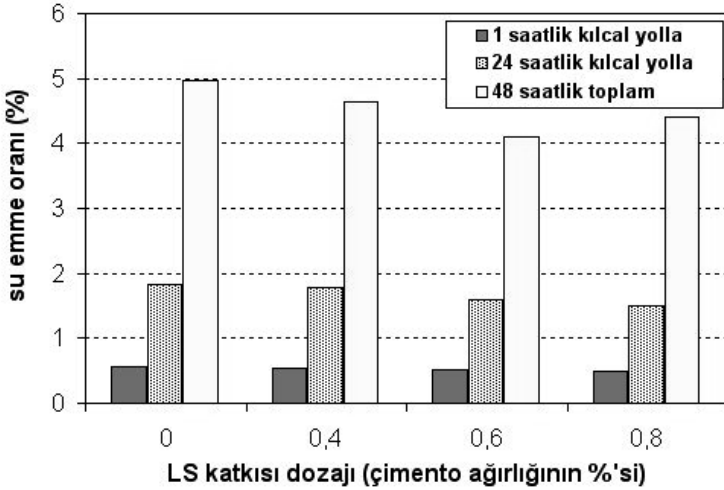
ve izleyen 28 gün boyunca %5 NaCl çözeltisinde bekletilmiştir. İlk set 28 gün sonunda sudan çıkartılıp kurutulmuştur. Ardından kuru örnekler, kılcal su emme deneyleri için tabandan 1-2 mm kadar suya dokunacak şekilde plastik çıtalar üzerine yerleştirilmiştir. 1 ve 24 saat sonraki ağırlıkça su emme miktarları belirlenmiştir. 24 saatin sonunda örnekler tamamen suya gömülerek 24 saat daha beklenmiştir. Sudan çıkartılan örneklerin ağırlık artışları toplam su emme olarak kaydedilmiştir. WRC ve LS katkıları içeren örneklerin su emme deney sonuçları Şekil 2 ve 3'de görülmektedir. Su emme ile ilgili deneyler tamamlandıktan sonra WRC katkılı örnekler 35. güne kadar tekrar suda bekletilmiştir. Daha sonra bu örneklerin ASTM C348 [3] ve C349 [4] standardına göre eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Deney sonuçları Şekil 4'de sunulmuştur. İkinci set (tuzlu suda bekletilen) örnekler de 35. günde çözeltiden çıkartılıp ortadan ikiye bölünmüştür. Örneklerin kırık yüzeyine 0.1 N'lik gümüş nitrat ( $AgNO_3$ ) çözeltisi püskürtülerek renk farkının oluşması beklenmiştir [5]. Renk farklılığı oluşan alan ölçülerek klor iyonu işleme derinlikleri tüm örnekler için belirlenmiştir. Şekil 5'de WRC katkısının klor iyonu penetrasyon bölgesine etkisi görülmektedir.

Tablo 4. Harç karışımları ve özellikleri

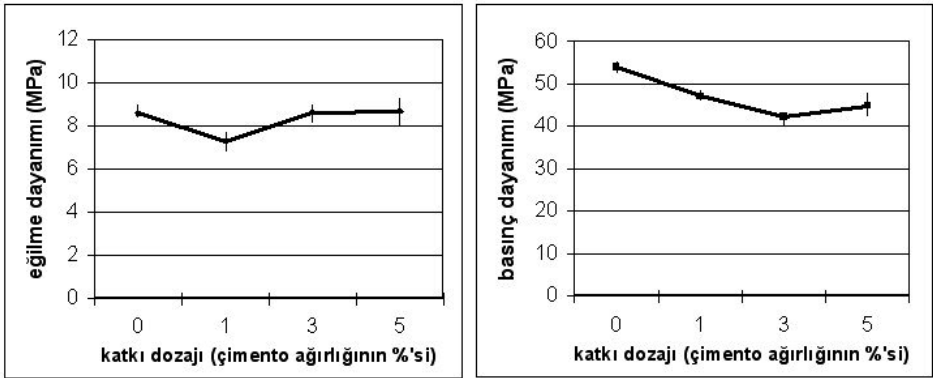
Karışım bileşenleri (g)	%0	%1 WRC	%3 WRC	%5 WRC	%0.4 LS	%0.6 LS	%0.8 LS
Çimento	675	675	675	675	675	675	675
Kum	2025	2025	2025	2025	2025	2025	2025
Su	338	331	318	300	331	318	300
Katkı	0	7	20	38	3	4.5	6



Şekil 2. WRC katkılı çimento harçlarının kılcal ve toplam su emme değerleri



Şekil 3. LS katkıli çimento harçlarının kılcal ve toplam su emme değerleri

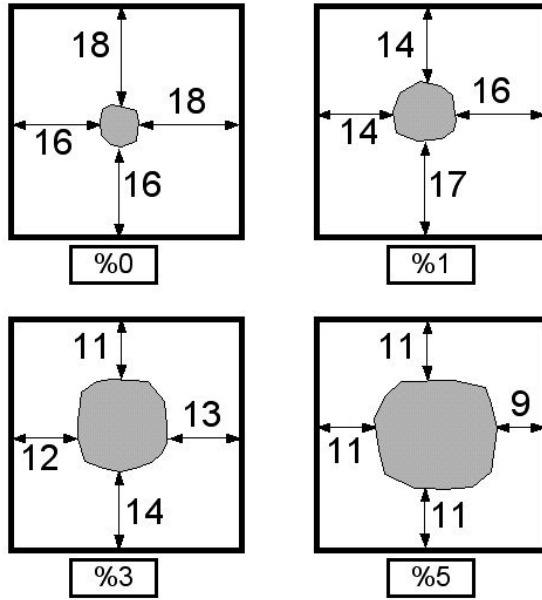


Şekil 4. WRC katkısının çimento harcının mekanik özelliklerine etkisi (35 günlük)

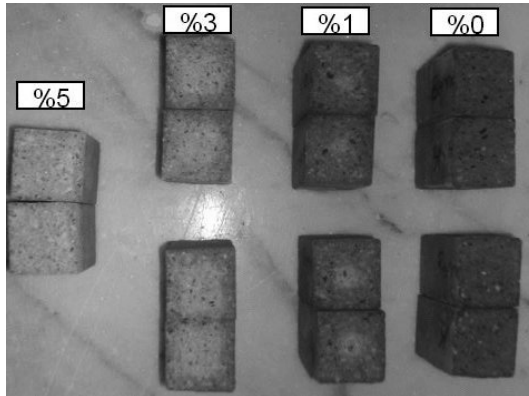
#### Çimento harcı karışımları deney sonuçları ve tartışma

Kılcal ve toplam su emme özelliklerini belirlemeye yönelik olarak yapılan her iki deney sonucunda da WRC katkısı dozajının artışı ile su emme değerleri azalmaktadır. %5 katkı kullanımı ile toplam su emme 3 kat azalmıştır. 24 saatlik kılcal yolla su emme oranında ise yaklaşık 7 kat azalma görülmüştür. 1 saatlik kılcal su emme değerleri ise katkısız kontrol örneğine kıyasla %7.5-8 oranında azaltmıştır. Ancak LS katkısı kullanılan karışımlarda su emme özelliklerinde belirgin bir azalma söz konusu değildir. Şekil 2 ve 3'den hem kılcal hem de toplam su emme oranlarında WRC katkısının su geçirimsizliği sağlamada sadece modifiye lignosülfonat (LS) kökenli katkıya

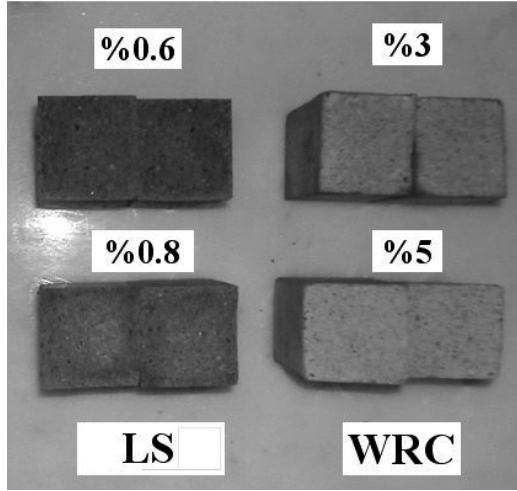
kıyasla çok daha etkili olduğu görülmektedir. WRC katkısının kullanım oranının artırılması ile etkinliğinin nasıl arttığı görsel olarak Şekil 6'da verilen fotoğrafta görülmektedir. 35 gün suda bekletildikten sonra, sudan çıkan prizmatik örnekler eğilme deneyi düzeneği ile ortadan ikiye bölünmüştür. Kırıldıktan hemen sonraki yüzey görünümleri incelendiğinde, %5 WRC katkısı kullanımı ile suda bekleyen örneğin bünyesine su penetrasyonunun çok düşük oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Şekil 7'de verilen fotoğrafta ise LS katkılı örneklerle WRC katkılı örneklerin kırık yüzey görüntüleri karşılaştırılmıştır. Aradaki fark görsel olarak da ortaya konulmuştur.



Şekil 5. WRC katkısının klor iyonu penetrasyon derinliğine etkisi



Şekil 6. Sudan çıkan WRC katkılı prizmatik örneklerin ortadan ikiye bölündükten sonraki yüzey görünümleri



Şekil 7. Sudan çıkarılan WRC ve LS katkıli prizmatik örneklerin ortadan ikiye bölündükten sonraki yüzey görüntüleri

Şekil 5'de WRC katkıli çimento harcı örneklerinin 35 gün %5'lik NaCl çözeltisinde bekletildikten sonra ortadan ikiye bölünüp yüzeye gümüş nitrat püskürtülmüş ve renk farkı oluşmuş alanları görülmektedir. Klor iyonlarının işlediği bölge WRC katkısı kullanımı ile azalmaktadır. Elde edilen sonuçlar su emme özellikleri ile paralellik göstermektedir.

Hem su emme hem de klor iyonu penetrasyonu ölçümleri, WRC katkısındaki organik yağ asidi esterinin, beton bünyesinde oluşan boşlukların çeperlerinde hidrofobik bir tabaka oluşturduğunu göstermektedir. Böylece su ve taşıdığı diğer zararlı maddeler beton bünyesindeki bağlantılı boşluklar arasında rahat hareket edememektedir.

WRC katkısının kullanım oranının artması çimento harcı örneklerinin eğilme dayanımlarında önemli bir değişiklik yaratmazken, örneklerin basınç dayanımları %3 ve %5 kullanımda yaklaşık %15-20 oranlarında azalmaktadır (Şekil 4). Basınç dayanımındaki bu azalmanın iki nedeni olduğu düşünülmektedir. İlk nedenin WRC katkısının hava sürükleyici etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu etki bir sonraki bölümde sunulacak olan hava içeriği ölçümleri ile ispatlanmıştır. İkinci neden ise su iticiliği nedeniyle hidrasyon için gerekli ilave kür suyunu bünyesine alamaması ve sadece bünyesel su ile kür olması olarak sıralanabilir.

Hem su emme özellikleri hem de dayanım gelişimi dikkate alındığında çalışmanın ikinci aşamasında LS katkısının kullanılmamasına karar verilmiştir. Çimento harcının kılcal su emme özelliklerini olumlu etkileyen WRC katkısı



kullanılarak beton karışımları hazırlanıp basınçlı su geçirimsizlik ve dayanım özellikleri incelenmiştir:

### Beton karışımları deney programı ve sonuçlar

%0, %3 ve %5 WRC katkılı beton karışımları üretilmesi amacıyla Tablo 5'de verilen karışım oranları kullanılmıştır. Ayrıca taze beton karışımlarının çökme değerleri ve hava içerikleri de ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir. Her karışımdan üçer adet 15 cm ayrıtlı küp örnek ve üçer adet 20 cm çaplı ve 12 cm yükseklikli silindir örnekler hazırlanmıştır. Küp formundaki örnekler 2 tabaka ve her tabakada 25'er şiş darbesi ile, silindir formundaki örnekler ise 2 tabaka ve her tabakada 31'er şiş darbesi ile sıkıştırılmıştır. Bu örnekler sırasıyla 28 günlük iken basınç dayanımı ve 60 günlük iken su geçirimsizlik deneylerinde kullanılmıştır.

Hazırlanan beton örnekler üzerinde 60 günlük iken basınçlı su geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır [6]. Şekil 8'de görülen aynı anda üç örneğin test edilebildiği ölçüm düzeneği kullanılmıştır. 60 gün suda kür edilen örnek kurutulup deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Örnekler silindir formulu 20 cm çap 12 cm yükseklikte olup, her bir örnek üst yüzeyinden 10 cm çaplı bir alan su basıncına maruz kalacak şekilde ve deney örneklerinin üst ve alt yüzeylerinde su geçecek kısımlar dışında tamamen parafinle yalıtılarak cihaza yerleştirilmiştir. Kapak vidaları üniform olarak iyice sıkılarak, kapakla deney numunesi arasında sızdırmazlık sağlanmıştır. Sonra, kompresör çalıştırılarak 1 atmosfer basıncındaki su örneklerine uygulanmıştır. Kompresör basıncı sabit tutma amacıyla gerektiğinde otomatik olarak çalışmaktadır.

Tablo 5. WRC katkılı betonların karışım oranları ve taze beton özellikleri

Karışım bileşenleri (kg/m <sup>3</sup> )	WRC katkısı oranı		
	%0	%3	%5
Çimento	300	300	300
Su	200	195	190
Kum	892	892	892
5-15 iri agrega	469	469	469
15-25 iri agrega	467	467	467
WRC katkısı	0	9	15

Çökme (cm)	15	17	17
Hava içeriği (%)	1.1	2.8	4.5



Şekil 8. Permeabilite katsayısı ölçüm düzeneği

Deney başlangıcından itibaren zamana bağlı olarak beton bünyesine basınçla penetre olan su miktarları belirlenmiştir. Bu amaçla aygıtın bölmelendirilmiş camlı kısmındaki su azalması belirli zamanlarda okunarak kaydedilmektedir. Bu ölçümler grafik hale getirilip zamana bağlı akışın kararlı hale gelmesi beklenmiştir. Ancak akış sözü edilen su basıncı altında kararlı hale gelip beton bünyesinden geçerek alt tabana ulaşamamıştır. Sadece betona deney süresince penetre olan su miktarı ölçülebilmştir.

Katkısız ve katkılı betonların 1 atmosfer basınç altında 3 gün sürede bünyelerine penetre olan su miktarları ve 28 günlük basınç dayanımları Tablo 6'da sıralanmıştır. Tablo 6'dan görüleceği üzere WRC katkısının %3 oranında kullanımı ile basınçlı suyun penetrasyonuna karşı yaklaşık 3 kat, %5 oranında kullanımı ile yaklaşık 10 kat dirençli beton üretimi mümkün olmaktadır. Ancak, beton geçirimsizliğini olumlu yönde etkileyen WRC katkısı basınç dayanımını bir miktar azaltmıştır. Yaklaşık olarak %18'lik bir basınç dayanımı kaybı söz konusudur.

Tablo 6. WRC katkısının beton bünyesine basınçlı yolla penetre olan su hacmine ve basınç dayanımına etkisi

WRC katkısı kullanım oranı	Beton bünyesine 3 günde penetre olan 1 atmosfer basınçlı su hacmi (cm <sup>3</sup> )	Basınç dayanımı (MPa)
%0	185	24
%3	60	21.5
%5	20	19.6

## SONUÇ

Modifiye lignosülfonat ve organik yağ asidi esteri karışımından oluşan WRC katkısının kullanımı ile çimento harcının kılcal ve toplam su emme direncinin önemli oranda arttığı, çimento harcına klor iyonu penetrasyonunun azaldığı belirlenmiştir. WRC katkısı betonda %5 oranında kullanılması halinde de basınçlı yolla su geçirimsizliğini önemli ölçüde azaltmıştır. Organik yağ asidi esteri beton bünyesinde oluşan boşlukların çeperlerinde hidrofobik bir tabaka oluşturmakta ve suyun iç kısımlara ilerlemesini engellemektedir. Öte yandan WRC katkısının çimento harcında kullanımı eğilme dayanımını önemli derecede etkilemezken, basınç dayanımını bir miktar azaltmıştır. WRC katkısının beton üretiminde %3 ve %5 oranlarında kullanılması halinde de çimento harcından elde edilen sonuçlara paralel şekilde basınç dayanımının yaklaşık %10-20 oranında azaldığı belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar deneysel çalışmalarda kullanılan katkıların teminindeki desteklerinden dolayı KONSAN Bilgi ve Teknoloji Üretimi A.Ş.'ye; çimento harcı ve beton deneylerinin gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı İnş.Yük.Müh. Ayşegül Akgül ve İnş. Müh. Berna Kızıllığın'a teşekkürlerini sunar.

## KAYNAKLAR

1. Erdoğan, T.Y., Admixtures For Concrete, Middle East Technical Univesity Press, Ankara, Turkey, 1997, 188 p.
2. ASTM Standards, Standard test method for normal consistency of hydraulic-cement (ASTM C187), Annual Book of ASTM Standards, 2002, 2 p.
3. ASTM Standards, Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars (ASTM C348), Annual Book of ASTM Standards, 2002, 6 p.
4. ASTM Standards, Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars - Using portions of prisms broken in flexure (ASTM C349), Annual Book of ASTM Standards, 2002, 4 p.
5. Otsuki N, Nagataki S, Nakashita K. Evaluation of AgNO<sub>3</sub> solution spray method for measurement of chloride penetration into hardened cementitious matrix materials. Constr Build Mater 1993;7(4): 195–201.
6. Türk Standartları, Betonda geçirimsizlik katsayısı tayin metodu (TS 3455), Türk Standartları Enstitüsü, 1981, 7 sayfa.