



Makale / Research Paper

Yüzeysel Su Yalıtımlı Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin Araştırılması

Tayfun UYGUNOĞLU^{1a}, İlker Bekir TOPÇU^{2b}, Emriye ÇINAR^{3c}, Özge ERYEŞİL^{1d}

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

³Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye
uygunoglu@aku.edu.tr

Received/Geliş: 26.05.2020

Accepted/Kabul: 06.07.2020

Öz: Betonarme yapılarda karşılaşılan durabilite sorunlarının en önemli sebeplerinden biri betonun suyla temas halinde olması ve bünyesine suyu geçirmesidir. Betonarme yapıların temellerinde yeraltı su seviyesi nedeniyle suyla temas eden kısımları betonun bünyesindeki gözenekler ve kapiler boşluklardan suyu geçirerek erozyona neden olmaktadır. Betonarme yapılardaki donatı korozyonu, donatıyı kesit kaybına uğramakta betonda çatlak ve kırıkların oluşmasına neden olmaktadır. Doğru hesaplanıp tasarlanan binalarda dahi donatıdaki kesit kaybindan dolayı taşıyıcılığında azalma meydana gelmektedir. Betonarme yapılara verilen bu zarardan dolayı yeraltı suyunun kontrol altına alınarak yapılarda su yalıtımı yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu çalışmada, farklı yüzeysel yalıtım malzemeleri kullanılarak aynı karışım dizaynında üretilen numunelere su yalıtımı yapılmış ve su emme, porozite, kapillarite, ultrases, korozyon ve asitte ağılık kaybı deneyleri uygulanarak inceleme ve karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel sonuçlarına göre su yalıtım malzemelerinin şahit betona kıyasla zamana bağlı olarak suya karşı yalıtım sağladığı belirlenmiştir ve en iyi malzeme bitüm esaslı sürme yalıtım malzemesi olarak gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzeysel yalıtım; korozyon; kapiler su emme.

Investigation of Some Durability Properties of Surface Water Proofed Concretes

Abstract: One of the most important causes of durability problems encountered in reinforced concrete structures is that the concrete is in contact with water and passes water to its porous structure. The parts of the reinforced concrete structures that contact the water due to the groundwater level cause erosion by passing the water through the pores and capillary spaces where the concrete is located. Reinforcement corrosion in reinforced concrete structures causes cracks and fractures in concrete. Even in buildings that are calculated and designed correctly, an evaluation occurs in the carrier region due to the crosssection loss in the reinforcement. Due to this damage to reinforced concrete structures, it becomes inevitable for waterproofing in buildings that are under the control of groundwater. In this study, absorption, porosity, capillarity, ultrasound, corrosion and acid loss tests were applied on the external waterproofed concrete samples. According to the results of the experiment, it has been determined that waterproofing materials provide insulation against water depending on the time compared to witness concrete and the best material has been observed as bitumen based sliding insulation material.

Keywords: Superficial insulation; corrosion; capillary water absorption.

1. Giriş

Betonarme yapılar için nem ve suyun varlığı önemli bir sorundur. Yapıların ömrünü kısaltacak ve hizmet kalitesini olumsuz yönde etkileyecektir [1]. Su sızıntısını azaltmak için yeraltı altyapısına bir

Bu makaleye atıf yapmak için

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Çınar, E., Eryeşil, Ö., "Yüzeysel Su Yalıtımlı Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin Araştırılması" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(3); 1245-1257.

How to cite this article

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Çınar, E., Eryeşil, Ö., "Investigation of Some Durability Properties of Surface Water Proofed Concretes" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(3); 1245-1257.

ORCID: ^a 0000-0003-4382-8257, ^b 0000-0002-2075-6361, ^c 0000-0002-9435-2935, ^d 0000-0003-4475-5264

drenaj sistemi uygulanırsa, çevredeki yeraltı suyu yönlendirilmesine sebep olabilir. Bu drenaj sistemleri, arazi çökmesi gibi jeoteknik sorunlara neden olan potansiyel bir tetikleyici konumunda olabilir [2-3]. Bu nedenle, yeraltı su koşullarının kontrol edilmesi ve güvenli su yalıtım sistemlerinin kurulması, özellikle metrolar, kanalizasyonlar, hizmet tünelleri ve bina bodrumları gibi karmaşık yeraltı suyu ortamlarının bulunduğu yapılar için gereklidir. Beton suyun ve suyla birlikte potansiyel bozucu etkiye sahip zararlı tuzların içeri girmesine izin veren gözenekler ve kapiler boşluklar oluşur. Böylece betonun geçirgenliği uzun vadeli performans dayanıklılığını belirleyecektir [4]. Özellikle su klorür iyonu, magnezyum iyonu veya sülfat iyonu içerdiğinde, bu iyonlar suyla betona girecek ve betonda erozyona neden olacaktır [5-6]. Çok sayıda çalışma, su penetrasyonunun betonun yetersiz dayanıklılığının ana nedeni olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, su geçirgenliğinin azaltılması, klorür iyonlarının, magnezyum iyonlarının veya sülfat iyonlarının betona girmesini etkili bir şekilde önleyebilir, böylece betonun dayanıklılığını geliştirebilir. Betona hidrofobik iyileştirme, betonun su geçirmezlik ve sızdırmazlık özelliklerini geliştirmek için yaygın bir yöntemdir ve son yıllarda araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiştir [7-8-9]. Beton gibi yapı malzemelerinde yeraltındaki veya dış yüzeyden yapı içerisine su girmesindeki başlıca etkenlerden birisi kapilerite ve kılcal boşluklardır. Su kapiler yollarla beton içerisinde yükselerek yapının üst katmanlarına doğru ilerleyerek buralarda hasarlara neden olabilmektedir (Şekil 1.a). Su girişinin kontrolüne yol açan su yalıtımı için bazı film formlu yüzey kaplamaları yeni veya eski beton için kullanılabilir [10]. Bazen yapıştırma olarak uygulanan su yalıtımı malzemeleri, işçilik hatalarından dolayı etkisiz hale gelebilmektedir (Şekil 1.b). Ayrıca, betonun suya dayanıklılık özelliğini geliştirmek için çimento yüzey işlemi için tamamlayıcı malzemelerde ilave edilebilir [11]. Bir su yalıtım sisteminin ana işlevi, korozyon, sızıntı ve diğer sorunlara neden olmak için su ve zararlı tuzların betona nüfuz etmesini engellemektir. Ek olarak, su yalıtım malzemeleri, nem ve oksijenin çelik yüzeye erişimini önleyerek korozyon hızını en aza indirmede çok etkili olabilir. Çeliğin korozyonu, inşaat mühendisliği yapılarında uzun süreli dayanıklılık sorunlarının en yaygın mekanizmalarından biridir [12]. Çelik çubuklar bozulmamış betona gömüldüğünde, yüzeylerinde demir oksit pasif bir film oluşur ve çelik çubukları korozyondan korur [13]. Bununla birlikte, klorür girişi pasif, koruyucu filme zarar vererek çelik çubukların korozyonunu hızlandırabilir [14-15]. Çelik çubuk korozyonu, sadece çubuğun azaltılmış kesiti sayesinde yük taşıma kapasitesini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda beton-çelik ara yüzünü bozar ve beton çatlamasına neden olur (Şekil 1.c). Güvenliği ve etkin varlık yönetimini sağlamak için betonarme çelik çubukların korozyon durumunu izlemek önemlidir.



Şekil 1. Su yalıtımı probleminden dolayı zarar gören yapının bölümleri (a: sıva kabarmaları; b: yapıştırma yalıtım levhasının yüzeyden ayrılması; c: betonarme demirinin korozyona uğraması)

Literatür çalışmalarına bakıldığında, su yalıtım kaplamalarının betonarmedeki çeliğin korozyon oranı üzerindeki etkisini belirlemek için beş yüzey kaplamasını test edilmiştir. Sonuçlar, beş kaplamadan dördünün dört aylık bir süre boyunca klorürün daha fazla nüfuz etmesini önlediğini

göstermiştir [16-17]. Dolayısıyla, özellikle betonarme yapılarda kalıcılığı sağlamak için su yalıtımı yapmak bir gereksinim gelmiştir. Zaten ülkemizde de "Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği" ne göre 1 Haziran 2018 itibarıyla su yalıtımı yapılması zorunlu hale getirilmiştir. Hizmet ortamı, beton türü, ekonomi ve uzun vadeli verimlilik, yalıtım malzemesi olarak kullanılacak uygun bir ürünün seçilmesinde göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörlerdir. Bunun yanı sıra, işçilik hatalarına en az olanak sağlayan, mümkünse özellikle düşey yüzeylerde ek yeri oluşturmayan ve yüzeye tam yapılıma sağlayan malzemelerin kullanılması su yalıtımı problemlerini en aza indirecektir.

Su yalıtımı malzemelerinin etkisi üzerine gerçekleştirilen bilimsel çalışmaların sayısının oldukça az olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, yüzeye sürme şeklinde uygulanan çimento esaslı, sıvı bitüm esaslı ve akrilik esaslı yalıtım malzemeleri kullanılarak yalıtım yapılan betonların fiziksel özellikleri ve korozyona karşı dayanıklılıkları deneysel olarak incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Çimento

Deneyde kullanılan çimento, Afyon Çimento Sanayi Fabrikasının üretimi olan standart CEM I 42,5 R Portland çimentosudur (TS EN 197-1, 2012) [18]. Kullanılan CEM I 42,5 R çimentolarına ait kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal analizi

Kimyasal Analiz	Analiz Sonuçları
SiO ₂	20,62
Al ₂ O ₃	5,65
Fe ₂ O ₃	4,05
CaO	62,08
MgO	2,55
SO ₃	2,57
Kızdırma Kaybı	1,55

Tablo 2. CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel özellikleri

Çimento Tipi	Yoğunluk (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /g)
CEM I 42,5 R	3,11	3054

2.1.2. Agregalar

Betonların üretiminde 0/6 mm ve 6/12 mm olmak üzere ince ve orta boyutta iki farklı agrega boyutu kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Agregaların fiziksel özellikleri.

Tane Boyutu (mm)	Nem oranı (%)	Su emme (%)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)
0 /6	1.72	1.564	2.630
6/12	0.56	0.563	2.694

2.1.3. Su

Beton karışımında Afyonkarahisar şebeke suyu kullanılmıştır.

2.1.4. Yalıtım Malzemeleri

Bu çalışma kapsamında üretilen betonlarda geçirimsiz özelliğini sağlamak üzere üç farklı yüzeysel yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Bilindiği gibi, bu tip malzemelerde oldukça fazla ürün çeşitliliği bulunmaktadır. Dolayısıyla aynı tipteki farklı bir ürün içeriğinin farklı olması itibarıyla farklı özellikler de gösterebilmektedir. Bu çalışma sonuçları, kullanılan malzemeleri kapsayacaktır. Yüzeysel yalıtım sağlayan malzemeler çimento esaslı, bitüm ve akrilik esaslı yalıtım sağlayan malzeme grubundan seçilmiştir. Su geçirimsizlik sağlayan yüzeysel yalıtım malzemelerinin karakteristik özellikleri sırasıyla Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Yüzeysel yalıtım malzemelerinin karakteristik özellikleri

Özellikleri	Bitüm esaslı sürme	Çimento esaslı sürme	Akrilik esaslı sürme
Amacı	Su yalıtımı	Su yalıtımı	Su yalıtımı
Uygulama Şekli	1 ölçek bitüm esaslı malzeme ve 2 ölçek su, astar olarak sürülür. Kuruduktan sonra 2. kat uygulanır.	5 birim sıvı kristalizeye 1 birim çimento karıştırılarak uygulanır.	1 ölçek akrilik esaslı malzeme ve 2 ölçek su, astar olarak sürülür. Kuruduktan sonra 2. kat uygulanır.
Uygulama Alanı	Çatı ve Temeller	-	-
Renk	Siyah	Koyu gri	Beyaz
Uygulama Sıcaklığı	+5-+30	+5-+30	+5-+30

2.2. Numune Hazırlanması ve Uygulanan Deneyler

Su yalıtımı uygulaması, laboratuvar ortamında üretilen beton numunelere uygulanmıştır. Betonlar hazırlanmadan önce agrega miktarını belirlemek amacıyla TS 3539 EN 933-1 [19] standardına uygun yapılan elek analizi sonucunda 0/6 mm ve 6/12 mm miktarları %50'şer oranında alınarak harmanlanmıştır. Tüm karışımlarda bağlayıcı olarak çimento miktarı ve su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Beton numunelerin üretiminde kullanılan malzemeler ve miktarları Tablo 5'da verilmiştir. Karışımlar homojen halde üretilmek için 20 dm³ partiler halinde 5'er dk olmak üzere betoniyerde karıştırılmıştır. Agregalar ve çimento karıştırıcıya konulup 1dk boyunca kuru karışım yapılmıştır. Daha sonra, karışım suyu da karıştırıcıya eklenerek 4 dk daha karışım devam etmiştir. Betonlar her seriden 4 adet 100x100x100 mm boyutlu küp numune ile 4 adet 150x150x150 mm boyutunda büyük küp numune olmak üzere üretilmiştir. Üretilen büyük küp numunelerden 2 tanesinin merkezlerine Ø12 donatı yerleştirilmiştir. Vibrasyon makinesinde betonun kalıplara yerleştirilmesi sağlanmıştır ve 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. 24 saat sonunda numuneler kalıplarından çıkartılıp dayanım kazanması için içerisinde 20±2 °C sıcaklıkta su bulunan havuzda 28 gün boyunca standart kür işlemine tabi tutulmuşlardır.

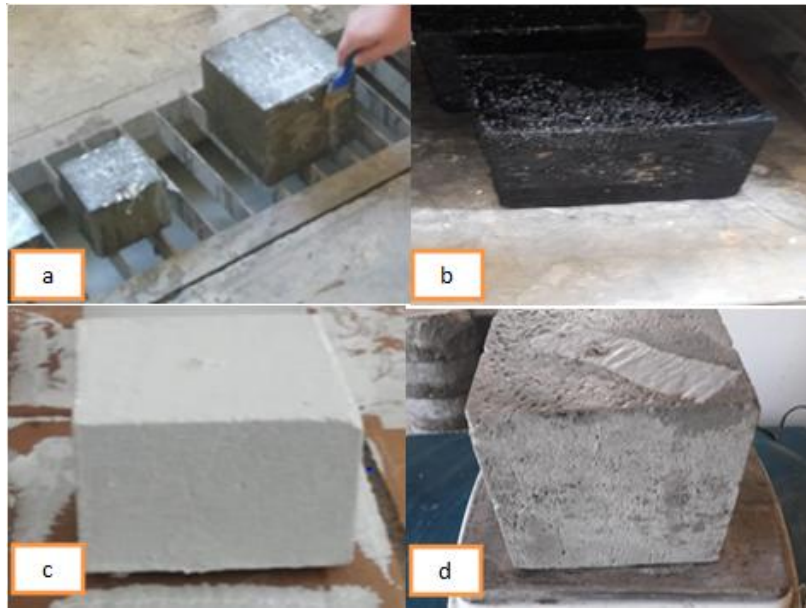
Dayanım kazanmış olan numunelere yüzeysel yalıtım malzemeleri uygulanmıştır. Bitüm esaslı sıvı membran yalıtım malzemesi uygulanırken kuru yüzeye 1 ölçek sıvı membran ve 2 ölçek su karıştırılıp astar olarak uygulanmıştır. Astandan 8 saat sonra sıvı membranın ilk katı numunelere sürülmüş ve 24 saat sonra numunelere tekrar sıvı membranın son katı fırça yardımıyla sürülmüştür.

Tablo 5. Geçirimsiz betonlarda kullanılan malzemeler ve karışım oranları.

Bileşenler	Miktarlar (kg/m ³)
Çimento	300
Su	210
İnce agrega	870
Orta agrega	880
TOPLAM	2260
W/C	0,70

*Her bir sıvı kimyasal katkı için aynı karışım miktarları kullanılmıştır.

Çift bileşenli olan çimento esaslı toz yalıtım malzemesi uygulanırken ilk bileşen 25 kg ikinci bileşen 3 kg ve 6 kg su olmak üzere karıştırılıp fırça yardımıyla sürülmüş ve 24 saat sonra tekrarlanmıştır. Akrilik esaslı yalıtım malzemesi uygulanırken kuru yüzeye 1 ölçek akrilik esaslı sıvı membran ve 2 ölçek su karıştırılıp astar olarak uygulanmıştır. Astardan 8 saat sonra akrilik esaslı sıvı membranın ilk katı numunelere sürülmüş ve 24 saat sonra numunelere tekrar akrilik esaslı sıvı membranın son katı fırça yardımıyla sürülmüştür. Numunelerin farklı yüzeysel yalıtım malzemeleri uygulandıktan sonraki resimleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Yalıtımlı betonların görünüşleri (a: çimento esaslı sürme, b: bitüm esaslı sürme, c: akrilik esaslı sürme, d: şahit).

Numuneler 48 saat laboratuvar ortamında bekletilerek numunelerin kuruması beklenmiş ve su emme, ultrases geçiş hızı, elektriksel özdirenç, kapilarite değerleri belirlenmiştir. Numuneler 24 saat etüvde kurutulmuş ve etüv kurusu ağırlıkları alındıktan sonra 24 saat su içerisinde bekletilerek doygun hale getirilmişlerdir. Arşimet prensibine göre görünen porozite ve su emme değerleri belirlenmiştir. Numunelerde kapilarite deneyi etüv kurusu durumda yapılmıştır. Numunelerin alt yüzeyleri suyla temas ettirilmiş ve yan yüzeyleri ise su geçirmeyen maddeyle (parafin) kaplanmıştır. Suyla temas ettirilen numuneler belirli sürelerde çıkartılıp ağırlıkları alınmıştır. Numunelerin kılcallık katsayıları Denklem 1 ile belirlenmiştir.

$$Q/A = k\sqrt{t} \quad (1)$$

Burada, Q : Emilen su miktarı (cm³); A : Su ile temas eden alan (cm²); k : Kapilarite katsayısı (cm²/sn) ve t : Geçen zamanı (sn) simgelemektedir.

Numunelerde ultrases deneyi direkt ölçüm yöntemiyle yapılmıştır. Deneyde ses dalgasının bir probtan diğer proba ulaştığı zaman esas alarak sonuç belirlenmiştir. Numunelerin ultrases geçiş hızları Denklem 2 ile belirlenmiştir.

$$V=L/t \quad (2)$$

Burada, V : Ultrases Geçiş Hızı (m/sn); L : Ultrases dalgasının aldığı yol (m); t : Ultrases dalgasının yol aldığı zamanı (sn) simgelemektedir.

Elektriksel özdirenç deneyi için numuneler 24 saat etüv içerisinde kurutulup etüv kurusu haline getirilmiştir. Deneyde elektriksel özdirenç değerleri (R) ASTM C 1760 [20] standartına uygun olarak direnç ölçer (ohm-metre) yardımıyla iki plaka yöntemine göre belirlenmiştir (Şekil 5). Deneyde akımın tüm alana eşit şekilde dağılabilmesi için ölçüm yapılacak iki yan alan ıslak keçe ile kaplanmıştır. Harçların elektriksel özdirenç değerleri de aşağıda verilen Denklem 3 ile belirlenmiştir.

$$\delta = R.A/L \quad (3)$$

Denklemden, δ , elektriksel özdirenç (kohm.m); R, direnç (kohm); A, numune yüzey alanı (m²) ve L, plakalar arası mesafeyi (m) simgelemektedir.

Beton içerisindeki donatı çubuğunun korozyon performansının incelenmesinde hızlandırılmış korozyon deneyinden yararlanılmıştır. Bu deney düzeneği doğru akım kapasiteli bir güç kaynağı, içerisinde %4 konsantrasyonlu NaCl çözeltisi ve iki adet paslanmaz çelik plaka bulunan bir plastik kap ve test numunesinden oluşmaktadır. Hızlandırılmış korozyon düzeneği Şekil 3'te gösterilmiştir. Beton içerisine 12 mm çapında donatı çubuğu bulunan 150x150x150 mm boyutundaki test numunesi, %4 konsantrasyonlu NaCl çözeltisi bulunan kaba konmuştur. Sisteme sabit 50 volt gerilim uygulayan doğru akım (DC) kaynağının pozitif kutbuna donatı çubuğu (çalışan elektrot) ve negatif kutbuna plakalar (karşı elektrot) olacak şekilde bağlanmıştır. Bu devrede donatı çubuğu anot, plakalar katot ve NaCl çözeltisi de elektrolit olmaktadır. Veri kayıt cihazı yardımı ile sistemin çektiği akım değerleri kayıt alınmıştır.



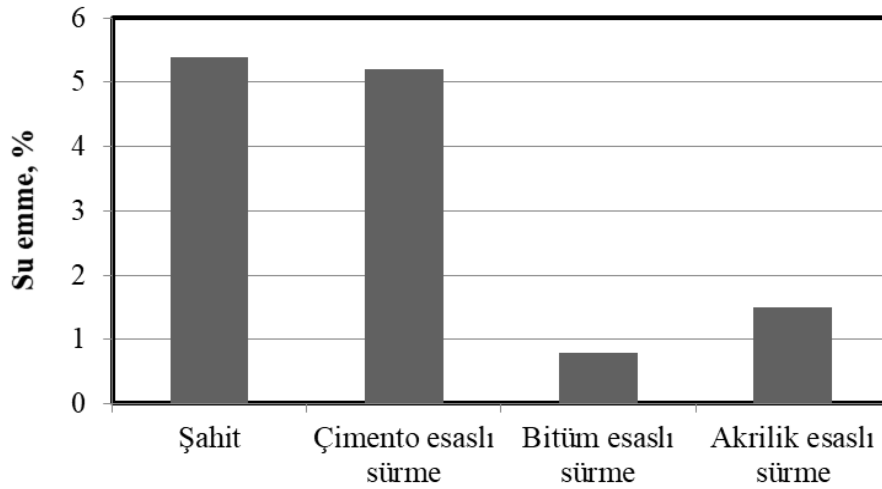
Şekil 3. Yalıtımlı betonların korozyon testi.

Numunelerin gerilim altında çektiği akım değerleri zamana bağlı grafik ortamına aktarılmıştır. Numunenin zamana bağlı olarak akım çekmeye başladığı an çatlama olayının göstergesi olarak alınmıştır. Buradaki zaman, korozyona başlama süresi olarak not edilmiştir.

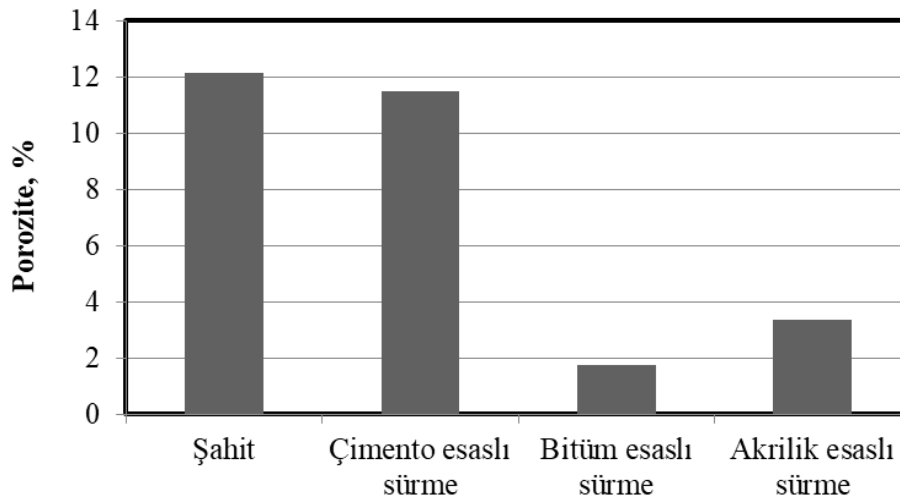
3. Deney Sonuçları ve Deđerlendirme

3.1. Su Emme ve Porozite Deney Sonuçları

Farklı yüzeysel yalıtım malzemeleriyle üretilen numunelerin su emme değerleri Şekil 4'te; porozite değerleri de Şekil 5'de gösterilmiştir. Su yalıtım malzemeleri kullanılmasıyla betona suyun geçişi engellenerek beklenildiği gibi su emme değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Numunelerde suyun geçişi engellenerek fiziksel performans artırılmış olacaktır. [21]. Yalıtım malzemesi kullanılmayan numunede su emme değeri %5,39 iken çimento esaslı sürme yalıtım malzemesinde bu değer %3,34 oranına azalarak %5,21 olarak gözlenmiştir. Çimento esaslı sürme yalıtım malzemesini akrilik esaslı sürme yalıtım malzemesi takip ederek %72,17 oranında azalma sağlamıştır. Su emme oranını en fazla azaltan yalıtım malzemesi ise %85,34 oranında su emmeyi azaltarak bitüm esaslı sürme yalıtım malzemesi olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Yüzeysel yalıtım uygulanmış betonların su muhtevası değerleri



Şekil 5. Yüzeysel yalıtım uygulanmış betonların görünen boşluk oranı değerleri

Yalıtım malzemesi kullanılmayan numunede porozite değeri %12,14 olarak bulunmuştur. Çimento esaslı sürme yalıtım malzemesi kullanılan betonlardaki görünen porozite değeri %11,51 oranına azalarak %11,51 olarak gözlenmiştir. Akrilik esaslı sürme yalıtım malzemesinde ise görünen porozite değeri %72,24 oranında azalırken en fazla azalma %85,42 oranında bitüm esaslı sürme

yalıtım malzemesinde belirlenmiştir. En iyi su yalıtımı bitüm esaslı sürme yalıtım malzemesinde görülmüştür.

3.2. Kapilerite Deney Sonuçları

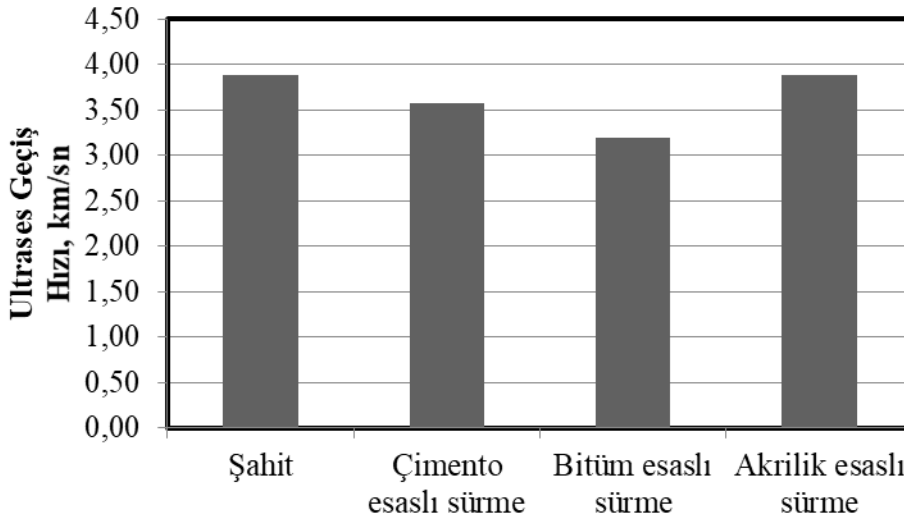
Farklı yüzeysel yalıtım malzemeleriyle üretilen numunelerin kapilerite katsayıları Çizelge 6'da verilmiştir. Kapilerite deneyi betonun kılcal boşluklardan birim alandan yerçekimine ters yönde emilen su miktarı hakkında bilgi verir. Yüzeysel su yalıtım uygulanmış numuneler için hesaplanan kılcallık katsayıları şahit betona kıyasla çok daha düşük çıkmıştır. Yüzeysel su yalıtım malzemelerinin kapiler geçirimsizliğe yüksek ölçekte katkı sağladığı gözlenmiştir. Şahit betonun kılcallık katsayısı $72,76 \times 10^{-6}$ cm/sn olarak belirlenmiştir. En düşük kapilerite katsayısı ise, $0,027 \times 10^{-6}$ olarak belirlenip, çok yüksek oranda kapiler su emmeyi azaltmasıyla bitüm esaslı sürme yalıtım malzemesi olarak gözlenmiştir. Bunu $0,86 \times 10^{-6}$ cm/sn ile akrilik esaslı sürme yalıtım malzemesi izlemektedir. Çimento esaslı sürme yalıtım malzemesi ise kapilerite katsayısını şahit numuneye göre neredeyse 4 kat daha düşük oranda olmasını sağlamıştır.

Tablo 6. Geçirimsiz betonlarda kullanılan malzemeler ve karışım oranları.

Numune	Kılcallık katsayıları ($\times 10^{-6}$)
Şahit	72,76
Çimento esaslı sürme	17,54
Bitüm esaslı sürme	0,027
Akrilik esaslı sürme	0,86

3.3. Ultrases Deney Sonuçları

Farklı yüzeysel yalıtım malzemeleriyle üretilen numunelerin ultrases geçiş hızları Şekil 6'da verilmiştir. Betona gönderilen ultrasonik ses dalgaları betonun doluluk oranı hakkında bilgi verir. Deney TS EN 12504-2 [22] standardına uygun olarak yapılmıştır.



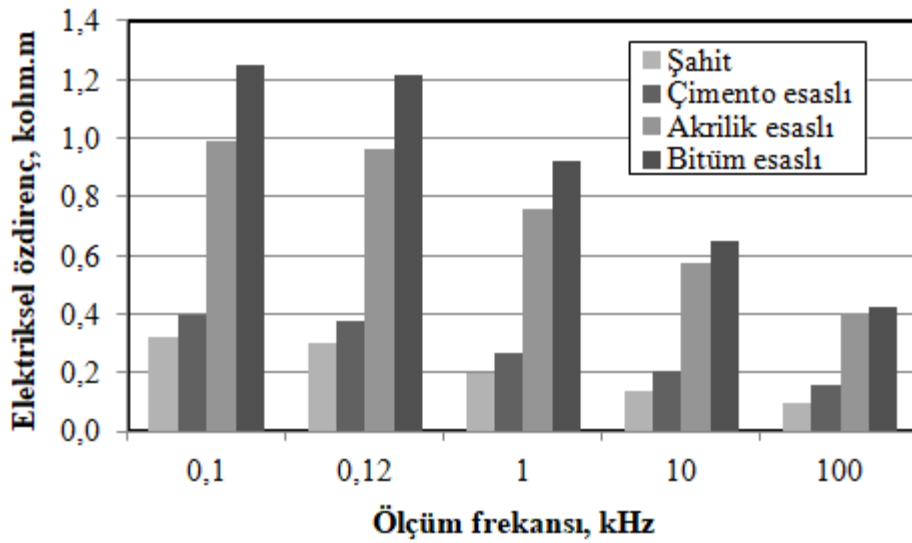
Şekil 6. Yüzeysel yalıtım uygulanmış betonların ultrases geçiş hızı değerleri

Numunelerde ölçülen ultrases geçiş hızlarının düşük olması betonun boşluklu bir yapıda olduğunu gösterir. Yalıtım malzemesi kullanılmayan numunede ultrases geçiş hızı 3,89 km/sn olarak belirlenmiştir. Yalıtım malzemeleri yüzeyden uygulandığı için uygulanan malzemenin ses geçirimsizliğine bağlı olarak geçiş hızını düşürmesi beklenmektedir. Çimento esaslı, bitüm esaslı ve akrilik esaslı yalıtım malzemelerinin sırasıyla %4,02, %14,21 ve %0,26 oranında ultrases geçiş

hızlarının azaldığı gözlemlenmiştir. En düşük ses geçiş hızı bitüm esaslı sürme yalıtım malzemesi ile 3,20 km/sn olarak belirlenmiştir.

3.4. Elektriksel Özdirenç Deney Sonuçları

Farklı yüzeysel yalıtım uygulanmış betonların farklı frekanslar için elektriksel özdirenç değerleri Şekil 7’de verilmiştir. Bilindiği gibi, frekans, bir alternatif akım (AC) sinyalinin saniye başına devir sayısıdır. Çimento esaslı sistemlerde, boşluk çözeltilerindeki iyon transferi nedeniyle elektrik iletkenliği oluşur ve artan frekansla iyon transferi hızlanır. Bu nedenle direnç azalır ve dolayısıyla beton içerisinde gömüslü donatı varsa, korozyon süreci daha hızlı olur [23]. Yüzey yalıtım malzemesi uygulanmaya şahit ve uygulanan betonların tümünde uygulanan frekans değerinin artmasıyla birlikte daha düşük elektriksel özdirenç değerleri gözlemlenmiştir.



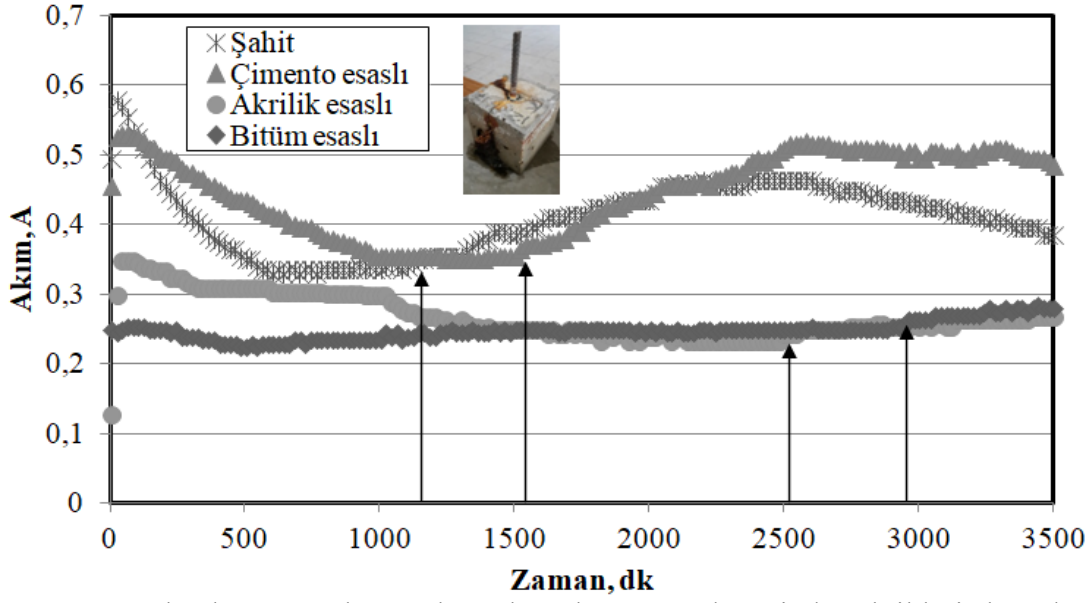
Şekil 7. Yüzeysel yalıtımlı numunelerin farklı frekanslar için elektriksel özdirenç değerleri

Frekansın değerinin 0.1 kHz olması durumunda şahit numunenin elektriksel özdirenç değeri 0,32 kohm.m iken Çimento esaslı, akrilik esaslı ve bitüm esaslı yalıtım uygulanması durumunda sırasıyla 0,40 kohm.m, 0,98 kohm.m ve 1,28 kohm.m değerlerine yükseldiği görülmüştür. Tüm frekans değerlerinde yalıtım uygulaması ile elektriksel özdirenç ölçümlerinde artış söz konusudur. En düşük özdirenç değerleri şahit numunesinde, en yüksek özdirenç değerleri ise bitüm esaslı yalıtım malzemesi uygulanan numunelerde gözlemlenmiştir. Donatı korozyonu bir elektrokimyasal işlem olduğundan, elektrik direncinin bu işlem hakkında bilgi sağlayan bir parametre olarak kullanıldığını, hizmet ömrü modellerinin geliştirilmesinde kullanıldığını çalışmalar mevcuttur [24,25]. Elektriksel özdirenç değerleri ile hızlandırılmış korozyon testi sonuçları paralellik göstermiştir. Şahit numuneye oranla, çimento esaslı, akrilik esaslı ve bitüm esaslı yalıtım malzemelerinin uygulanması ile sırasıyla korozyona karşı daha dirençli hale geldiği ve elektriksel özdirenç değerlerinin arttığı görülmüştür.

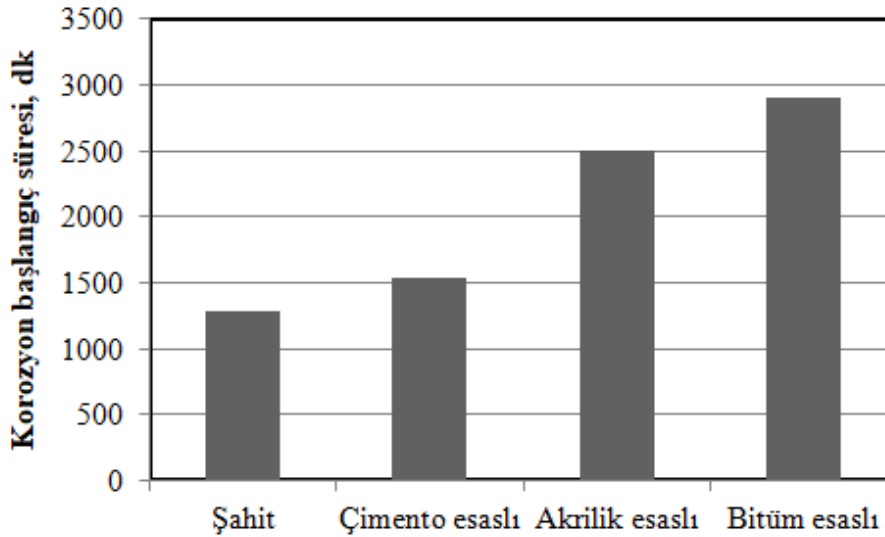
3.5. Korozyon Deney Sonuçları

Farklı yüzeysel yalıtım uygulanmış betonlarda hızlandırılmış korozyon testinde geçen akım değerleri Şekil 8’de, korozyon başlama süreleri Şekil 9’da verilmiştir. Korozyon değerlerinin yalıtım uygulaması ile şahit numuneye kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Katkıların kullanımı, takviye malzemesinin değiştirilmesi, çelik veya beton kaplama ve elektrokimyasal teknikler dâhil olmak üzere farklı korozyon önleme ve koruma teknikleri mevcuttur [26]. Beton

yüzeyine su yalıtım malzemesi uygulanması da bu yöntemlerden biridir ve korozyonu azaltıcı etkide olduğu görülmüştür.



Şekil 8. Yüzeysel yalıtım uygulanmış betonların korozyon deneyinde çektiği akım değerleri



Şekil 9. Yalıtımlı numunelerde donatıların korozyona başlama süreleri

Betonarmede su varlığı çelik donatı korozyonu ve beton çatlakları nedeniyle korozyona ve beton yapıda hasara neden olduğu bilinmektedir [27]. Bu nedenle hızlandırılmış deney yöntemleriyle betonarme elemanların korozyona karşı dirençleri araştırılmaktadır. Bu tip deney yöntemlerinde deney sırasında çekilen akımın yüksek olması, korozyon olayının daha hızlı olacağını göstermektedir [28]. Numunelerin akım değerleri incelendiğinde, en fazla akım 0,58 A akımla şahit numune tarafından çekilirken bunu 0,53 A akımla çimento esaslı sürme izlemiştir. Akrilik esaslı malzemeyle kaplanan betonlardan 0,35 A akım geçişi olurken, bitüm esaslı sürme yalıtım malzemesi uygulanan numunelerde ise akım 0,25 A başlangıç akımı çekmiştir. Genel olarak, daha düşük bir akım yoğunluğu daha yüksek korozyon koruma kabiliyetine ve daha düşük bir korozyon oranına karşılık geldiği kabul edilmiştir [28]. Dolayısıyla, kaplama yapılan numuneler arasında en düşük akımı bitüm esaslı olan numuneler çekmiş ve buna göre korozyona daha dirençli oldukları görülmüştür. Akım değerlerinden yola çıkılarak sıcaklığın artmaya başladığı noktalar korozyon başlama süreleri olarak belirlenmiştir ve şekil üzerinde oklar yardımı ile gösterilmiştir. Korozyon

başlama süreleri incelendiğinde, şahit numunede korozyon başlama süresi 1250 dk iken çimento esaslı, akrilik esaslı ve bitüm esaslı yalıtım uygulanan betonlarda sırası ile 1550 dk, 2500 dk ve 2700 dk olarak ölçülmüştür. Korozyonun ilk başladığı numune şahit betonu iken en son başladığı numune bitüm esaslı yalıtım uygulanan beton numunesidir. Korozyon başlama sürelerinin akım yoğunlukları ile ters orantılı olduğu görülmüştür. Akım yoğunluğunun azalması ile birlikte korozyona başlama süreleri artmıştır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, farklı yüzeysel yalıtım malzemeleri kullanılarak su yalıtımı uygulaması yapılmış olan betonların bazı durabilite özellikleri araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Farklı yüzeysel yalıtım malzemeleriyle üretilen numunelerde, yalıtımsız numuneye göre su emme ve porozite değerlerinin daha az olduğu gözlenmiştir. Çimento esaslı, akrilik esaslı ve bitüm esaslı su yalıtım malzemelerinin kullanılmasıyla su emme değerlerinin sırasıyla %3,34, %72,17 ve %85,34 porozite değerlerinin ise sırasıyla %5,19, %72,24 ve %85,42 oranında azaldığı belirlenmiştir.
- Farklı yüzeysel yalıtım malzemelerinde belirlenen kılcallık katsayılarında şahit numuneye kıyasla önemli ölçüde azalma meydana gelmiştir. Yalıtım uygulanmamış şahit numunede kılcallık değeri $72,75 \times 10^{-6}$ olarak belirlenmiştir. Çimento esaslı, akrilik esaslı ve bitüm esaslı sürme yalıtım malzemelerindeki kılcallık katsayı değerlerinde şahit numuneye kıyasla sırasıyla %75,89, %98,81, ve %99,96 oranında azalma gözlenmiştir.
- Farklı yüzeysel yalıtım malzemelerinden elde edilen ultrases sonuçlarında şahit numuneye kıyasla çimento esaslı, bitüm esaslı ve akrilik esaslı sürme yalıtım malzemelerinde sırasıyla %4,02, %14,21 ve %0,26 oranlarında azalma gözlenmiştir. Bu azalmanın nedeni yalıtım malzemelerinin yüzeyden uygulanmasıyla uygulanan malzemenin ses geçiş hızını düşürmesidir.
- Farklı yüzey yalıtım malzemelerinin uygulanması ile numunelerinin çekilen akım değerlerinin azaldığı, korozyon başlama sürelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Şahit numunede korozyon başlama süresi 1250 dk iken yalıtım uygulaması ile 2700 dk'lara çıktığı görülmüştür.
- Yalıtım uygulamaları arasında en az akım değerini ve en uzun korozyon başlama süresinin bitüm esaslı kaplama malzemesinden elde edilmiştir.
- Elektriksel özdirenç değerlerinin tüm numunelerde frekans değerinin artması ile azaldığı görülmüştür. Aynı frekans değerinde incelendiğinde en düşük elektriksel özdirenç değeri şahit numunede gözlemlenirken en yüksek özdirenç değeri bitüm esaslı yalıtım malzemesinde elde edilmiştir.
- Elektriksel özdirenç değerleri ile hızlandırılmış korozyon testi sonuçları paralellik göstermiştir. Şahit numuneye oranla, çimento esaslı, akrilik esaslı ve bitüm esaslı yalıtım malzemelerinin uygulanması ile sırasıyla korozyona karşı daha dirençli hale geldiği ve elektriksel özdirenç değerlerinin arttığı görülmüştür.
- Beton numunelere yüzey yalıtım malzemesi uygulanarak su emme, porozite, kapiler su emme katsayısı, ultrases geçiş hızı ve korozyon başlama sürelerinin azaldığı, elektriksel özdirenç değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen tüm bulgular, bu çalışma kapsamında kullanılan malzemeleri kapsamaktadır. Aynı isimle bilinen fakat farklı içerikteki malzemelerle yapılan testler, ürün özelliklerine göre farklı sonuçlara verebilir. Yalıtım malzemelerinin uygulanmasında mutlaka firmanın teknik özelliklerde belirttiği kurallara göre yapılması önerilmektedir. Sonuçlar genel olarak dikkate alındığında, yalıtım malzemelerinin hepsinin de su yalıtımında etkili olmakla beraber, bitüm esaslı olanların uygulaması kurallara göre yapıldığında diğer yalıtım malzemelere göre betonlarda daha fazla kalıcılık sağlayacağı belirtilebilir.

Teşekkür

Deneysel çalışmalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin teminini ve makaledeki su yalıtımı sorunu olan resimleri paylaşarak makalemize destek olan Afyonkarahisar'da faaliyet gösteren *Akademi Yalıtım* firmasına teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- [1]. Kubal M., 'Construction Waterproofing Handbook', Second Ed., McGraw-Hill Publishing, 2008.
- [2]. Wang G., You G., Shi B., Yu J., Li H., Zong K., 'Earth fissures triggered by groundwater withdrawal and coupled by geological structures in Jiangsu Province', *Environ. Geology*, 2009, 57 (5), 1047–1054.
- [3]. Mousavi S.M., Shamsai A., Naggar M.H.E., Khomehchian M., 'A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran', *Canadian J. Civil Eng.*, 2001, 28 (3), 452–464.
- [4]. Basheer L., Kropp J., Cleland D.J., 'Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review', *Constr. Build. Mater.*, 2001, 15 (2–3), 93-103.
- [5]. Liu J.P., Cai J.S., Shi L., Liu J.Z., Zhou X.C., Mu S., Hong J.X., 'The inhibition behavior of a water-soluble silane for reinforcing steel in 3.5% NaCl saturated Ca(OH)₂ solution', *Constr. Build. Mater.*, 2018, 189, 95-101.
- [6]. Li Q., Yang K., Yang C.H., 'An alternative admixture to reduce sorptivity of alkaliactivated slag cement by optimising pore structure and introducing hydrophobic film', *Cement Concrete Compo.*, 2019, 95, 183-192.
- [7]. Song J.L., Zhao D.Y., Han Z.J., Xu W., Lu Y., Liu X., Liu B., Carmalt C.J., Deng X., Parkin I.P., 'Super-robust superhydrophobic concrete', *J. Mater. Chem.*, 2017, A 5, 14542–14550.
- [8]. Chen H, Feng P., Du Y., Jiang J.Y., Sun W., 'The effect of superhydrophobic nanosilica particles on the transport and mechanical properties of hardened cement pastes', *Constr. Build. Mater.*, 2018, 182, 620–628.
- [9]. Li Y., Gou L., Wang H.Q., Wang Y.Z., Zhang J.F., Li N., Hu S.L., Yang J.L., 'Fluorinefree superhydrophobic carbon-based coatings on the concrete', *Mater. Lett.*, 2019, 244, 31–34.
- [10]. Zhou Q., Xu Q., 'Experimental study of waterproof membranes on concrete deck: Interface adhesion under influences of critical factors', *Materials. Design*, 2009, 30 (4), 1161–1168.
- [11]. Bohus S., Drochytka R., Taranza L., 'Fly-Ash Usage in New Cement-Based Material for Concrete Waterproofing', *Adv. Materials. Research*, 2012, 535–537, 1902–1906.
- [12]. Davis M., Hoult N.A., 'Scott A. Distributed strain sensing to determine the impact of corrosion on bond performance in reinforced concrete', *Constr Build Mater*, 2016, 114, 481–91.
- [13]. Feng X., Yu Z., Tang Y., Zhao X., Lu X., 'The degradation of passive film on carbon steel in concrete pore solution under compressive and tensile stresses', *Electrochim Acta.*, 2011, 58, 258–63.
- [14]. Tang F., Bao Y., Chen Y., Tang Y., Chen G., 'Impact and corrosion resistances of duplex epoxy/enamel coated plates', *Constr Build Mater*, 2016, 112 (1), 7–18.
- [15]. Stefanoni M., Angst U., Elsener B., 'Corrosion rate of carbon steel in carbonated concrete – A critical review', *Cem Concr Res.*, 2018, 103, 35–48.
- [16]. Vassie P.R., 'Do they reduce on-going corrosion of reinforcing steel', *Concrete coatings, Protection of Concrete, Proceedings of the International Conference, London, 1991.*
- [17]. Iob A., Saricimen H., Narasimhan S., Abbas N.M., 'Spectroscopic and microscopic studies of a commercial concrete water proofing materials', *Cement Concrete Res.*, 1993, 23, 1085–94.
- [18]. TS EN 197-1, 'Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri', *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1999.*

- [19]. TS 3539 EN 933-1, ‘Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- bölüm 1: tane büyüklüğü dayanımı tayini- eleme metodu’, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [20]. ASTM C 1760, ‘Standard test method for bulk electrical conductivity of hardened concrete’, West Conshohocken (PA): ASTM, 2012.
- [21]. Kartal S., Üstündağ S. I., ‘Yapılarda su yalıtım uygulamalarının önemi ve maliyeti’, Mühendislik Dergisi, 2016, 7 (3), 399-408.
- [22]. TS EN 12504-2, ‘Yapılarda beton deneyleri- Bölüm 2: Tahribatsız muayene- Geri sıçrama sayısının belirlenmesi’, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [23]. Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Şimşek, B., Çınar, E., ‘Kendiliğinden yerleşen harçların elektriksel özdirenci üzerine mineral katkıların etkisi’, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2018, 22 (2), 986-992.
- [24]. Nguyen, A.Q., Klyz, G., Derby, F., Balayssac, J.-P., ‘Assessment of the electrochemical state os steel in water saturated concrete by resistivity measurement’, Constr. Build. Mater., 2018, 171, 455–466.
- [25]. Chen, C.T., Chang, J.J., Yeih, W., ‘The effects of specimen parameters on the resistivity of concrete’, Constr. Build. Mater., 2014, 71, 35–43.
- [26]. Yeganeh, M., Omid, M., Mortazavi, H., Etemad, A., Rostami, M.R., Shafiei, M.E., ‘Enhancement routes of corrosion resistance in the steel reinforced concrete by using nanomaterials’, Smart Nanoconcretes and Cement-Based Materials, 2020, 583-599.
- [27]. Ghafari, N., ‘Corrosion control in underground concrete structures using double waterproofing shield system (DWS)’, International Journal of Mining Science and Technology, 2013, 23(4), 603–611.
- [28]. He S.J., Wang Z., Hu J., Zhu J.B., Wei L.P., Chen Z., ‘Formation of superhydrophobic micro-nanostructured iron oxide for corrosion protection of N80 steel’, Mater. Design, 2018, 160, 84–94.