



Elektrik özdirenç yöntemi ile donatılı kuru beton dayanımının belirlenmesi

Determination of reinforced dry concrete strength by electrical resistivity method

Nevbahar SABBAĞ¹, Osman UYANIK^{2*}

^{1,2}Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
nevbaharsabbag@sdu.edu.tr, osmanuyanik@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 14.08.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 05.12.2017

doi: 10.5505/pajes.2017.76702

* Yazışılan yazar/Corresponding author

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada farklı dayanımlara göre tasarlanmış donatılı beton numunelerin kuru koşullarda görünür özdirenç değerlerinin değişimi araştırılmıştır. Bu amaçla 9 farklı beton tasarımına ait 150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler hazırlanmıştır. Beton numunelerinin tam ortasına 10, 14 veya 20 mm çapında bir adet donatı yerleştirilmiş ve her çeşit numuneden 18 adet oluşturulmuştur. Hazırlanan bu numuneler hava kürüne tabi tutulmuştur. 90 gün boyunca belirli zaman dilimlerinde numunelerin farklı yüzeylerinden elektrik yöntem uygulanarak numunelerin görünür özdirenç değerleri belirlenmiştir. Ayrıca 7., 28. ve 90. günlerde 3'er adet numunenin Tek Eksenli Basınç dayanımları ölçülerek ortalamalarından beton dayanımı belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalardan elde edilen görünür özdirenç ve beton dayanım değerlerinin zamana bağlı değişimi ortaya konulmuştur. Ayrıca basınç dayanımları ve görünür özdirenç değerleri arasındaki ilişkiler her bir donatı çapı için ayrı ayrı belirlenmiştir. Sonuç olarak kuru koşullarda farklı dayanımlardaki betonların görünür özdirenç değerleri beton basınç dayanımlarının artmasına bağlı olarak azalmaktadır. Bu araştırma, kuru haldeki betonun dayanımının yerinde belirlenmesine tahribatsız bir yaklaşım olup hem zaman hem de ekonomik açıdan katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Donatı, Kuru beton, Görünür özdirenç, Basınç dayanımı, Tahribatsız jeofizik yöntem

Abstract

In this study, change of the apparent resistivity values was investigated on reinforced concrete samples designed with different strength in dry conditions. For this purpose, studies were conducted with 150x150x150 mm cubic samples of 9 different concrete designs. A piece of 10, 14 or 20 mm diameter reinforcement was placed in the middle of concrete samples and 18 samples were prepared for all types of them. Prepared these samples were subjected to the air cure. The apparent resistivity values of the samples were determined by electrical method on different surfaces of the sample at specific time periods of during the 90 days. Furthermore, the concrete strength was determined from average of 3 samples by uniaxial compressive strength test of each sample on 7th, 28th and 90th days. The time dependence change of the apparent resistivity and concrete strength values obtained from these studies was presented. In addition, the relationships between the compressive strengths and the resistivity values were determined separately for each reinforcement diameter. As a result, the apparent resistivity values decrease with increasing concrete compressive strengths in dry conditions concrete of different strengths. This research is a non-destructive approach to determining the strength of concrete in dry condition in-situ and it contributes both time and economically.

Keywords: Reinforcement, Dry concrete, Apparent resistivity, Concrete strength, Non-destructive geophysical method

1 Giriş

Jeofizik yöntemler, betonda doğal ya da insan eliyle oluşabilecek tahribatı azaltmak ve betona hasar vermeden daha kısa zamanda, daha ekonomik ve daha fazla bilgi elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı yaptıkları çalışmalarda araştırmanın amacına göre bu yöntemleri etkin bir şekilde kullanmışlardır. Mevcut yapılar, arkeolojik yapılar veya tarihi eser niteliğindeki yapılarda kullanılan malzemenin dayanımı, kırık ve çatlak durumu gibi özelliklerinin belirlenmesi ya da betonarme yapılarda donatıların yerini ve sayısını tespit etmek, donatı korozyonunu belirlemek amacıyla jeofizik yöntemlerden özellikle elektrik, elektromanyetik ve sismik yöntemler kullanılmıştır [1]-[6]. Jeofizik yöntemlerden elektrik yöntem ile betonun elektriksel özellikleri ölçülebilmekte ve elde edilen görünür özdirenç verilerine dayanarak beton içerisindeki donatıların varlığı ve bu donatıların beton dayanımına olan etkisi incelenebilmektedir. Bu durumda mevcut yapıların beton dayanımı, beton içerisindeki donatı durumu ve donatının korozyon durumu gibi problemlerin çözümünde yapıya zarar vermeden değerli veriler elde edilebilmektedir. Betonun elektriksel özelliklerindeki değişim; betonun kalınlığı, nem içeriği, yoğunluğu ve sıcaklık değişimlerini değerlendirmek amacıyla

izlenebilmektedir [7]-[14]. Ayrıca, görünür özdirenç değeri betonun kür koşullarına bağlı olarak değiştiğinden [15],[16], birçok araştırmacı elektrik yöntem ile yerinde ya da laboratuvarında betonun özelliklerini araştırmışlardır [17],[18]. Ancak bu çalışmalarda kuru halde olup gözeneklilik miktarları farklı olan havaya doygun donatılı betonların dayanımları tahribatsız bir şekilde ortaya konulmamıştır [15],[16].

Literatürde elektrik yöntemiyle beton ve betonarme üzerinde yapılmış bazı çalışmalar mevcuttur. Lataste ve diğ. [8] tarafından kırık ve çatlak içeren betonlarda elektrik yöntemin kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada kırıklı bölgelerde görünür özdirençin oldukça yüksek, içerisinde kırık, çatlak olmayan bölgelerde ise düşük olduğu gözlemlenmiştir. Morris vd. [19] ise beton özelliklerini belirlemek amacıyla 4 ayrı beton karışımı tasarlayarak numuneler üzerinde elektrik ölçümleri almış ve tek eksenli basınç dayanımına tabi tutmuşlardır. Deniz etkisine bırakılan bu numunelerin görünür özdirenç değerlerinin zamanla artan bir eğilim gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, farklı kalitedeki beton tasarımları ile yapılan çalışmada görünür özdirenç verilerinden beton kalitesini ayırt edebilmişlerdir. Buna göre iyi kalitedeki betonun görünür özdirenç değeri diğer standart kalitedeki 3 beton karışımına göre 3 kat daha yüksek çıkmıştır. Bu farklılık aynı zamanda hem deniz etkisi hem de çevresel

etkilerin olduğunun göstergesi olduğunu belirtmişlerdir [19]. Bazı araştırmacılar betonun elektriksel özelliklerindeki değişimi incelemek amacıyla betonun şekil etkisini gözlemlemek için küp ve silindirik numuneler üzerinde elektrik ölçümleri yapmışlar, aynı zamanda çimentolanma derecelerini belirlemişlerdir [10],[14]. 90 gün boyunca yapılan ölçümlere göre yaş ve çimentolanma derecesi arttıkça görünür özdirençte de artış olduğunu ve numune şeklinin görünür özdirenç değeri verdiğini saptamışlardır [10].

Polder, betonun görünür özdirençinin betonun mikro yapısının özelliklerine ve gözeneklerdeki çözeltinin iletkenliğine bağlı olduğunu ve çimento malzemesine bağlı görünür özdirenç ve beton dayanımı arasında farklı ilişkilerin ortaya çıktığını gözlemiştir [20]. Ramezaniyanpour ve diğ. [21] betonun klor geçirimsizliği ile tek eksenli basınç dayanımı arasında ilişki araştırdıkları zaman beton içerisindeki klorun yayılımı ve betonun görünür özdirenç arasında iyi ilişkinin olduğunu belirlemişlerdir. Onlar betonun görünür özdirenç değerinin yüksek olması durumunda betondaki klorid iyonlarının hareketinin yavaşladığını, betondaki donatının paslanma oranının düştüğünü ve böylece betonun daha dayanıklı ve uzun servis ömürlü olduğunu belirlemişlerdir. Plooy ve diğ. [13] betonun gözenekliliği, su içeriği ve görünür özdirenç arasında da güçlü bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Yerinde yapılan görünür özdirenç çalışmalarında 4 nokta elektrod ile Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen görünür özdirenç değerleri beton içerisindeki donatının varlığından etkilenmektedir. Eksenel statik yük veya yarı durağan yük altında olan mevcut yapılarıdaki donatılı betonun iletkenliği ve hasar miktarı arasında kurulan ilişkilendirmelerde elektrik özdirenç yöntemi kullanılabilir. Garzon ve diğ. [22] numune geometrisi ve elektrod açıklığına bağlı olarak donatı varlığının görünür özdirenç değerlerini düşürdüğünü gözlemiştir. Beton numunelerdeki donatının varlığı 4 nokta elektrod diziliminin akım dağılımını ve potansiyel farkını değiştirmektedir. Bu değişiklikler nicel olabilmekte ve böylece donatılı beton numuneleri ve yapılarının görünür özdirençlerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Özel geometrik dizilimler kurulacağı zaman şekil faktörüne donatı faktörü eklenmektedir. Bu faktörün laboratuvar numuneleri ve geniş yapılarıdaki beton kaplamalarında elektrod aralığına bağlı olduğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir [14],[22],[23].

Yapılan bu çalışmada dayanımları farklı 9 adet beton tasarımı laboratuvar ortamında hazırlanmış ve hazırlanan numuneler içerisine bir adet 10, 14 veya 20 mm çapında donatı konularak küp şeklindeki beton numuneler oluşturulmuştur. Bu numunelerin gözeneklerinin hava doygunluğuna bağlı olarak görünür özdirenç değerlerinin değişimini araştırmak amacıyla hava kürüne maruz bırakılan numuneler üzerinde belirli zaman aralıklarında görünür özdirenç ve Tek Eksenli basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Buna bağlı olarak kuru donatılı betonların görünür özdirençinin ve basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimleri ve görünür özdirenç ile basınç dayanımı arasında ilişki ortaya konulmuştur.

2 Yöntemler

2.1 Tek eksenli basınç dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı, beton dayanımının belirlenmesinde direkt yöntemdir. Ancak, bu işlem yapılırken yapıya hasar verilmektedir. Mevcut yapılardan çeşitli

büyükte karotlar alınarak yürürlükte bulunan standartlara göre tek eksenli basınç dayanımları belirlenmektedir. Bu deneyin uygulanması ve sonuçların değerlendirilmesi ile yapının beton dayanımı hakkında bilgiler elde edilmektedir. Deneyde hidrolik baskı tablaları arasına numunenin alt ve üstüne çapı numune çapı kadar ve kalınlığı yarıçap kadar olan demir aparatlar yerleştirilir (Şekil 1) [24],[25].



Şekil 1: Tek eksenli basınç deneyi cihazı ve kırma sonucu.

Bu şekilde, yükün numune üzerine homojen şekilde dağılması sağlanmaktadır. Kırılmaya bırakılan numunenin kırıldığı anda uygulanan yük P , numunenin yüzey alanı A ise, tek eksenli basınç direnci $\sigma_b = P/A$ şeklinde bulunur. Küp şeklindeki numunelere tek eksenli basınç dayanımı deneyi uygulanırken numunenin döküm yönüne dik kenarları tek eksenli basınç deney cihazının plakalarıyla temas edecek şekilde yerleştirilir. Süreksizlikler ve tabaka yüzeylerine dik veya paralel doğrultuda gelen gerilmeler ile basınç dayanımı değişmektedir. Süreksizlik yüzeyine dik doğrultudaki dayanım, paralel doğrultuda elde edilen dayanımdan daha fazla çıkmaktadır [25],[26].

Betonun tek eksenli basınç dayanımı, yükleme hızına bağlı değişmektedir. Beton numunesine yapılan gerilmenin yükleme hızı azaldıkça numune düşük gerilme ile kırılmaktadır. Yani, yükleme hızının düşük olması sonucunda numunenin de basınç dayanımı düşük elde edilir. Bunun sebebi numuneye uygulanan yükün uzun süre kalması sonucunda numunede oluşan sünmedir. Buna karşın normalden daha fazla hızla yüklenen numuneler daha büyük yük altında kırılır ve daha fazla tek eksenli basınç dayanımı bulunur [27],[28].

Bu çalışmada zamana bağlı basınç dayanımlarının değişimini gözlemlemek amacıyla 7., 28. ve 90. günlerde üçer adet numunenin tek eksenli basınç dayanımlarının ortalamaları alınmıştır. Numunelere uygulanan yükleme hızı TS EN 12390-3'e [29] uygun olarak 150x150x150 mm küp numuneler için ortalama 13.5 kN/s (0.6±0.2 MPa/s) olarak uygulanmıştır. Beton, küp kalıpların içerisine iki katmanda doldurulur ve her bir katman bir vibratör vasıtasıyla veya çelik bir çubukla sıkıştırılmıştır. İçi beton dolu olan kalıplar 24 sa. priz almaları için bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak hava kürüne tabi tutulmuştur. Beton basınç dayanımları elde edilirken içerisinde 10, 14 veya 20 mm çapında birer adet donatı bulunduran numunelerdeki donatı yan yüzeye gelecek şekilde tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır.

2.2 Elektrik özdirenç yöntemi

Tahribatsız bir jeofizik yöntemi olan gerilim farkı ölçümü; çalışma alanındaki betonun kalitesinin belirlenmesinde kullanılan hızlı ve başarılı bir yöntemdir. Yapılan çalışmalarda hata oranı yaklaşık %5 civarındadır. Elektrik yöntemle

belirlenen görünür özdirenç ile difüzyon katsayısı, geçirimsizlik katsayıları, kalcal emilim ve gözeneklilik gibi dayanıklılık göstergeleri ile iyi bir ilişkilendirme yapılabilmektedir. Böylece yapıdaki geniş alanlar dolaylı yoldan ölçülmüş olmaktadır. Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak görünür özdirenç tahmin edilmesi modern tasarımların dayanıklılık değerlerinin belirlenmesinde kullanılabilir [10],[30]. Betonun iletkenliği veya görünür özdirenç, içindeki gözeneklerin dağılımına, olası içeriğine ve içinde eriyen tuz miktarına bağlıdır. Homojen olmayan ortamda iletkenlik ölçümleri ile oluşan belirtilerin değerlendirilmesiyle betonun özellikleri tahmin edilebilmektedir. Betonun yerinde ölçümleri için geliştirilmiş olan küçük bir direnç ölçeği ile hızlı ve geniş bir alanda 4 elektrodlu Wenner dizilimine göre çalışan sistem kullanılmaktadır [31]. Bu yöntemde elektrodlar arası "a" olacak şekilde lineer bir dizilim ile dıştaki iki elektrodta akım verilerek içteki iki elektrodta potansiyel ölçümleri yapılmaktadır. Prob beton yüzeyine dokundurduğunda elektrodlar arasındaki akım verilmesi ve potansiyel ölçümü döngüsü elektronik kontrol ünitesinde yapılmaktadır. Elektrik iletkenliğini sağlamak amacıyla kullanılan elektronik temas sağlayıcı suya doymuş bir köpük yastığından imal edilmiştir. Bu cihaz ile direnç değeri $k\Omega cm$ olarak verilmektedir (Şekil 2). Ayrıca cihaz % olarak sonuçların güvenilirliğini de vermektedir [20],[32],[33].



Şekil 2: Beton numune üzerinde 50 mm elektrod açıklıklı elektrik cihazıyla görünür özdirenç değerlerinin belirlenmesi.

Betondaki görünür özdirenç su/çimento oranına (gözeneklerdeki iletkenlik), gözenekliliğine ve gözenek boyutunun dağılımına, çimentonun hacmi ve tipine, sıcaklığa ve neme bağlıdır. Çimento kimyası, çimento bileşeni, su/çimento oranı ve kullanılan ek çimentolanma materyalleri ve karışımlarının kullanımı betonun mikro yapısı yanında boşluktaki çözelti kimyası ve böylece görünür özdirenç etkiler. Kullanılan betonun yaşına göre görünür özdirenç ve dayanıklılık arasında güçlü bir ilişki vardır. Ayrıca, sıcaklığın betonun görünür özdirenç üzerinde büyük etkisi vardır [10],[33],[34].

Görünür özdirenç ve donatı demirinin konumu betonun dayanıklılığı ile sık sık ilişkilendirilmektedir [10],[35]. Görünür özdirenç betonun dayanıklılık ve kalitesinin belirlenmesinde kullanılabilir. Betonun görünür özdirenç 1-10⁴ $k\Omega m$ gibi geniş bir aralıkta değişebilmektedir. 4 elektrod Wenner diziliminde test sırasında dıştaki iki elektrodta düşük frekanslı alternatif akım verilerek içteki iki elektrodta voltaj düşümü ölçülmektedir. Elektrod aralığı 5 cm olacak şekilde ölçümler yapılmaktadır. Ölçümler her yüzeyde dikey olarak alınmakta ve ortalamaları hesaplanmaktadır [34],[36].

3 Numune hazırlama

Beton, farklı boyutlardaki agrega, çimento ve suyun bir arada karıştırılması ve zamana bağlı sertleşerek dayanım kazanması sonucunda oluşan kompozit bir yapı malzemesidir. Bu çalışma kapsamında agrega türü olarak kırmataş agrega kullanılmıştır. Antalya Boyalı göleti yakınlarındaki taş ocaklarından alınan kayalar konkasörle istenilen boyutlarda ufalanarak agrega oluşturulmuştur. Agregalar %25 iri çakıl, %23 orta çakıl, %52 kum kullanılarak hazırlanmıştır. Tasarımların hazırlanması esnasında çimento çeşidi olarak CEM II/B-LL Portland kompoze çimento (Kalker (toplam organik karbon): %0.2) kullanılmıştır. Kimyasal katkı maddeleri olarak ise hava sürükleyici beton katkısı Aermix ve süper akışkanlaştırıcı beton katkısı Fluicon kullanılmıştır. Karışımlar içilebilir nitelikteki şebeke suyu kullanılarak hazırlanmıştır. Çökme (Slump) deneyi değeri tüm karışımlar için 12 cm olarak alınmıştır.

Çalışma kapsamında 9 farklı beton tasarımına ait donatılı küp numuneler içerisine 10, 14 veya 20 mm çapında bir adet donatı bulunan küp numunelerden 9'ar adet hazırlanmıştır. Bu numuneler hava kürü olarak Antalya da 2014 yılında eylül, ekim ve kasım aylarında ortalama 20 derece sıcaklıkta ve nem oranının %42-54 olan bir ortama maruz bırakılmıştır. Numuneler üzerinde 7., 28., 41., 56., 65., 72. ve 90. günlerde elektrik özdirenç yöntemi ile her yüzeyden çapraz iki ölçü alınmak suretiyle farklı yüzeylerden toplam 8 ölçüm alınarak ortalamaları hesaplanmıştır. Ayrıca 7., 28. ve 90. günlerde 3'er adet numunenin Tek Eksenli Basınç dayanımları ölçülerek ortalamaları alınmıştır. Hava kürüne maruz bırakılarak belirli zaman dilimlerinde görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımları belirlenen donatılı numuneler öncelikle ayrı ayrı ve daha sonra bir arada değerlendirilerek ortak bir yorum yapılabilme olanağı elde edilmiştir.

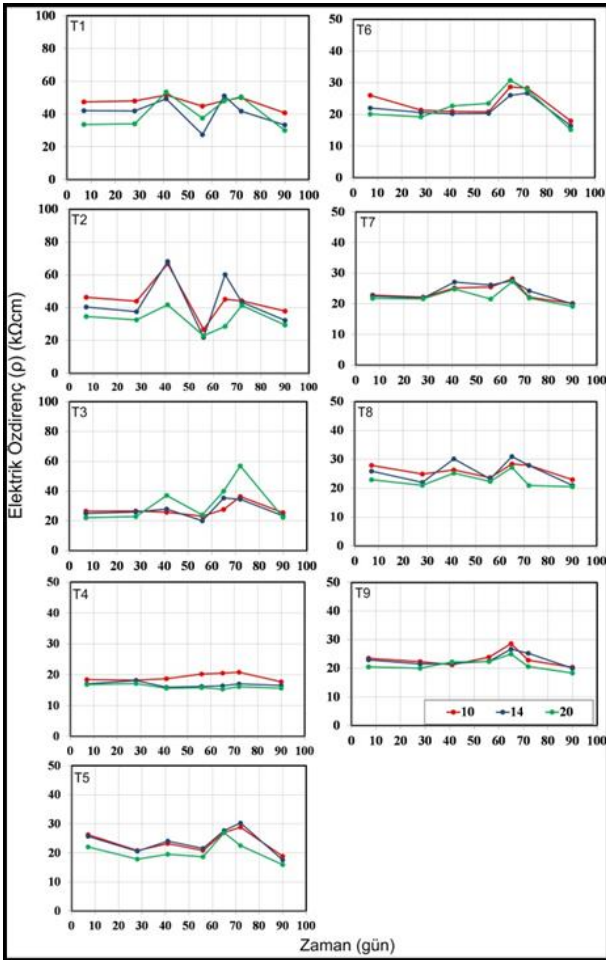
4 Değerlendirmeler

İçerisinde 10, 14 veya 20 mm çapında donatı demiri bulunduran ve hava kürüne maruz bırakılan dayanımı farklı 9 adet beton tasarımına ait numuneler üzerinde 7., 28., 41., 56., 65., 72. ve 90. günlerde elde edilen görünür özdirenç sonuçları ile 7., 28. ve 90. günlerde elde edilen Tek eksenli basınç dayanım sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo oluşturulurken T1,T2,...,T9 tasarımlarındaki Ø10 donatı bulunduran numunelerin hepsinin 7. gün ölçüm sonuçları bir arada değerlendirilmiştir. Aynı işlem Ø14 ve Ø20 donatı bulunan numuneler içinde ayrı ayrı yapılmıştır. 90 güne kadar ki diğer zaman dilimlerinde de bu değerlendirmeler yapılarak verilerin maksimum, minimum ve ortalamaları alınmıştır. Ayrıca betonların görünür özdirenç değerlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 3'te sunulmuştur. Buna göre düşük dayanımlı numunelerin görünür özdirenç değerleri yüksek dayanımlı olanlara göre daha yüksek bulunmuştur (20-70 $k\Omega cm$). İlk üç tasarımdaki (T1, T2 ve T3) ölçü alımı esnasında, problemler beton yüzeyindeki gözenek veya boşluklara denk gelmesinden dolayı veri saçılmaları gözlenmiştir. Çünkü betondaki gözenekler içerisindeki hava dolusu gözeneklerin yeri, boyutu ve yönelim doğrultusuna bağlı olarak görünür özdirenç değerlerini oldukça etkilemektedir. İlk (7. gün) ve son gün (90. gün) ölçümleri kıyaslandığında görünür özdirenç değerlerinde genel olarak azalma gözlenmiştir. Düşük dayanımlı gruba kıyasla da daha düşük görünür özdirenç değerleri elde edilmiştir (17-30 $k\Omega cm$). Yüksek dayanımlı betonlarda donatı çapı arttıkça görünür özdirenç değerlerinde azalma gözlenmiştir.

Tablo 1: Hava küründeki numunelerin görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımı sonuçları (Ø: Donatı çapı (mm)).

Zaman (gün)	Donatı Türü	Görünür Özdirenç (kΩcm)			Dayanım (MPa)		
		min.	max.	Ort.	min.	max.	Ort.
7	Ø10	18.00	47.40	26.48	4.80	67.70	41.88
	Ø14	19.00	42.05	25.62	4.90	60.10	39.98
	Ø20	19.78	34.64	24.62	5.10	58.20	37.74
28	Ø10	17.00	48.00	25.95	5.10	67.40	43.41
	Ø14	18.51	41.90	25.30	5.30	62.40	41.39
	Ø20	17.85	37.00	24.14	5.90	59.00	39.10
41	Ø10	18.70	58.74	30.19	-	-	-
	Ø14	15.90	56.19	30.29	-	-	-
	Ø20	15.60	53.44	29.15	-	-	-
56	Ø10	20.20	56.76	29.95	-	-	-
	Ø14	16.20	51.94	28.25	-	-	-
	Ø20	15.80	47.48	27.17	-	-	-
65	Ø10	20.50	48.18	31.37	-	-	-
	Ø14	16.40	51.06	32.21	-	-	-
	Ø20	15.30	47.98	30.66	-	-	-
72	Ø10	20.80	50.00	31.26	-	-	-
	Ø14	17.00	43.33	30.10	-	-	-
	Ø20	16.10	50.51	30.18	-	-	-
90	Ø10	17.94	40.73	24.45	4.60	62.80	41.27
	Ø14	17.55	39.31	24.22	5.20	60.10	39.97
	Ø20	18.19	35.00	23.24	5.30	56.70	38.06

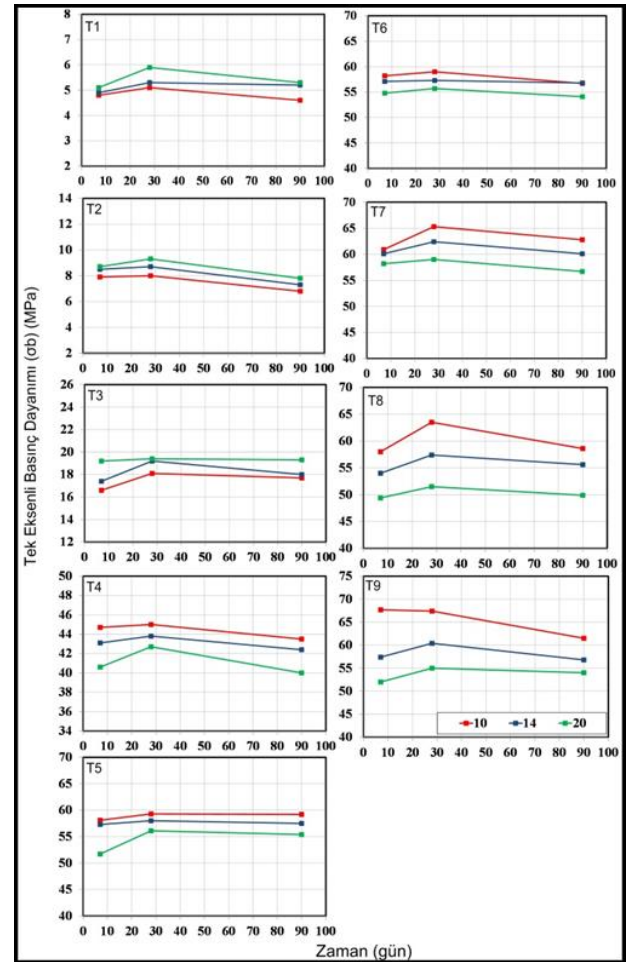


Şekil 3: Ø10, Ø14 veya Ø20 donatı bulunan donatılı kuru betonların görünür özdirençlerinin zamana bağlı değişimi.

Donatılı kuru betonların tek eksenli basınç dayanım değerlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4'te sunulmuştur. Düşük dayanımlı betonların dayanım sonuçları genel olarak

4.8-20 MPa aralığında iken yüksek dayanımlı betonlarda 40-68 MPa arasında değişmektedir. Düşük dayanımlı betonlarda donatı çapı arttıkça beton dayanımı artarken yüksek dayanımlı betonlarda azalmaktadır. Bunun sebebi yüksek dayanımlı betonlar içindeki donatının çapı arttıkça daha fazla iç gerilme oluşturmamasından kaynaklı olabilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde düşük dayanımlı betonlarda görünür özdirenç değerleri, yüksek değerler ve saçılmış veriler göz ardı edildiğinde (22-48 kΩcm) vermiştir. Buna karşın yüksek dayanımlı betonlarda elde edilen görünür özdirenç değerleri (15-28 kΩcm) aralığındadır. Yüksek dayanımlı numunelerin görünür özdirenç değerleri birbirlerine daha yakın çıkmıştır. Bu durum yüksek dayanımlı numunelerde gözeneklerin az olmasından kaynaklanmaktadır. Düşük dayanımlı olan numunelerde gözeneklerin bol ve hava ile doldukça çok daha yüksek görünür özdirenç değerleri elde edilebilmiştir.

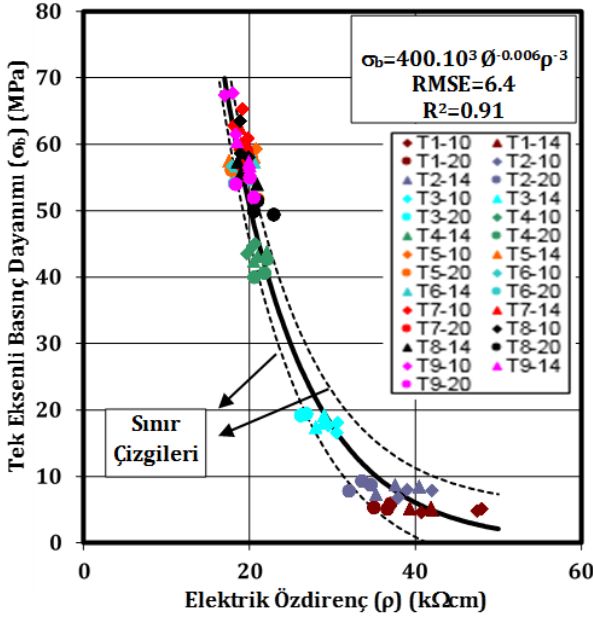


Şekil 4: Ø10, Ø14 veya Ø20 donatı bulunan donatılı kuru betonların tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

Hava küründeki donatılı numunelerin görünür özdirenç değişimlerine bağlı olarak Tek Eksenli basınç dayanımları Şekil 5'te RMSE hata oranından elde edilen sınır çizgileri göz önünde bulundurularak sunulmuştur. Bu değişimler gösterilirken her bir tasarımdaki farklı çaplardaki donatılı numuneler aynı renklerde ve ayrı ayrı şekillerde gösterilmiştir. Buna göre hava küründeki numunelerin görünür özdirenç ve dayanımları arasında negatif yönde üstel bir ilişki olduğu

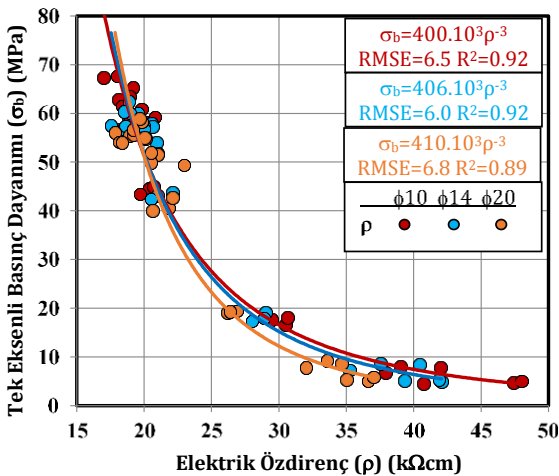
gözlendi. Sınır çizgileri arasındaki sonuçlar göz önünde bulundurularak yapılan değerlendirilmede ilişki katsayısı 0.96 olarak elde edilmiştir. Donatı çapı (ϕ) ayrımı yapılmaksızın hava küründe bekletilen kuru haldeki küp numunelerde görünür özdirenç ve basınç dayanımı arasındaki genel bağıntı aşağıda ilişki katsayısı (R^2) 0.91 ve karekök ortalama hata (RMSE) 6.4 olarak sunulmuştur.

$$\sigma_b = \frac{400000}{\phi^{0.006} \rho^3} \quad (1)$$



Şekil 5: Donatılı kuru betonların tek eksenli basınç dayanımları ve görünür özdirençleri arasındaki donatı çapına bağlı ilişki.

Numunelerin görünür özdirençlerinin artmasıyla basınç dayanımları üstel olarak azalmaktadır. İlişkilendirmede ilişki katsayıları $R^2=0.89-0.92$ aralığında elde edilmiştir. Bu durum aynı tasarım için hazırlanan ve içerisinde 10, 14 veya 20 mm çapında donatı demiri bulunduran numunelerde görünür özdirenç nasıl etkilendiğini ortaya koyabilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: Ø10, Ø14 veya Ø20 donatı bulunan donatılı kuru betonların Tek Eksenli Basınç dayanımları ve görünür özdirençleri arasındaki ayrı ayrı ilişkilendirmelerin gösterimi.

Aynı dayanım özellikleri gösteren numunelerden içerisindeki donatı çapının büyümesi görünür özdirenç azaltmaktadır. Düşük dayanımlı numunelerdeki donatı çapı ayrımı daha net ortaya konulabilirken; yüksek dayanımlı numunelerde çap ayrımını yapmak oldukça güçleşmektedir. Bu durum gözenek miktarlarının ve dolayısıyla su/çimento oranının azalmasına bağlı olarak donatı etkisinin daha az gözlenebilmesinden kaynaklanmaktadır.

Yapılan çalışmada farklı dayanımlardaki bütün numunelerden donatı çaplarına bağlı olarak elde edilen bağıntılar Ø10 için $R^2=0.92$ ve $RMSE=6.5$, Ø14 için $R^2 = 0.92$ ve $RMSE = 6.0$ ve Ø20 için ise $R^2=0.89$ ve $RMSE = 6.8$ sırasıyla aşağıda verilmiştir;

$$\sigma_{b10} = \frac{400000}{\rho^3} \quad (2)$$

$$\sigma_{b14} = \frac{406000}{\rho^3} \quad (3)$$

$$\sigma_{b20} = \frac{410000}{\rho^3} \quad (4)$$

Buna göre 50 MPa civarında donatı çapı ayrımının yapılamadığı; ancak bu değerden yüksek veya düşük olması durumunda çap ayrımının yapılabildiği gözlenmiştir. 50 MPa'dan düşük değerlerde donatı çapı arttıkça görünür özdirenç değerleri azalırken; 50 MPa'dan yüksek değerlerde donatı çapı arttıkça görünür özdirenç değerleri de artmaktadır.

5 Sonuçlar

Su kürüne maruz bırakılan donatısız [37]-[39] ve donatılı beton numunelerin zamana bağlı olarak tek eksenli basınç dayanımları arttığı belirtilmektedir [15],[40]. Ancak bu çalışmada hava kürüne maruz bırakılan donatılı betonların tek eksenli basınç dayanımlarının zamana ve donatı çapına bağlı olarak değişimi zayıf betonlarda %3-9 arasında azalmı gösterirken sağlam ve çok sağlam betonlarda hava kürü etkisi yok denecek kadar az (yaklaşık %1) elde edilmiştir. Kür koşulları aynı zamanda görünür özdirenç üzerinde de etkilidir. Bu etki sebebi ile hava küründeki numunelerin beton basınç dayanımları ile görünür özdirenç değerleri arasında ters ilişki olduğu belirlenmiştir.

Hava küründe 40 MPa altındaki donatılı betonlarda aynı dayanıma sahip betonların donatı çapı arttıkça görünür özdirenç değerinin azaldığı, 40-60 MPa arasında görünür özdirenç değerinin yaklaşık aynı seviyede kaldığı ve 60 MPa üzerindeki betonlarda ise görünür özdirenç değerinin arttığı görülmüştür.

Yapılan çalışmada kullanılan kuru haldeki numunelerin görünür özdirenç sonuçları numuneler içerisindeki gözenek miktarlarındaki artışa bağlı olarak yüksek çıkmıştır. Bu durum aynı tasarım için hazırlanan ve içerisinde 10, 14 veya 20 mm çapında donatı demiri bulunduran numunelerde görünür özdirençin kür koşullarından nasıl etkilendiği ortaya konulabilmiştir. Numunelerde gözeneklerin hava dolgusundan dolayı sağlamdan zayıf betona doğru görünür özdirenç değerinin arttığı görülmektedir. Dolayısıyla betonun kür koşulları bilinmeden görünür özdirenç değerine göre beton dayanımını belirlemek hatalı olacaktır.

Oluşturulan kolon ya da kiriş türü betonarme yapılarda elektrik özdirenç yöntemi ile 2 ya da 3 boyutlu çalışmalar yapılarak görüntüleme çalışmaları yapmak ileriki çalışmalar açısından önerilmektedir.

6 Teşekkür

Bu çalışmaya eleştirileri ile katkı koyan değerli hakemlere ve yayın kuruluna teşekkür ederiz. Bu çalışma SDÜ/ÖYP05277-DR-14 No'lu proje tarafından desteklenmiştir.

7 Kaynaklar

- [1] Uyanık O. *Klasik ve Jeofizik Yöntemlerle Yapı İncelemeleri (Yapı Jeofiziği)*. Birinci Baskı. Ankara, Türkiye, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları, 2014.
- [2] Candansayar ME, Ulugergerli EU, Batmunkh D, Tosun S, Gündoğdu B. "Doğru akım öz direnç verilerininin 2-B ters çözümü ve iki yönlü gradyen dönüşümü ile arkeolojik yapıların aranması: Moğolistan'daki Türk anıtları etrafında yapılan jeofizik çalışmalar". *Jeofizik Dergisi*, 15, 105-123, 2001.
- [3] Drahor MG, Berge MA, Kurtulmus TÖ, Hartmann M, Speidel MA, "Magnetic and electrical resistivity tomography investigations in a Roman legionary camp site (Legio IV Scythica) in Zeugma, Southeastern Anatolia, Turkey". *Archaeological Prospection*, 15(3), 159-186, 2008.
- [4] Ekinci YL, Kaya MA, Başaran C, Kasapoğlu H, Demirci A, Durgut C. "Geophysical imaging survey in the south necropolis at the ancient city of Parion (Kemer-Biga), Northwestern Anatolia, Turkey: Preliminary Results". *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 12(2), 145-157, 2012.
- [5] Ekinci YL, Balkaya Ç, Şeren A, Kaya MA, Lightfoot C. "Geomagnetic and geoelectrical prospection for buried archaeological remains on the upper city of Amorium, a Byzantine City in Midwestern Anatolia, Turkey". *Journal of Geophysics and Engineering*, 11(015012), 1-17, 2014.
- [6] Kadioğlu S, Kadioğlu YK. "Picturing internal fractures of historical statues using ground penetrating radar method". *Advances in Geosciences*, 24, 23-34, 2010.
- [7] Feliu S, Gonzalez JA, Andrade C. "Electrochemical Methods For on Site Determinations of Corrosion Rates of Rebars, Techniques to Assess The Corrosion Activity of Steel Reinforced Concrete Structures". USA, American Society for Testing and Materials 1276, 107-118, 1996.
- [8] Lataste JF, Breyse D, Sirieix C, Frappa M, Bournazel JP. "Cracking of reinforced concrete structures: investigation by means of electrical resistivity measurements". *Bulletin Des Laboratoires Des Ponts et Chaussees*, 239, 79-91, 2002.
- [9] Güneyisi E, Özturan T, Gesoğlu M. "A study on reinforcement corrosion and related properties of plain and blended cement concretes under different curing conditions". *Cement and Concrete Composites*, 27, 449-461, 2005.
- [10] Ferreira RM, Jalali S. "Quality control based on electrical resistivity measurements". In: *proceedings of The European Symposium On Service Life and Serviceability of The Concrete Structures*, Helsinki, Finland, 12-14 June 2006.
- [11] Silva PC, Ferreira RM, Figueiras H. "Performance based evaluation and indicators for concrete durability". *Proceedings of the International RILEM Workshop*, Prague, Czech Republic, 10-14 July 2006.
- [12] Sadowski L. "New non-destructive method for linear polarization resistance corrosion rate measurement". *Wroclaw University of Technology Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 10(2), 109-116, 2010.
- [13] Plooy RD, Lopes SP, Villain G, Derobert X. "Development of a multi-ring resistivity cell and multi-electrode resistivity probe for investigation of cover concrete condition". *Non Destructive Technique and Evaluation International*, 54, 27-36, 2013.
- [14] Ghosh P, Tran Q. "Influence of parameters on surface resistivity of concrete". *Cement and Concrete Composites*, 62, 134-145, 2015.
- [15] Sabbağ N. Beton Kalitesinin Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2016.
- [16] Uyanık O, Sabbağ N. "Beton Kalitesinin Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi". Süleyman Demirel Üniversitesi Öğretim Üyesi Projeleri Koordinasyon Birimi Komisyonu (ÖYP) Doktora Projesi Raporu, Isparta, Türkiye, ÖYP05277-DR-14, 2016.
- [17] Morris W, Moreno EI, Sagüés AA. "Practical evaluation of resistivity of concrete in test cylinders using a wenner array probe". *Cement and Concrete Research*, 26(12), 1779-1787, 1996.
- [18] Layssi H, Ghods P, Alizadeh AR, Salehi M. "Electrical resistivity of concrete". *Concrete International*, 37(5), 41-46, 2015.
- [19] Morris W, Vico A, Vazquez M, Sanchez SR. "Corrosion of reinforcing steel evaluated by means of concrete resistivity measurement". *Corrosion Science*, 44, 81-99, 2002.
- [20] Polder RB. "Critical chloride content for reinforced concrete and its relationship to concrete resistivity". *Materials and Corrosion*, 60(8), 623-630, 2009.
- [21] Ramezani-pour AA, Pilvar A, Mahdikhani M, Moodi F. "Practical evaluation of relationship between concrete resistivity, water penetration, rapid chloride penetration and compressive strength". *Construction and Building Materials*, 25, 2472-2479, 2011.
- [22] Garzon AJ, Sanchez J, Andrade C, Rebollo N, Menéndez E, Fulla J. "Modification of four point method to measure the concrete electrical resistivity in presence of reinforcing bars". *Cement and Concrete Composites*, 53, 249-257, 2014.
- [23] Chu HY, Chen JK. "An experimental study on the correlation of resistivity and damage for conductive concrete". *Cement and Concrete Composites*, 67, 12-19, 2016.
- [24] Sabbağ N, Uyanık O. "Time-dependent change of seismic velocities on low-strength concrete". *The Online Journal of Science and Technology*, 6(4), 49-57, 2016a.
- [25] Sabbağ N, Uyanık O. "Change of electrical resistivity depending on water saturation of the concrete samples". *European Geosciences Union Conference*, Viyana, Avusturya, 17-22 April 2016b.
- [26] Köse H, Kahraman B. *Kaya Mekaniği*. 3. Baskı. İzmir, Türkiye, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 1999.
- [27] Erdoğan TY. *Beton*. 3. Baskı. Ankara, Türkiye, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları, 2010.
- [28] Felekoğlu B, Türkel S. "Effect of upload speed to concrete compressive strength and modulus of elasticity". *Journal of Science and Engineering*, 6(1), 65-75, 2004.
- [29] Türk Standartları Enstitüsü. "Testing Hardened Concrete-Part 3: Compressive Strength of Test Specimens". TS EN 12390-3, Ankara, Türkiye, 2002.

- [30] Lim DTY, Divsholi BS, Xu D, Teng S. "Evaluation of high performance concrete using electrical resistivity technique". *36th Conference on Our World in Concrete and Structures*, Singapore, 14-16 August 2011.
- [31] Candansayar ME. "Yapı Jeofiziğinde Kullanılan Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler". Birinci baskı. Kocaeli, Türkiye, Jeofizikte Hasarsız Yapı İnceleme Çalıştayı Jeofizik Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi Yayını, 96-103, 2015.
- [32] Building Research Establishment. "Quality Control: The Production of Recycled Aggregates". London, England, 392, 2000.
- [33] Simon TK, Vass V. "The electrical resistivity of concrete". *Concrete Structures*, 61-65, 2012.
- [34] Silva PC, Ferreira RM, Figueiras H. "Electrical resistivity as a means of quality control of concrete, influence of test procedure". *12th International Conference on Durability of Building Materials and Component:Conference Proceedings*, Porto, Portugal, 12-15 April 2011.
- [35] Şengül Ö, Taşdemir MA, Gjørv OE. "Effect of pozzolanic materials on mechanical properties of concrete and diffusion of chloride ion". *Istanbul Technique University, Journal of Engineering*, 6(1), 53-64, 2007.
- [36] Sabbağ N, Uyanık O. "Relationship between change of water content and electrical resistivity method in the concrete". *International Conference on Engineering and Natural Science*, Bosnahersek, Saraybosna, 24-28 May 2016c.
- [37] Martin J, Forde MC. "Influence of concrete properties on impulse hammer spectrum and compression wave velocity". *Construction and Building Materials*, 9(4), 245-255, 1995.
- [38] Demirboğa R, Türkmen İ, Karakoç MB. "Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixtured concrete". *Cement and Concrete Research*, 34, 2329-2336, 2004.
- [39] Soykan O, Özel C. "Polimer betonlarda kür süresinin fiziksel ve mekaniksel özelliklere etkisi". *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 35(2), 33-41, 2014.
- [40] Sabbağ N, Uyanık O. "Prediction of reinforced concrete strength by ultrasonic velocities". *Journal of Applied Geophysics*, 141, 13-23, 2017.