


## Farklı bağlayıcılarla üretilmiş betonların geçirimsizlik karakteristiklerinin değişik test yöntemleri ile incelenmesi

### Investigation of permeability characteristics of concretes with different cementitious materials by various test methods

Hüseyin YİĞİTER<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.  
yigiter.huseyin@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 17.01.2022  
Kabul Tarihi/Accepted: 14.02.2022

Düzeltilme Tarihi/Revision: 08.02.2022

doi: 10.5505/pajes.2022.20050  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Beton veya betonarme yapıların zararlı kimyasal etkiler altında dayanıklılığı çok büyük oranda beton malzemesinin geçirimsizliğine bağlıdır. Diğer yandan betonun geçirimsizliğinin değerlendirilmesinde kullanılacak birçok deneysel yöntem mevcuttur. Sunulan çalışma kapsamında farklı çimento türleri ile üretilmiş ve ayrıca üretiminde mineral katkı olarak uçucu kül kullanılmış betonların farklı deney yöntemleri ile ölçülmüş geçirimsizlik sonuçları incelenmiştir. Katkılı çimentolar ile üretilmiş betonlar ve üretiminde çimento ile birlikte uçucu kül kullanılmış betonlar geçirimsizlik açısından oldukça iyi performans göstermiştir. Deneysel çalışma sonuçları, klor geçirimsizlik, rezistivite, su emme ve basınçlı su işleme derinliği ölçümlerinin, aynı dayanım seviyesindeki betonların geçirimsizlik farklılıklarını ortaya koymak için kullanılabileceğini, hava geçirimsizlik ve ultrases hızı deneylerinin, aynı dayanım seviyesindeki betonların geçirimsizlik farklılıklarını ortaya koymak için yetersiz kaldığını göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hava geçirimsizliği, Su geçirimsizliği, Klor geçirimsizliği, Rezistivite, Çimento tipi, Uçucu kül.

#### Abstract

The durability of concrete or reinforced concrete structures subjected to aggressive environment depends mainly on the permeability of concrete. On the other hand there are various experimental methods that can be used to evaluate the permeability of concrete. Within the scope of the presented study, the permeability results of concretes produced with different cement types and also using fly ash as mineral additive, measured by different test methods, were investigated. Concrete composites with blended cements or fly ash concrete composites showed better permeability performance. Test results showed that chloride permeability, resistivity, water absorption and water penetration measurements can be used to reveal the permeability differences of the concretes at the same strength level. On the other hand air permeability and ultrasonic velocity tests were found to be insufficient to reveal the permeability differences of the concretes at the same strength level.

**Keywords:** Air permeability, Water permeability, Chloride ion permeability, Resistivity, Cement type, Fly ash.

## 1 Giriş

Agresif kimyasallar içeren çevre şartları altında beton ve betonarme yapıların kalıcılığını belirleyen parametrelerden en önemlisi betonun geçirimsizliğidir. Betonun boşluk yapısı, daha detaylı olarak boşlukların miktarı boyutları ve dağılımı, gözeneklerde taşınma mekanizmasını değiştirerek beton fazları ile agresif çevre koşullarının etkileşime girmesinde önemli rol oynamaktadır [1]. Taşınma mekanizmaları geçirimsizlik, difüzyon, göç ve temas olmak üzere dört farklı türde ifade edilmektedir [2]. Zararlı kimyasalların beton içinde girişi bu mekanizmalardan iki veya daha fazlasının birlikte meydana gelmesi ile de gerçekleşebilir [3].

Betonun boşluk yapısını ve geçirimsizliğini karakterize etmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Geçirimsizlik özelliğinin ölçülebilmesi için tahribatlı ve tahribatsız yöntemler geliştirilmiş, bu yöntemlerin çoğu literatürde ve standartlarda yerini almıştır [4]-[13]. Diğer taraftan beton parametrelerinin betonun geçirimsizliği üzerine etkileri de araştırılmaya devam etmektedir [14]-[19]. Özellikle durabilite bazlı performans değerlendirmelerinde, farklı geçirimsizlik test yöntemlerinin sonuçları ve bu sonuçlar arasındaki ilişkiler doğru beton tasarımı ve test yöntemlerinin kullanım kolaylığı açısından yarar sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında farklı çimento türleri ile üretilmiş ve ayrıca üretiminde mineral katkı olarak uçucu kül kullanılmış betonların farklı deney yöntemleri ile ölçülmüş geçirimsizlik sonuçları incelenmiştir. Çimento olarak Portland çimentosu, katkılı çimento ve sülfata dayanıklı çimento seçilmiştir. Ayrıca bu betonların yanında, çimento yerine kütütlece %20 oranında uçucu kül içeren betonlar da hazırlanmıştır. Deneysel çalışma kapsamında üretilen betonların standart kür sürecinden sonra basınç dayanımı, klor geçirimsizliği, hava geçirimsizliği, basınçlı su geçirimsizliği, elektriksel direnci, toplam su emme miktarı ve ultrases geçiş hızı değerleri ölçülmüş, sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

## 2 Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışma kapsamında üç farklı çimento türü ve uçucu kül kullanılarak toplam altı adet farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Karışımların mekanik basınç dayanımlarının yanı sıra altı farklı yöntem ile geçirimsizlik değerleri karakterize edilmeye çalışılmıştır.

### 2.1 Malzemeler

Çimento tipinin betonun geçirimsizlik ölçümlerine etkisinin incelenmesi amacıyla üç farklı çimento seçilmiştir. Çalışmada geleneksel Portland çimentosunun yanında %18.07 oranında katkı içeren katkılı çimento ve C3A oranı %5'ten

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

küçük olan sülfata dayanıklı çimento kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Portland çimentosunun (CEM I 42.5 R), katkı çimentonun (CEM II/A-M (P-L) 42.5 R) ve sülfata dayanıklı çimentonun (CEM I 42.5 R-SR 5) özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca aynı tabloda deneysel çalışmalarda kullanılan uçucu külün özellikleri de sunulmuştur. Beton karışımlarında üç farklı tane büyüklüğüne sahip (0-5 mm kum, 5.6-11.2 mm iri agrega ve 11.2-22.4 mm iri agrega) kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır.

Beton karışımları aynı dozaj ve aynı su/bağlayıcı madde oranlarına sahip olması nedeni ile tüm betonların benzer işlenebilirlik değerlerine sahip olması için farklı oranlarda süperakışkanlaştırıcı katkı (SA) kullanılması gerekmiştir. Deneysel olarak kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkı modifiye polikarboksilat esaslı, katı madde oranı %25.66 olan bir süperakışkanlaştırıcı olup yoğunluk değeri 1.090, pH değeri 5.90’dır.

Hazırlanan betonlarda çimento dozajı 350 kg/m<sup>3</sup> olup su/bağlayıcı madde oranı (s/b) 0.56 olarak seçilmiştir. Ayrıca, üretilen beton karışımlarına %20 oranında çimento yerine uçucu kül ikamesi ile beton karışımları tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan betonlara ait karışım oranları Tablo 2’de verilmiştir.

## 2.2 Deney yöntemleri

Karışımlardan alınan 15 cm ayrıtlı beton küp numuneler deney yaşına kadar standart su kürüne tabi tutulmuştur. Beton

numunelere değişik yaşlarda basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyleri TS EN 12390-3 [20] standardına göre yapılmıştır. Özellikle mineral katkı (uçucu külü) betonların dayanım gelişiminin nispeten yavaş olması nedeni ile örnekler benzer dayanımlara gelinceye kadar dayanım gelişimi takip edilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında yapılan geçirimsizlik deneyleri, numuneler benzer dayanımlara ulaştıktan sonra gerçekleştirilmiştir.

Beton karışımlarının hava geçirimsizliği Torrent [7] Permeabilite Ölçer ile 15x15x7.5 cm boyutlu kare prizma örnekler üzerinde numuneler kür sürecini tamamladıktan sonra belirlenmiştir (Şekil 1). Ayrıca aynı numuneler üzerinde rezistivite (elektriksel direnç) ölçümleri Wenner probe kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Yine bu numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3).

İncelenen beton karışımları üzerinde ASTM C 1202 [5] standardına göre 100 mm çapında, 50 mm kalınlığında silindirik numunelerin 6 saatlik hızlı klor geçirimsizliği deneyi yapılmıştır (Şekil 4).

İncelenen beton karışımlarının toplam su emme değerleri 7.5x7.5x30 cm boyutlu prizmatik numuneler kullanılarak belirlenmiştir. Beton karışımlarının basınçlı su geçirimsizliği değerleri TS EN 12390-8’e [4] göre, 20 cm çaplı ve 12 cm yükseklikli silindir örnekler üzerinde belirlenmiş olup sonuç değerler su işleme derinliği olarak ifade edilmiştir (Şekil 5).

Tablo 1. Bağlayıcı malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri.

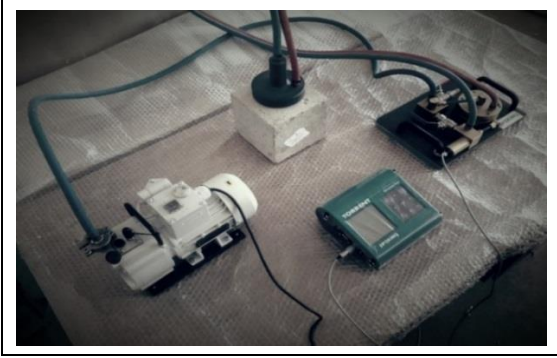
Table 1. Chemical and physical properties of cementitious materials.

Bileşen-Özellik	CEM I 42,5 R	CEM II A-M (P-L) 42,5 R	CEM I 42.5 R-SR 5	UÇUCU KÜL
SiO <sub>2</sub> , %	19.07	23.17	19.66	51.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	5.61	6.16	3.98	25.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	2.91	2.82	4.15	10.89
CaO, %	62.28	56.57	64.82	4.38
MgO, %	0.87	0.84	0.99	-
SO <sub>3</sub> , %	2.75	3.08	2.45	0.88
Na <sub>2</sub> O, %	0.61	0.74	0.09	-
K <sub>2</sub> O, %	0.67	0.86	0.61	-
Serbest CaO, %	-	-	-	0,10
K. Kaybı, %	4.82	4.90	2.76	0.73
Katki, %	-	18.07	-	-
Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	3.10	3.02	3.15	2,21
Blaine, cm <sup>2</sup> /g	4780	5070	3790	3675
C <sub>3</sub> A, Bogue %	9.95	-	3.53	-

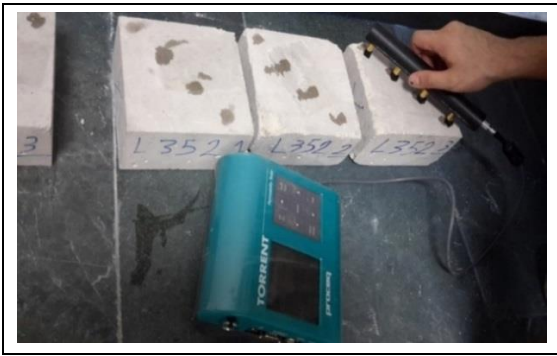
Tablo 2. İncelenen betonların karışım oranları ve taze hal özellikleri.

Table 2. Proportions and fresh state properties of investigated concrete mixtures.

Bileşenler	KARIŞIMLAR					
	CEMI	CEMII	SRC	CEMI-UK	CEMII-UK	SRC-UK
Çimento, kg/m <sup>3</sup>	350	350	350	280	280	280
Uçucu kül, kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	70	70	70
Su, kg/m <sup>3</sup>	196	196	196	196	196	196
SA, kg/m <sup>3</sup>	0.35	1.40	0.00	0.5	1.40	0.35
Kum, kg/m <sup>3</sup>	906	906	906	889	889	889
5/12, kg/m <sup>3</sup>	398	398	398	391	391	391
12/22, kg/m <sup>3</sup>	491	491	491	481	481	481
Toplam, kg/m <sup>3</sup>	2341	2342	2341	2307	2308	2307
s/ç oranı	0.56	0.56	0.56	0.70	0.70	0.70
s/b oranı	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Hava, %	2.0	2.1	1.4	1.8	1.5	2.1
Çökme, cm	20	20	20	21	20	21



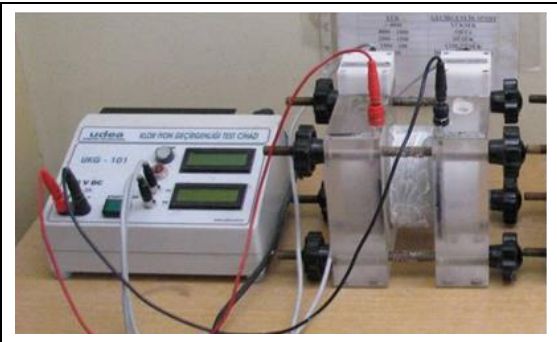
Şekil 1. Hava geçirimsizliği ölçümleri.  
Figure 1. Air permeability test setup.



Şekil 2. Rezistivite ölçümleri.  
Figure 2. Resistivity test setup.



Şekil 3. Ultrases geçiş hızı ölçümleri.  
Figure 3. Ultrasonic pulse velocity test setup.



Şekil 4. Klor geçirimsizlik ölçümleri.  
Figure 4. Chloride permeability test setup.



Şekil 5. Basıncılı su işleme derinliği ölçümleri.  
Figure 5. Water penetration under pressure test setup.

### 3 Bulgular ve tartışma

Hazırlanan betonların değişik yaşlarda belirlenen basınç dayanımı değerleri Tablo 3'te verilmiştir

CEM I çimento tipi ile üretilmiş betonların 7 günlük dayanımları 34.7 MPa, 28 günlük dayanımları ise 41.6 MPa olarak tespit edilmiştir. Katkılı CEM II çimento ile üretilmiş betonlarda dayanımlar benzer mertebede olup 7 günde 0.1 MPa 28 günde 0.7 MPa düşük olarak belirlenmiştir. CEM II çimento türünde %18 oranında katkı bulunmakla birlikte incelik değerinin CEM I çimento türüne göre daha yüksek olması benzer dayanımlara ulaşmasının sebebi olarak söylenebilir. Diğer yandan SRC çimento türü ile üretilmiş betonların 7 günlük dayanımları 29.2 MPa, 28 günlük dayanımları 37.6 MPa olarak ölçülmüştür. İncelik değeri daha düşük olan bu çimento türünün yaklaşık 40 MPa basınç dayanımına ulaşma süresi 7 hafta olarak belirlenmiştir.

Beton karışımlarına çimento yerine %20 oranında uçucu kül ikame edilmesi beklendiği gibi erken dayanımları düşürmüştür ve dayanım gelişimini yavaşlatmıştır. Basınç dayanımlarının yaklaşık 40 MPa olabilmesi için gerekli kür süreleri CEM I UK için 6 hafta, CEM II UK için 7 hafta ve SRC UK için 8 hafta olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında hazırlanan beton numunelerden elde edilen klor geçirimsizlik, hava geçirimsizlik, rezistivite, su emme, su işleme derinliği, ultrases hızı ölçüm sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur.

ASTM 1202'ye göre 6 saatlik klor geçirimsizliği değerleri 0-100 coulomb arasında ise ihmal edilebilir, 100-1000 coulomb arasında ise çok düşük, 1000-2000 coulomb arasında ise düşük, 2000-4000 coulomb arasında ise orta, 4000 coulomb değerinden büyük ise yüksek klor geçirimsizliği olarak sınıflandırılmaktadır [5]. CEM I çimento türü ile hazırlanan betonların 5147 coulomb elektrik yükü geçirdiği görülmektedir. Bu değer sınıflandırmaya göre yüksek klor geçirimsizliği sınıfındadır. CEM II çimento türü ile hazırlanan betonların klor geçirimsizlik değerleri %52 azalma ile 2459 coulomb değerine ve orta sınıf kategorisine düşmüştür. Bu iyileşmenin çimento üretiminde kullanılan mineral katkıların betonun elektriksel direncini artırması ve boşluk yapısını değiştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. SRC çimento türü ile hazırlanan betonların klor geçirimsizlik değerleri %18 azalma ile 4211 coulomb değerine düşmüş olup yine yüksek klor geçirimsizliği sınıfındadır.

Tablo 3. Hazırlanan betonlara ait değişik yaşlardaki basınç dayanımı değerleri.

Table 3. Compressive strength values of concretes at different test ages.

Beton Yaşı	Basınç Dayanımı (MPa)					
	CEMI	CEMII	SRC	CEMI-UK	CEMII-UK	SRC-UK
2 gün	20.1	17.2	14.9	13.4	12.3	11.8
7 gün	34.7	34.6	29.2	27.9	24.7	24.6
14 gün	38.2	38.3	33.1	33.6	28.6	29.6
21 gün	39.4	38.4	34.0	33.9	31.9	33.1
28 gün	41.6	40.9	37.6	35.8	33.2	32.8
35 gün	41.3	43.9	38.4	38.8	37.3	34.2
42 gün	43.7	46.3	39.4	40.2	36.3	35.5
49 gün	-	46.2	40.7	40.9	40.2	38.7
56 gün	-	-	-	-	40.4	39.5

Tablo 4. Betonların farklı deney yöntemleri ile ölçülen geçirimsizlik değerleri.

Table 4. Permeability values of concretes obtained with different test methods.

Karışım Türü	Klor Geçirimsizlik	Hava Geçirimsizlik	Rezistivite	Su Emme	Su İşleme Derinliği	Ultras Hızı
	(Coulomb)	(kT, $10^{-16} \text{ m}^2$ )	(k $\Omega$ .cm)	(%)	(cm)	(km/h)
CEMI	5147	0.174	8.03	3.26	2.95	4.78
CEMII	2459	0.214	11.00	2.53	2.00	4.84
SRC	4211	0.141	9.80	2.75	2.25	4.79
CEMI-UK	612	0.184	29.67	1.66	1.13	4.79
CEMII-UK	1024	0.165	33.00	1.48	0.91	4.71
SRC-UK	1434	0.181	27.33	1.52	1.08	4.80

Beton üretiminde çimento yerine mineral katkı olarak %20 oranında uçucu kül kullanılması CEM I çimento türü için %82 oranında elektriksel yükü azaltmıştır. Bu azalma oranları CEM II çimento türü için %58, SRC çimento türü için %66 oranında gerçekleşmiştir. Mineral katkı olarak uçucu külün, puzolanik reaksiyonu, boşluk yapısı değiştirmesi ve kompozitin elektriksel direncini artırması bu iyileşmenin sebebi olarak açıklanabilir.

Torrent hava geçirimsizlik deney sonuçlarına göre kT ( $10^{-16} \text{ m}^2$ ) indeks değeri 10'dan büyük ise beton kalitesinin çok kötü olduğu, 1-10 arasındaki indeks değerlerinin kötü, 0.1-1 arasındaki indeks değerlerinin orta, 0.01-0.1 arasındaki indeks değerlerinin iyi, 0.01 değerinden daha düşük indeks değerlerinin ise çok iyi olduğu belirtilmektedir [7]. Üretilen betonların hava geçirimsizlik indeks değerleri 0.141 ile 0.214 arasında değişmekte olup tamamı orta beton kalitesini göstermektedir. Değişimler düşük mertebede kaldığından bu deney yönteminin çalışma kapsamında hazırlanan benzer dayanımlara sahip betonların geçirimsizlik değerlerini kıyaslamada yetersiz kaldığı düşünülmektedir.

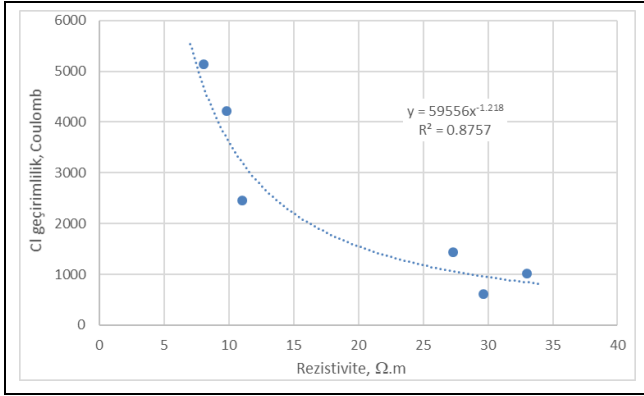
Benzer bir değerlendirmeyi ultrases geçiş hızı ölçümleri için yapmak mümkündür. Test edilen betonların ultrases geçiş hızı değerleri 4.71-4.84 km/h arasındadır. Basınç dayanımı ve elastisite modülü tahminleri için yaygın olarak kullanılan bu yöntemin benzer basınç dayanımına sahip betonların geçirimsizlik karşılaştırmaları için uygun olmayacağı görüşüne ulaşılmıştır.

Wenner probe kullanılarak ölçülen rezistivite değerleri CEM I için 8.03 k $\Omega$ .cm, CEM II için 11.0 k $\Omega$ .cm ve SRC için 9.80 k $\Omega$ .cm olarak belirlenmiştir. Referans betonu olan CEM I'e göre CEM II

kullanımı rezistiviteyi %37, SRC kullanımı ise %22 oranında arttırmıştır. Beton karışımlarında çimentonun %20 oranında uçucu kül ile ikamesi rezistivite sonuçlarında, uçucu kül içermeyen karışımlara kıyasla CEM I UK için %269, CEM II UK için %200 ve SRC UK için %179 oranında artış ile sonuçlanmıştır. Uçucu külün betonların elektriksel direncini artırması çarpıcı bir şekilde ortaya çıkmıştır.

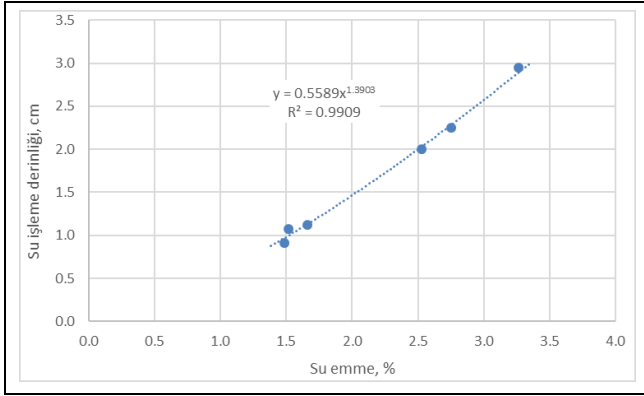
Test edilen betonların su emme değerlerine bakıldığında çimento tipinin ve uçucu kül kullanımının etkisi görülmektedir. Referans CEM I için %3.26 olan su emme değeri, katkılı CEM II çimentosu için %2.53'e düşmüştür. SRC karışımlarında su emme değeri %2.75 olarak ölçülmüştür. Diğer yandan uçucu kül içeren betonlarda su emme değerleri sırasıyla %1.66, %1.48 ve %1.52 olarak ölçülmüştür. Bu davranışa benzer bir eğilim basınçlı su işleme derinliği ölçümleri için de geçerlidir. CEM I, CEM II ve SRC çimento türleri için su işleme derinliği 2.95, 2.00 ve 2.25 cm olarak ölçülmüştür. Bu değerler uçucu kül içeren betonlarda sırasıyla 1.13, 0.91 ve 1.08 cm olarak kaydedilmiştir. Mineral katkıların gerek çimento üretiminde gerekse doğrudan beton üretiminde kullanımı, puzolanik aktivite ve boşluk yapısı değişimi ile betonların su geçirimsizlik değerlerini azaltmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan ve benzer dayanımda olan betonların geçirimsizlik sonuçlarının tümünün birlikte değerlendirilebilmesi amacıyla, farklı test yöntemleri arasında benzer fiziksel büyüklüklerin ölçüldüğü test sonuçlarının arasında korelasyon çalışması yapılmıştır. Klor geçirimsizlik ve rezistivite deneylerinde elektriksel büyüklükler, su emme ve basınçlı su işleme derinliği ölçümlerinde ise su geçirimsizliği değerleri ölçüldüğünden bu deney sonuçları sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmuştur.





Şekil 6. Rezistivite ve klor geçirirlik değerleri arasındaki ilişki.

Figure 6. Correlation between resistivity and chloride permeability values.



Şekil 7. Su emme ve basınçlı su işleme derinliği değerleri arasındaki ilişki.

Figure 7. Correlation between water absorption and water penetration under pressure values.

Şekilde 6'da sunulan grafik incelendiğinde rezistivite değerleri arttıkça klor geçirirlik değerlerinin üstel bir şekilde azaldığı görülmektedir. Her iki test yönteminin sonuç değerleri arasında iyi bir korelasyon olduğu söylenebilir.

Şekil 7'de su geçirirliliği ile ilgili olarak su emme değerleri ve basınçlı su işleme derinliği değerleri arasındaki ilişki görülmektedir. Betonlarda su emme değerlerindeki artış, basınçlı su işleme derinliği değerlerini de üstel olarak arttırmaktadır.

#### 4 Sonuçlar

Deneysel çalışma kapsamında, bağlayıcı miktarı ve su/bağlayıcı madde oranı sabit ancak farklı çimento türleri ve uçucu kül kullanımı ile eşit dayanım seviyesinde betonlar üretilmiştir. Çimento türü ve uçucu kül kullanımına göre betonların eşit dayanım seviyesine gelmeleri için gerekli standart kür süresi farklılık göstermektedir.

Aynı basınç dayanımı seviyesine sahip betonların çimento türü ve uçucu kül kullanımına göre geçirirlik değerleri oldukça değişmektedir.

Katkılı çimentolar ile üretilmiş betonlar ve üretiminde çimento ile birlikte uçucu kül kullanılmış betonlar geçirirlik açısından oldukça iyi performans göstermiştir.

Klor geçirirlik, rezistivite, su emme ve basınçlı su işleme derinliği ölçümleri, aynı dayanım seviyesindeki betonların geçirirlik farklılıklarını ortaya koymak için kullanılabilir. Diğer yandan hava geçirirlik ve ultrases hızı deneylerinin, aynı dayanım seviyesindeki betonların geçirirlik farklılıklarını ortaya koymak için yetersiz kaldığı görülmüştür.

Tüm betonlar birlikte değerlendirildiğinde klor geçirirlik değerleri ile rezistivite değerleri arasında ve ayrıca su emme değerleri ile basınçlı su işleme derinliği değerleri arasında oldukça iyi korelasyonların kurulabileceği görülmüştür.

#### 5 Conclusions

Within the scope of the experimental study concrete mixes, at equal strength level with the use of different cement types and fly ash, were produced with a fixed amount of binder and water/binder ratio. The standard curing time, to achieve equal strength level, differs according to the type of cement and the use of fly ash.

According to the type of cement and the use of fly ash, quite different permeability test results can be obtained with same compressive strength level.

Concrete composites with blended cements or fly ash concrete composites showed better permeability performance.

Chloride permeability, resistivity, water absorption and water penetration measurements can be used to reveal the permeability differences of the concretes at the same strength level. On the other hand air permeability and ultrasonic velocity tests were found to be insufficient to reveal the permeability differences of the concretes at the same strength level.

Considering all mixtures tested, it can be said that, good correlation can be set between resistivity and chloride permeability values and also between water absorption and water penetration under pressure values.

#### 6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Hüseyin YİĞİTER fikrin oluşması, literatür taraması, kullanılan malzemelerin temin edilmesi, tasarımın yapılması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuştur.

#### 7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### 8 Kaynaklar

- [1] Baradan B, Yazıcı H, Ün H. *Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*. 1. baskı. İstanbul, Türkiye, Türkiye Hazır Beton Birliği, 2010.
- [2] Poulsen E, Mejlbro L. *Diffusion of chloride in concrete: theory and application*, 1<sup>st</sup> ed. London, UK, CRC Press, 2014.
- [3] Mehta PK. *Concrete in Marine Environment*. 1<sup>st</sup> ed., London, UK, Routledge Publication, 1991.
- [4] Türk Standartları Enstitüsü. "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini". Ankara, Türkiye, 12390-8, 2019.

- [5] ASTM International. "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration". West Conshohocken, PA, USA, ASTM C1202-2012.
- [6] American Association of State Highway and Transportation Officials. "Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration". Washington DC, USA, AASHTO T 358, 2015.
- [7] Torrent R]. "A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site". *Materials and Structures*, 25, 358-365, 1992.
- [8] Khalaf FM, Wilson JG. "Electrical properties of freshly mixed concrete". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11, 242-248, 1999.
- [9] Polder RB, Peelen WHA. "Characterization of chloride transport and reinforcement corrosion in concrete under cyclic wetting and drying by electrical resistivity". *Cement and Concrete Composites*, 24, 427-435, 2002.
- [10] Rupnow T, Icenogle P. "Evaluation of surface resistivity measurements as an alternative to the rapid chloride permeability test for quality assurance and acceptance". *Journal of the Transportation Research Board*, 2290, 30-37, 2012.
- [11] Otsuki N, Nagataki S, Nakashita K. "Evaluation of the AgNO<sub>3</sub> solution spray method for measurement of chloride penetration into hardened cementitious matrix materials". *Construction and Building Materials*, 7, 195-201, 1993.
- [12] Meck E, Sirivivatnanon V. "Field indicator of chloride penetration depth". *Cement and Concrete Research*, 33, 1113-1117, 2003.
- [13] Liu Y, Soares A, Presuel-Moreno F. "Characterization of New and Old Concrete Structures Using Surface Resistivity Measurements". Florida Department of Transportation Research Center Final Report, Tallahassee, USA, FAU-OE-CMM-08-3, 2010.
- [14] Hoseini M, Bindiganavile V, Banthia N. "The effect of mechanical stress on permeability of concrete: A review". *Cement & Concrete Composites*, 31, 213-220, 2009.
- [15] Beglarigale A, Ghajeri F, Yiğiter H, Yazıcı H. "Permeability Characterization of Concrete Incorporating Fly Ash". *11<sup>th</sup> International Congress on Advances in Civil Engineering- ACE 2014*, İstanbul, Turkey, 21-25 October 2014.
- [16] John DG, Coote AT, Treadaway KWJ, Dawson JL. *Repair of concrete-A laboratory and Exposure Site Investigation*. Editors: Crane AP. Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, 263-286, London, UK, Halsted Press, 1983.
- [17] Shi CJ, Hu X, Wang XG, Wu ZM, De Schutter G. "Effects of Chloride Ion Binding on Microstructure of Cement Pastes". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001707](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001707)
- [18] Simcic T, Pejovnik S, De Schutter G, Bosiljkov VB. "Chloride ion penetration into fly ash modified concrete during wetting-drying cycles". *Construction and Building Materials*, 93, 1216-1223, 2015.
- [19] Shehata MH, Thomas MDA, Bleszynski RF. "The effects of fly ash composition on the chemistry of pore solution in hydrated cement pastes". *Cement and Concrete Research*, 29(12), 1915-1920, 1999.
- [20] Türk Standartları Enstitüsü. "Beton-Sertleşmiş Beton Deneylemi-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini". Ankara, Türkiye, 12390-3.