



Erken Yaşta Basınç Yükü Altında Önyüklemenin Betonun Mekanik Özellikleri ve Geçirimsizliğine Etkisi

Effect of Premature Compressive Loading on the Mechanical and Transport Properties of Concrete

Furkan Kunduzcu ¹, Oktay Dutar ¹, Murat Tuyan ^{2*}, Kambiz Ramyar ¹

¹ Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

² İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: murat.tuyan@idu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 05.12.2018

DOI:10.21205/deufmd.2019216219

Kabul Tarihi / Accepted: 15.02.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/How to cite: KUNDUZCU, F., DUTAR, O., TUYAN, M., RAMYAR, K. (2019). Erken Yaşta Basınç Yükü Altında Önyüklemenin Betonun Mekanik Özellikleri ve Geçirimsizliğine Etkisi. DEUFMD, 21(62), 545-557.

Öz

Bu çalışmada, erken yaşta basınç yükü altında önyüklemenin betonun mekanik özellikleri ve geçirimsizliğine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, iki farklı maksimum tane boyutuna (D_{max}) sahip agregası (16 mm ve 22.4 mm) içeren beton karışımı oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında bir günlük numunelere basınç dayanımlarının %90'ı mertebesinde önyükleme yapılmıştır. Havada ve suda olmak üzere iki farklı koşulda kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, dinamik ve statik elastisite modülü, ağırlıkça su emme oranı ve kılcal yolla su emme oranları kontrol numuneleri ile kıyaslamalı olarak incelenmiştir. 2, 7, 28 ve 56 günlük numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde, önyüklemenin, 22.4 mm D_{max} 'a sahip hava kürüne tabi tutulan numuneler hariç, olumsuz bir etkisinin olmadığı hatta önyükleme yapılan numunelerin, kontrol numunelerinin dayanımlarına göre %4'e kadar daha fazla dayanım gösterdiği bulunmuştur. Ön yüklem yapılan 7 ve 28 günlük numunelerin dinamik ve statik elastisite modülünün kontrol numunesine yakın olduğu görülmüştür. 7 günlük numunelerde önyüklemenin su emme değerini, kontrol betonuna göre %6-7 mertebesinde azalttığı, fakat 28 günlük numunelerde bu farkın kapandığı belirlenmiştir. Önyükleme yapılan ve özellikle havada bekletilen numunelerin kılcal yolla daha fazla su emdiği görülmüştür. Önyükleme yapılan bir günlük numunelerin, yüklemmeden önce ve sonra ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. Yüklemmeden sonra hızlarda düşüş görülmüştür; bu da önyüklemenin betonda bazı mikroçatlaklara neden olduğunu göstermiştir. Ancak, ileri yaşlarda önyükleme yapılan ve kontrol numunelerinin ultrases geçiş hızları yakın değerler almıştır. Önyükleme sonucu oluşan hasarın zaman içinde çimentonun hidrasyonu ile onarıldığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Önyükleme, basınç dayanımı, elastisite modülü, ultrases geçiş hızı, kapiler yolla su emme, su emme

Abstract

In this study, the effect of premature compressive loading on the mechanical and water transport properties of concrete was investigated. For this purpose, concrete mixtures having 16 mm and 22.4 mm maximum aggregate particle sizes (D_{max}) were prepared. 1-day concrete specimens were subjected to an axial compressive stress corresponding to 90% of their compressive strength. The compressive strength, ultrasound pulse velocity, dynamic and static modulus of elasticity, water

absorption, and sorptivity of either laboratory air-dried or moist-cured concrete specimens were determined. Test results revealed that, except for the air-dried specimens having D_{max} of 22.4 mm, the premature loading did not have any adverse effect on the 2-, 7-, 28- and 56-day compressive strength of concrete. Even, the preloaded specimens showed up to 4% higher compressive strength than the control specimens. Besides, the dynamic and static modulus of elasticity of the concrete mixtures did not change significantly upon premature loading. The water absorption of the preloaded 7-day concrete specimens was 6-7% lower than that of the control specimens. However, this difference was diminished in 28-day specimens. Moreover, the preloaded air-dried specimens showed higher sorptivity than the control specimens. Ultrasound pulse velocity (UPV) measurements were taken on 1-day age specimens immediately before and after application of preloading. The reduction in UPV values upon preloading indicated the presence of some microcracks (damage) in concrete specimens. At later ages, the difference between the UPV values of the control and test specimens reduced. This was attributed to the self-healing provided by the prolonged hydration of cement.

Keywords: Premature loading, compressive strength, modulus of elasticity, ultrasound pulse velocity, capillary absorption, water absorption

1. Giriş

Betonun göçmesi, hacimsel şekil değiştirme süresince absorbe edilen kayma şekil değiştirme enerjisine bağlıdır. Çatlama, çimento hamuru veya agrega-matris ara yüzeyinin göçmesi ve bazı durumlarda agreganın kırılması ile başlamaktadır [1]. Agrega ve matrisin özellikleri farklı olduğundan betona herhangi bir yük uygulanmadan bile ara yüzeyde bazı mikroçatlakların oluşması kaçınılmazdır [2]. Eksenel yük altında ise, betonda yükleme yönüne paralel ilave çatlaklar oluşabilmektedir. Eksenel yük altında dayanımın %30-%70 aralığındaki gerilmelerde çatlak yayılımı başlamaktadır. Ara yüzeyde oluşan çatlaklar, dayanımın %70-%90 seviyesine vardığında matrise doğru yayılmaktadır [3]. Basınç dayanımının %50-%70'i seviyesindeki gerilme altında, genelde ara yüzeyde oluşan mikroçatlaklar kararlı özelliktedir. Ancak, gerilme, dayanımının %80-%95'ine ulaştığında çatlaklar kararsız hale gelmektedir [4]. Basınç mukavemetinin %60-90'ında ara yüzey çatlaklarının ucunda harç çatlakları gelişip, birbiriyle köprü kurmaktadır. Tek eksenli basınçta harç çatlakları basınç mukavemetinin yaklaşık %90'ında oluşmaktadır. Çatlaklar basınç yüklemesine paralel doğrultuda gelişmektedir [5]. Tek eksenli basınca maruz kalmış numune içinde uygulanan yüke paralel çatlaklar basınç mukavemetinin %50-75'ine eşit yük altında başlamaktadır. Bu sonuca beton içinden geçirilen sesin hızı ölçülerek verilmektedir [6]. Zaitsev ve Witmann [7], normal betonlarda maksimum yükteki şekil değiştiriminin %70'inde çatlak ağının oluşmaya başladığını, yüksek mukavemetli betonlarda ise maksimum gerilmeye tekabül eden şekil

değiştirmenin %90'ına kadar belirgin çatlak oluşmadığını belirtmişlerdir.

Daha önce yapılan çalışmalardan, önyükleme etkisi ile aşırı yıpranmamış beton numunelerin su kürü ile kendini onardığı ve kontrol numunelerine eşit dayanım verdiği bilinmektedir [8]. Betonun ilk olarak kendini iyileştirmesi, bir karayolu köprüsünde var olan çatlakların 3 yıl sonra kaybolmasıyla fark edilmiştir [9].

Erken yaşta önyükleme yapılan beton numunelerde dayanım gelişimi incelenen bir çalışmada, puzolanik portland çimentosu ve kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. İki farklı su/çimento oranında (0.5 ve 0.7) beton karışımları hazırlanmış ve tüm numuneler suda kürlenmiştir. Beton döküldükten 8, 16, 24 ve 72 saat sonra numuneler dayanımlarının %60, %75, %90 ve %100'ü oranında önyüklemeye tabi tutulmuştur. Önyüklemeye tabi tutulan betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Dökümden 16, 24 ve 72 saat sonra %90 dayanım seviyesine kadar önyükleme yapılan numunelerin ileri yaştaki basınç dayanımlarında bir düşüş gözlemlenmemiştir. Ancak, %100 önyükleme yapılan beton numunelerinde farklı önyükleme sürelerine bağlı olarak %10 ile %50 arasında dayanım kaybı meydana gelmiştir [10].

Basınç yükü altında önyükleme, sıcaklık gibi çimentonun hidrasyon reaksiyonlarını etkilemektedir. Betonda her zaman belirli bir hidrate olmamış çimento bulunduğundan, basınç etkisiyle bu tanelerin su ile reaksiyona girmesi çimentonun hidrasyon hızını arttırmaktadır [11].

Yapılan bir çalışmada uzun süre iki eksenli önyüklemeye maruz bırakılan silindir ile sıkıştırılmış beton numunelerin basınç dayanımı belirlenmiştir. Çalışmada üretilen betonlarda üç farklı tane boyutunda iri agrega kullanılmıştır. 28 gün boyunca nihai dayanımının %30'u kadar iki eksenli sünme etkisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımı, kontrol numunelerine göre yaklaşık iki kat fazla çıkmıştır. Bu sonuç iki eksenli yükleme altında çimentonun hidrasyonunun artmasıyla açıklanmıştır. Bunun yanında, nihai dayanımın %30 ve %60'ı kadar tek eksenli sünme yapılan numunelerde sünme deneyi yapılmayan numunelere göre basınç dayanımı benzer çıkmıştır [12].

İnşaat işlerinde yer yer erken kalıp sökme veya hızlı imalat yapma gibi nedenlerden beton yeterli dayanım kazanmadan kendi ağırlığını taşımaya zorlanmakta veya dış yüklere maruz kalabilmektedir. Erken yaşta uygulanan önyüklemenin beton özelliklerine etkisi yukarıda belirtilen eserlerde incelenmiştir. Ancak, literatürde önyüklemenin, betonun elastisite modülü ve geçirimsizlik özelliklerine etkisini araştıran bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada erken önyüklemenin betonun basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, elastisite modülü, su emme kapasitesi ve kapiler su emme özelliklerine etkisi, havada ve suda olmak üzere iki farklı kür koşulunda incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan malzemeler

Çalışma kapsamında, üreticisi tarafından belirlenen özellikleri Çizelge 1'de sunulan, CEM I 42.5R tipi çimento kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal bileşenler	(%)
SiO ₂	19.03
Al ₂ O ₃	4.08
Fe ₂ O ₃	3.42
CaO	64.84
MgO	1.48
Na ₂ O	0.28
K ₂ O	0.63
SO ₃	3.10
Cl-	0.005
Kızdırma kaybı	1.37
Özgül ağırlık	3.14
Özgül yüzey (cm ² /g)	3900
0.090 mm elek üstü (%)	0.2
0.045 mm elek üstü (%)	11.4
0.032 mm elek üstü (%)	20.7

Deneysel çalışmada, 0/5 mm, 5/15 mm ve 15/25 mm tane boyutuna sahip kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Agregalara ait elek analizi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 0/5 mm, 5/15 mm ve 15/25 mm kireçtaşı agregalarının elek analizi sonuçları

Elek göz açıklığı (mm)	Elekten geçen (%)		
	0/5 mm	5/15 mm	15/25 mm
22.4	100	100	99.8
16	100	99.8	40.9
8	100	59.3	4.4
4	99.5	3.8	2.7
2	71.6	3.2	2.1
1	45.7	2.4	1.8
0.5	28.5	0	0
0.25	19.7	0	0
0.125	13.0	0	0

Agregaların TS EN 1097-6 [13] standardına göre belirlenen tane yoğunluğu ve su emme kapasitesi Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kullanılan kireçtaşı agregalarının su emme oranı ve özgül ağırlığı

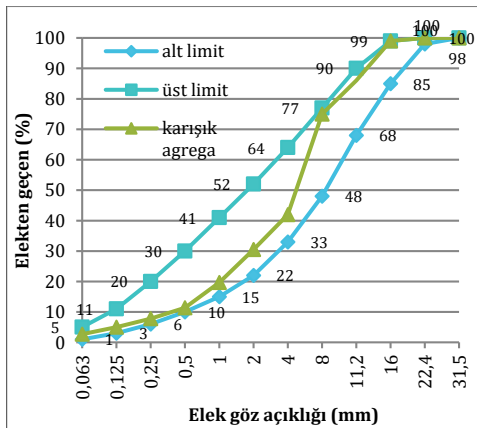
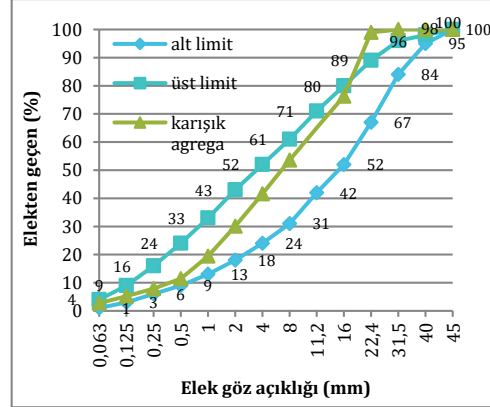
Özellik	Su emme oranı (%)	Kuru yüzey doygun özgül ağırlığı (%)	Kuru özgül ağırlığı (%)
0/5 mm	0.70	2.65	2.64
5/15 mm	0.40	2.69	2.68
15/25 mm	0.38	2.69	2.68

Bu çalışma kapsamında maksimum tane boyutu (D_{max}) 16 mm ve 22.4 mm olmak üzere iki farklı karışık agrega kullanılmıştır. Çizelge 4'te iki farklı D_{max} 'a sahip karışık agregada kullanılan agrega oranları verilmiştir.

Çizelge 4. Karışımlarda kullanılan agrega oranları

Agrega	0/5 mm (%)	5/15 mm (%)	15/25 mm (%)
D_{max} 16 mm	40	60	-
D_{max} 22.4 mm	40	20	40

Karışık agrega gradasyonları belirlenirken TS 802 [14] standardındaki D_{max} 16 mm ve D_{max} 22.4 mm için önerilen sınır değerleri dikkate alınmıştır. Karışık agregalara ait granülometre eğrileri ve standart sınırları Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.


Şekil 1. Karışık agreganın granülometre eğrisi (D_{max} : 16 mm)

Şekil 2. Karışık agreganın granülometre eğrisi (D_{max} : 22.4 mm)

Deneysel çalışmada naftalin formaldehit sülfonat esaslı yüksek oranda su azaltıcı sıvı formda bir kimyasal katkı kullanılmıştır.

2.2. Karışım oranları

TS 802 [14] standardında belirtilen esaslara göre hazırlanan, beton karışımlarında dikkate alınan özellikler Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Çalışmada kullanılan betonun özellikleri

Özellik	D_{max} = 16 mm	D_{max} = 22.4 mm
Su/çimento oranı	0.5	0.5
Çökme	16±2 cm	16±2 cm
Hava içeriği	%2.2	%1.8

Hazırlanan karışımların ölçülen birim hacim ağırlıklarına göre düzeltilen karışım oranları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Düzeltilmiş beton karışım oranları (kg/m³)

Malzeme	D _{max} 22.4 mm	D _{max} 16 mm
Çimento	388.2	388.4
Su	194.1	194.2
DYK 0/5 mm agrega	732.5	728.7
DYK 5/15 mm agrega	366.2	1092.9
DYK 15/25 mm agrega	732.5	-
Su azaltıcı katkı	6.4	5.8
Toplam	2420	2410

*DYK = Doygun yüzey kurusu

2.3. Karışımların hazırlanması

Beton karışımları hazırlanırken mikserin içerisine önce agregalar, sonra da çimento eklenip karışım öncelikle kuru halde 1 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra mikser dönmeye devam ederken bir yandan su yavaş yavaş eklenmiş, bir yandan da karışımın kıvamı gözlemlenmiştir. Akışkanlaştırıcı katkı karışım suyunun %70'i miksera ilave edildikten sonra geri kalan suyun içerisinde çözülerek eklenmiştir. Daha sonra taze beton, boyutları 100x200 mm silindir ve 150 mm ayrıtlı küp kalıplara yerleştirilmiştir. Numuneler 23±2°C sıcaklığa ve %90'ın üzerinde bağıl neme sahip kür odasında 24 saat bekletilmiş, daha sonra kalıplar sökülüştür. Kalıptan çıkarılan silindir numunelerin başlık kısımlarındaki pürüzlü yüzeyleri, 220 saniye zımparalanarak pürüzsüz hale getirilmiştir. Karışımların 1 günlük ortalama dayanımları belirlenmiştir. Gerekli numunelerin ultrases geçiş hızı belirlendikten sonra, 1 günlük dayanımın %90'ı kadar yük uygulanmıştır. Önyüklemeye tabi tutulan numunelerin tekrar ultrases geçiş hızı saptanmıştır. Daha sonra numunelerin yarısı havada yarısı ise suda küre bırakılmıştır.

2.4. Deney yöntemleri

Çalışma kapsamında önyüklemenin betonun mekanik özellikleri ve geçirimliliğine etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen deneyler şu

şekildedir: Taze beton numunelerin birim hacim ağırlığı TS EN 12350-6 [15] standardına göre belirlenmiştir. Ayrıca, taze beton numuneleri üzerinde çökme deneyi TS EN 12350-2 [16] standardına göre gerçekleştirilmiştir. TS EN 12390-3 [17] standardına uygun olarak 100x200 mm boyutlarındaki silindir beton numunesi üzerinde basınç deneyi yapılmıştır. Statik elastisite modülü tayininde 100x200 mm boyutlarında silindir beton numunesi kullanılmıştır. Beton numunelerin elastisite modülü sekant yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Deneyde yük kontrollü hidrolik pres kullanılmıştır. Uygulanan yük değerleri ise 500 kN kapasiteli yük hücresi ile belirlenmiştir. Numunede meydana gelen deformasyon ise her numune için üç adet gerinim sensörlü birim deformasyon ölçer ile belirlenmiştir. Yük ve deformasyon değerleri saniyede iki veri alacak şekilde veri toplama cihazı ile bilgisayara kaydedilmiştir. Beton numunelerin elastisite modülü gerilme-birim deformasyon eğrisinin sıfır noktası ile numunenin basınç dayanımının %40'ına eşit bir gerilme değeri arasındaki doğrunun eğimi olarak hesaplanmıştır. Beton numuneler üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı tayini deneyi ASTM C597 [18] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Betonların su emme oranı, 150 mm ayrıtlı küp numuneler üzerinde ASTM C642 [19] standardına uygun olarak belirlenmiştir. Kapiler yolla su emme tayini 100 mm ayrıtlı küp beton numuneler üzerinde ASTM C1585 [20] standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Numuneler deneye tabi tutulmadan önce 3 gün boyunca 50°C sıcaklıkta bırakılmıştır. Daha sonra ortam sıcaklığına gelen numuneler üzerinde deney gerçekleştirilmiştir. Önyükleme yapılan numuneler yükleme yönünde deneye tabi tutulmuştur. Böylece önyükleme etkisi ile oluşan mikroçatlakların deney sonuçlarına daha bariz bir şekilde etkisi sağlanmıştır. Betonların dinamik elastisite modülleri ultrasonik yöntemle belirlenmiştir [21]. Dinamik elastisite modülü hesaplanmasında:

$$E_d = \frac{V^2 n(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} (10^{-6}) \quad (1)$$

eşitliği kullanılmıştır.

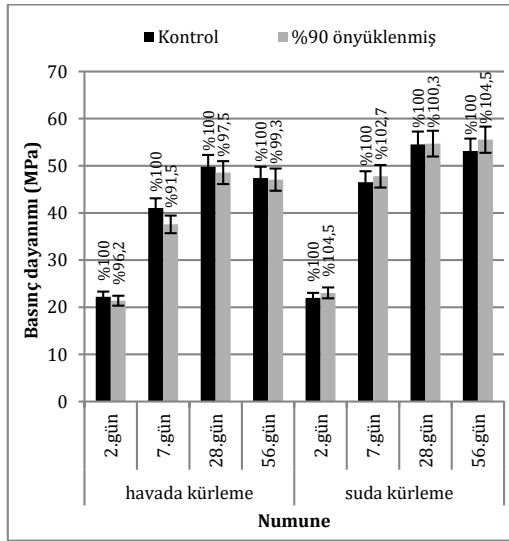
Burada;

E_d = Dinamik elastisite modülünü, (MPa), V = Puls hızını, (m/saniye), n = Doygun kuru yüzey ağırlığını, (kg), μ = Poisson oranını, (hesaplarda $\mu = 0.2$ alınmıştır) ifade etmektedir.

Makalede sunulan çeşitli özelliklere ait değerler en az üç numuneden alınan verilerin ortalamasıdır.

3. Bulgular ve Tartışma

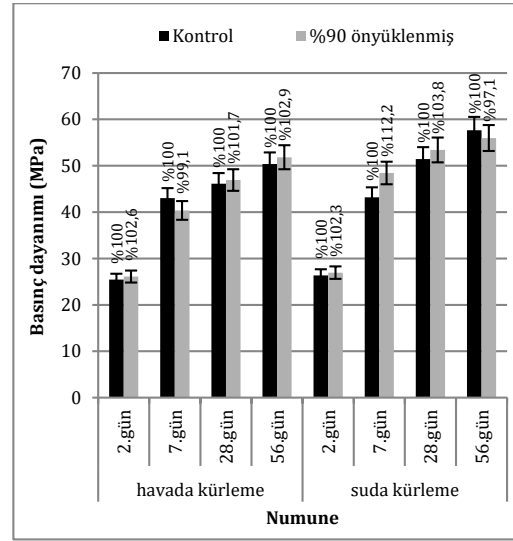
Çalışma kapsamında üretilen 100×200 mm silindirik beton numunelerin 2, 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımları ve önyükleme yapılan numunelerin kontrol numunelere göre bağlı dayanımları Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir. 22.4 mm D_{max} 'a sahip beton silindirik numunelerin basınç dayanımları Şekil 3'te verilmiştir. Şekle göre; önyükleme yapılan numuneler hava küründe tutulduğunda 2. günün sonunda kontrol numunelerine göre yaklaşık %4 mertebesinde daha düşük dayanım verdiği gözlemlenmiştir. Kontrol ile önyüklenmiş numuneler arasındaki dayanım farkı, kür süresi arttıkça azalmış ve 56. günde %1'den daha az olmuştur. Su küründe tutulan numunelere bakıldığında; önyükleme yapılan 2 günlük numuneler kontrol numunelerine göre %4.5'lik daha fazla dayanım göstermiştir. 28 gün kürlenmiş numunelerde eşit dayanım gözlemlenmiş olup 56. günün sonunda önyükleme yapılan numunelerde %4.5 daha fazla dayanım elde edilmiştir.



Şekil 3. 22.4 mm D_{max} 'a sahip silindirik numunelerin basınç dayanımları

16 mm D_{max} 'a sahip beton silindirik numunelerin basınç dayanımları Şekil 4'te verilmiştir. Şekle göre; önyükleme yapılan numuneler hava küründe tutulduğunda, sadece 7. günde kontrol numunelerine göre %1 daha az dayanım göstermiştir. Diğer günlerde ise, önyükleme

yapılan numuneler kontrol numunelerine göre %1-3 arasında daha fazla dayanım verdiği tespit edilmiştir. Su küründe tutulan numunelere bakıldığında; 56 günlük numunelerin dışında önyükleme yapılan numuneler kontrol numunelerinden fazla dayanım göstermiştir. Özetle, kür koşulundan bağımsız olarak (7 gün su kürü hariç) önyükleme yapılan ve yapılmayan numuneler arasındaki dayanım farkı ± 4 aralığında olduğu görülmüştür. Buna göre, erken yaşta betona uygulanan önyüklemenin, numunenin basınç dayanımına olumsuz etkisi olmadığı tespit edilmiştir.



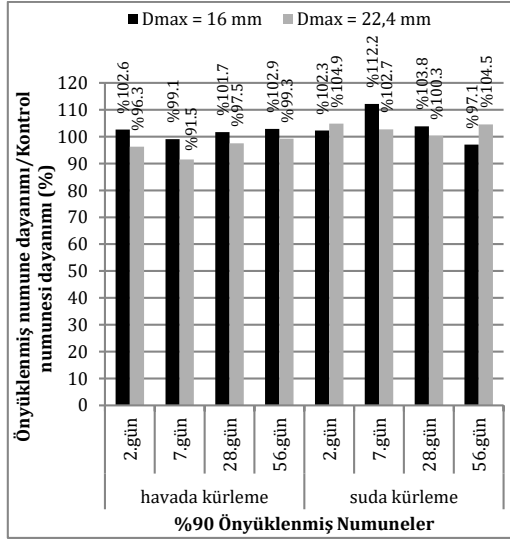
Şekil 4. 16 mm D_{max} 'a sahip silindirik numunelerin basınç dayanımları

Kür koşulunun önyüklenme sonucunda betonlarda elde edilen dayanım sonuçları incelendiğinde, önyüklenmiş betonlarda genel olarak az da olsa su kürünün hava kürüne göre daha olumlu etkisinin olduğu, bu etkinin ileri yaşlarda daha da bariz olduğu görülmektedir.

Farklı D_{max} 'a sahip numunelerde önyüklemenin betonların basınç dayanımına etkisi incelendiğinde ise, genel olarak D_{max} 'ın önyüklenmiş betonların basınç dayanımlarına olumlu ya da olumsuz bir etkisinin olduğu söylenemez. 16 mm ve 22.4 mm D_{max} 'a sahip beton karışımlarında bir kür koşulunda dayanım kontrol numunesine göre yüksek çıkarken, diğer kür koşulunda ise dayanım kontrol numunesinde daha düşük değerler almıştır.

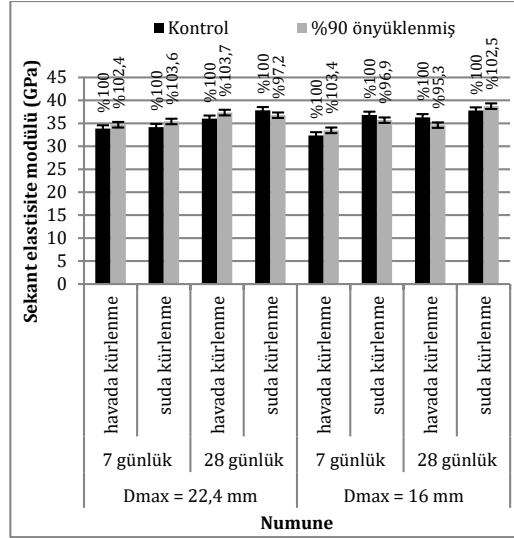
İki farklı D_{max} 'a sahip önyüklenmiş betonların kendi kontrol numunelerine göre bağlı

dayanımı Şekil 5'te verilmiştir. Beton karışımlarında kullanılan agreganın maksimum tane büyüklüğünün, önyüklenmiş numune dayanımı/kontrol numunesi dayanımı oranına kayda değer etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Ancak, 16 mm D_{max} 'a sahip agrega içeren karışımlarda önyüklemenin basınç dayanımını biraz arttırdığı, 22.4 mm D_{max} 'a sahip agrega içeren ve havada kürlen numunelerde ise tersi söz konusu olduğu görülmüştür.



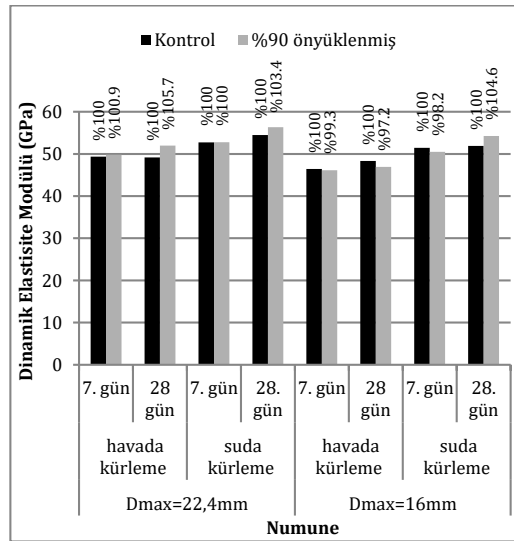
Şekil 5. İki farklı D_{max} için önyükleme yapılan numunelerin dayanım kazanma yüzdelerinin karşılaştırılması

İki farklı maksimum agregata tane büyüklüğüne sahip, havada ve suda kürlen kontrol ve önyüklenmiş beton karışımlarının 7 ve 28 günlük elastisite modülü değerleri ve kontrol numuneleri baz alınarak önyükleme yapılan silindirik numunelerin bağıl sekant elastisite modülleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, önyükleme yapılan ve kontrol betonların sekant elastisite modülleri oldukça yakın değerler almıştır. Bu değerler arasındaki farkın en fazla %5 mertebesinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan sekant elastisite modülünün önyüklemeye veya D_{max} değerinden fazla etkilenmediği, fakat su küründen olumlu etkilendiği anlaşılmıştır.



Şekil 6. Silindirik numunelerin sekant elastisite modülleri

Kontrol ve önyüklenmiş beton karışımların 7 ve 28 günlük dinamik elastisite modülleri ve kontrol numuneleri baz alınarak hesaplanan önyükleme yapılan silindirik numunelerin bağıl dinamik elastisite modülleri Şekil 7'de gösterilmiştir.

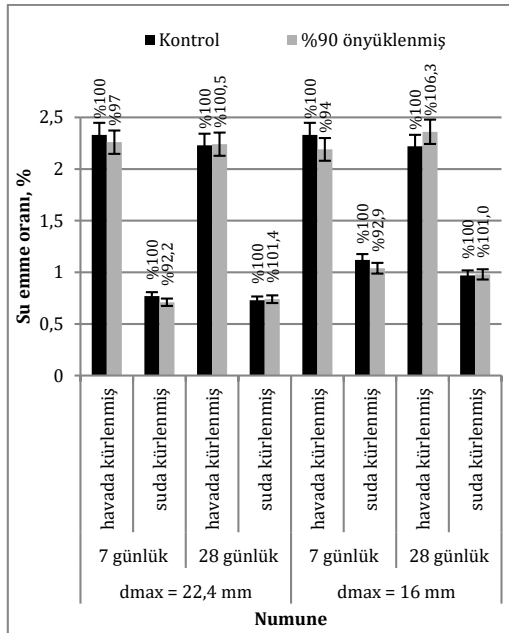


Şekil 7. Silindirik numunelerin dinamik elastisite modülleri

Sonuçlara göre, D_{max} farkından bağımsız olarak su küründe tutulan betonların hava kürüne göre daha yüksek dinamik elastisite modülüne sahip olduğu görülmüştür. D_{max} 'ı 22.4 mm olan betonun dinamik elastisite modülünün 16 mm

D_{max} 'a sahip betondan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Önyükleme yapılmış D_{max} 'ı 22.4 mm olan betonların kontrol betonlarına göre bağıl olarak %5'e kadar daha fazla sonuçlar verdiği görülmüştür. D_{max} 'ı 16 mm olan betonlarda ise önyükleme yapılması (28 günlük su kürü hariç) kontrol numunelerine göre %3 kadar daha az elastisite modülü değerine yol açmıştır.

Kontrol ve önyüklenmiş beton karışımların 7 ve 28 günlük ağırlıkça su emme oranları ve kontrol numuneleri baz alınarak önyükleme yapılan 7 ve 28 günlük küp numunelerin bağıl ağırlıkça su emme oranları Şekil 8'de gösterilmiştir.

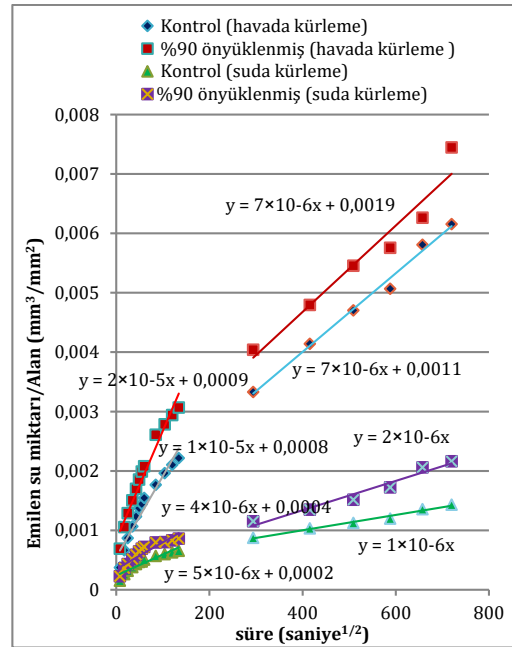


Şekil 8. Beton numunelerin ağırlıkça su emme oranları

Deney sonuçlarından, önyüklemenin 7 günlük su emme değerini kontrol betonuna göre %6-7 mertebesinde azalttığı ancak, bu farkın 28 günlük numunelerde kapandığı görülmektedir. Önyüklemenin, bazı kapiler boşlukların küçülmesi veya bloke olmasına yol açtığı, bu nedenle daha düşük 7 günlük su emme değerlerine yol açtığı düşünülmektedir. 28 günlük numunelerde kontrol betonunda da çimentonun hidrasyon ürünlerinin yakın ölçüde benzer etkiyi yarattığı anlaşılmaktadır.

Çalışma kapsamında üretilen 100 mm ayrıtlı küp numunelerin; 28 günlük kapiler yolla su emme eğrileri Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. 22.4 mm D_{max} 'a sahip olan betonların, Şekil 9'da

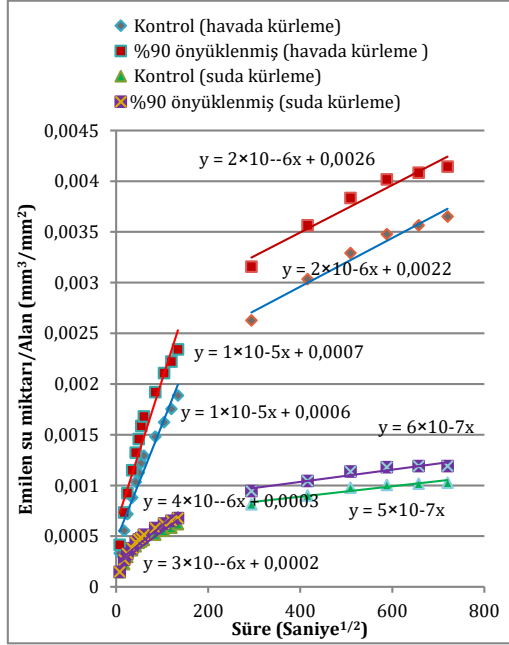
kapiler yolla başlangıç su emme eğrisi (ilk 5 saat içinde ölçülen değerlere göre çizilmiştir) ve kapiler yolla ikincil su emme eğrisi (ilk 6 gün içinde ölçülen değerlere göre çizilmiştir) görülmektedir. Şekil göz önünde bulundurulduğunda; önyükleme yapılan betonların kapiler su emmelerinin kontrol betonlarından fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun, yapılan önyükleme etkisiyle yüklemeye yönüne paralel olarak gelişen mikro çatlaklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kür koşulunun kapiler yolla su emme üzerindeki etkisi incelendiğinde, suda kürlenmiş betonların geçirimsizliğinin daha az olduğu görülmektedir. Buna göre kapiler su emme özelliğine, kür koşulunun önyüklemeye daha fazla etkisi olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 9. 22.4 mm D_{max} 'a sahip betonların kapiler yolla su emme eğrisi

D_{max} 'ı 16 mm olan betonların, Şekil 10'da kapiler yolla başlangıç ve ikincil su emme eğrisi görülmektedir. Şekil göz önünde bulundurulduğunda; kür koşulundan bağımsız olarak, önyükleme yapılan betonların kapilerite denklemlerinde eğim değerlerinin aynı olduğu görülmüş ve başlangıç ile ikincil kapilerite katsayısının bu betonlar için aynı olduğu sonucuna varılmıştır. Önyüklemenin kapiler su emme özelliğini artırıcı etkisi, D_{max} 'ın 22.4 mm'den 16 mm'ye azaltılmasıyla azaldığı, bu etkinin suda kürlenmiş

numunelerde daha da çarpıcı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 10. 16 mm D_{max} 'a sahip betonların kapiler yolla su emme eğrisi

Çalışmada önyükleme yapılan numuneler üzerinde yüklemmeden önce ve sonra ultrases hızı tayini yapılmıştır. Böylelikle önyükleme esnasında betonda oluşan etkinin değerlendirilmesine çalışılmıştır. Numunelerde önyüklemenin etkisiyle dalga hızındaki değişim Çizelge 7'de gösterilmiştir.

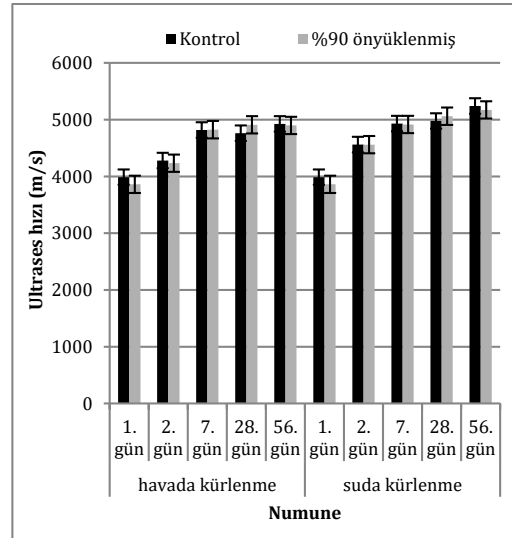
Deney sonuçları incelendiğinde numunelerde %90 mertebesinde önyükleme sonrası ses hızındaki azalışın beklenenin altında olduğu görülmüştür. Bunun nedeni eksenel yük altında çatlak oluşumunun yükleme doğrultusuna paralel olmasından kaynaklanmaktadır [5]. Ultrases geçiş hızı yüklemeye doğrultusunda bakılmasından dolayı oluşan çatlaklar sesin geçiş hızını çok fazla etkilememiştir. İki farklı D_{max} birbirleriyle kıyaslandığında; 16 mm D_{max} 'a sahip agregadan oluşan beton karışımının diğerine göre önyüklemekten dolayı daha az zarar gördüğü gözlemlenmektedir. En büyük agrega tane boyutunun küçülmesiyle agregamatrix arasındaki ara yüzeyin güçlendiği bilinmektedir [2]. Çatlak başlangıcının bu ara yüzeyde olduğu göz önünde bulundurulduğunda, 16 mm D_{max} 'a sahip agregadan oluşan beton karışımının

önyüklemekten neden daha az etkilendiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 7. Önyükleme yapılan numunelerde yüklemeye öncesi ve sonrası ses hızları

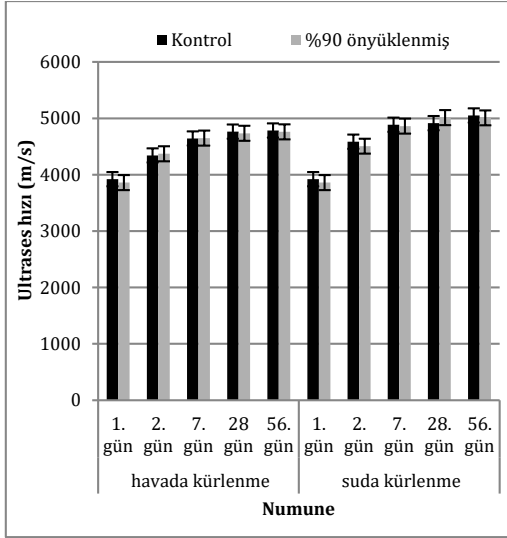
Ultrases hızı (m/s)	22.4 mm D_{max} 'a sahip karışım	16 mm D_{max} 'a sahip karışım
Yüklemeye öncesi	4030	3912
Yüklemeye sonrası	3863	3861

Kontrol ve önyüklenmiş numunelerin ultrases dalga hızları Şekil 11 ve Şekil 12'de kıyaslanmıştır. Şekillerdeki birinci gün, numunelerin kalıptan çıkarılıp önyükleme yapılan gündeki değerleri temsil etmektedir.



Şekil 11. 22.4 mm D_{max} 'a sahip numunelerin ultrases hızları

Şekil 11'de D_{max} 'ı 22.4 mm olan numunelerin ultrases geçiş hızları verilmiştir. Şekil incelendiğinde; kür koşulundan bağımsız olarak karışımların zamanla ultrases geçiş hızları artmıştır. Suda kürlemenin olumlu etkisinin ileri yaşlarda daha bariz olduğu görülmüştür.

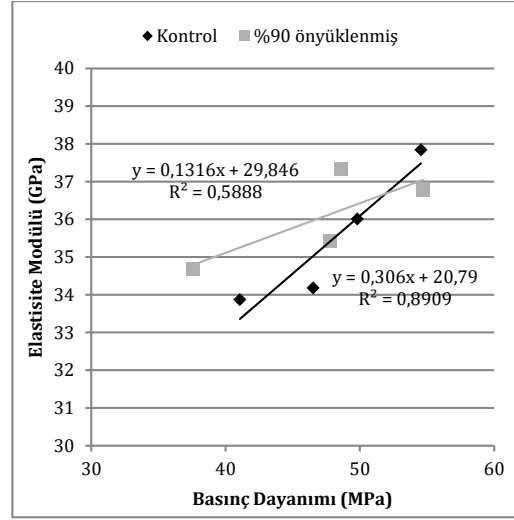


Şekil 12. 16 mm D_{max} 'a sahip numunelerin ultrases hızları

Şekil 12'de verilen 16 mm D_{max} 'a sahip karışımları ultrases geçiş hızlarının 22.4 mm D_{max} 'a sahip karışımların sonucuna benzer olduğu görülmektedir.

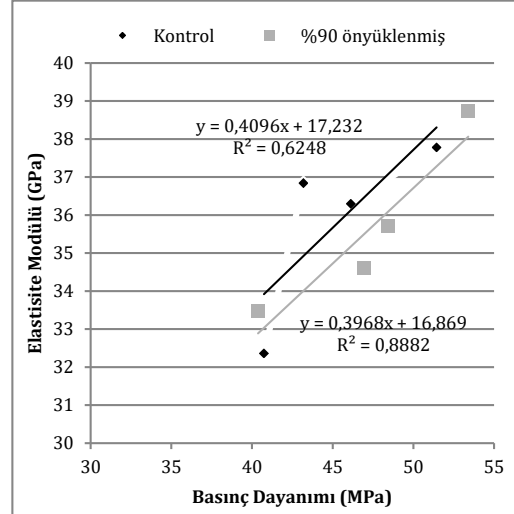
Şekil 11 ve Şekil 12'den önyüklemenin, D_{max} değeri ve kür koşulundan bağımsız olarak, karışımların zamanla ultrases geçiş hızlarını arttırdığı görülmektedir. Bu bağlamda su kürünün olumlu etkisi ileri yaşlarda bariz hale gelmiştir. Önyükleme uygulanan ve benzeri kontrol numunelerinde, çok yakın ultrases geçiş hızları kaydedilmiştir. Buradan önyüklemenin ultrases geçiş hızına kayda değer etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Karışımdaki agreganın D_{max} değerinin 22.4 mm'den 16 mm'ye düşürülmesinin betonun ultrases geçiş hızına önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında 7 ve 28 günlük numuneler için basınç dayanımı ile elastisite modülleri arasındaki ilişki, Şekil 13 ve Şekil 14'te incelenmiştir.



Şekil 13. 22.4 mm D_{max} 'a sahip betonlar için basınç dayanımı- elastisite modülü ilişkisi

Şekil 13'te 22.4 mm D_{max} 'a sahip agrega içeren karışımların basınç dayanımı- elastisite modülü ilişkileri sunulmuştur. Şekil 13 incelendiğinde, basınç dayanımının artmasıyla, elastisite modülü değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu etkinin önyüklenmiş numunelerde daha az olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 14. 22.4 mm D_{max} 'a sahip betonlar için basınç dayanımı- elastisite modülü ilişkisi

Şekil 14'te 16 mm D_{max} 'a sahip agrega içeren karışımların basınç dayanımı-sekant elastisite modülü ilişkileri sunulmuştur. Bu karışımlarda da Şekil 13'tekine benzer şekilde basınç dayanımının artmasıyla, elastisite modülü değerlerinin arttığı görülmektedir. Fakat önyüklemenin, 22.4 mm D_{max} 'a sahip betonların aksine, söz konusu ilişkiye kayda değer etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Bunun nedeni olarak, 16 mm D_{max} 'a sahip betonların agrega-çimento hamuru arasındaki geçiş bölgesinin önyüklemeden daha az etkilendiği düşünülmektedir.

Çeşitli standartlarda elastisite modülünü, basınç dayanımı ile elde edilmesine imkan sağlayan formüller bulunmaktadır. Bunlardan Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) ve Avrupa Beton Komitesi (CEB) tarafından önerilen formüller yardımıyla elde edilen elastisite modülleri, deneysel olarak elde edilen elastisite modülü değerleriyle birlikte Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) ve Avrupa Beton Komitesi (CEB)'e göre elastisite modülü değerleri (GPa)

D_{max}	Kür koşulu	Deneysel elastisite modülü	CEB	ACI
7 günlük numune				
22.4 mm	HK	33.9	34.8	30.3
	HY	34.7	33.9	29.0
	SK	34.2	36.7	33.4
	SY	35.4	36.5	33.0
16 mm	HK	32.4	31.0	35.2
	HY	33.5	34.6	30.1
	SK	36.8	35.9	32.1
	SY	35.7	36.1	32.4
28 günlük numune				
22.4 mm	HK	36.0	36.0	32.3
	HY	37.3	36.3	32.7
	SK	37.8	37.7	34.9
	SY	36.8	37.7	35.0
16 mm	HK	36.3	35.3	31.1
	HY	34.6	36.4	32.9
	SK	37.8	37.1	33.9
	SY	38.7	37.5	34.6

HK = havada kürlenmiş kontrol numunesi,

HY = havada kürlenmiş ve önyükleme yapılmış numune,

SK = suda kürlenmiş kontrol numunesi,

SY = suda kürlenmiş ve önyükleme yapılmış numune.

Deneysel çalışmada bulunan elastisite modülü değerleri ile CEB'e göre hesaplanan elastisite modülü değerlerinin oldukça yakın olduğu, fakat, ACI önerisine göre hesaplanan elastisite

modülü değerlerin, deneysel verilerden 5 GPa'a kadar daha düşük olduğu anlaşılmıştır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmanın temel amacı erken yaşlarda uygulanan önyüklemenin betonun mekanik özelliklerine ve geçirimsizliğine etkisini belirlemektir. Çalışmada kullanılan malzeme ve uygulanan deneylerden aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- 22.4 mm D_{max} 'a sahip agrega içeren bir günlük betona, dayanımının %90'ı seviyesinde önyükleme, havada kürlenmiş numunelerde %9'a varan basınç dayanımı kaybına yol açmıştır. Benzeri durumda fakat suda kürlenmiş numunelerde ise %4.5'e varan dayanım artışı oluşmuştur.
- 16 mm D_{max} 'a sahip agrega içeren bir günlük numuneler, %90 önyükleme etkisi ile %4'e varan dayanım artışı göstermiştir. Bu etkinin genelde kür koşulundan bağımsız olduğu anlaşılmıştır.
- Kullanılan agreganın maksimum tane büyüklüğünü 22.4 mm'den 16 mm'ye düşürmenin, önyüklenmiş beton dayanımı/kontrol betonu dayanımı oranına kayda değer olumlu etkisi olmadığı anlaşılmıştır.
- Kür koşuluna ve D_{max} 'a bağlı olmaksızın, önyüklemenin betonun elastisite modülüne olumsuz etkisi olmamıştır.
- D_{max} 'a bağlı olmaksızın elastisite modülü-basınç dayanımı ilişkisinin doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.
- Önyükleme, kür koşulu, numunenin yaşı ve D_{max} 'dan bağımsız olarak statik elastisite modülü/dinamik elastisite modülü oranı %70±5 arasında değişmiştir.
- Önyükleme uygulanan betonların ağırlıkça su emme oranları 7. gün sonunda kontrol betonlarına göre %8 mertebesinde azalmıştır. Ancak 28 günlük numunelerde, önyüklemenin su emme oranına herhangi bir etkisi olmamıştır.
- D_{max} ve önyükleme uygulanmasından bağımsız olarak suda bekletilen betonlar hava küresine tabi tutulan betonlara göre yaklaşık %50 mertebesinde daha az su emme göstermiştir.
- Önyükleme betonun kapiler su emmesini arttırmıştır. Ancak, yetersiz kürlenmenin betonun geçirimsizlik özelliğine önyüklemeden daha fazla olumsuz etkisi olduğu anlaşılmıştır.

- Ultrases geçiş hızının betonda bulunan agreganın D_{max} değerinden etkilenmediği görülmüştür. Ancak betona önyükleme yapılması D_{max} 22.4 mm olan betonlarda, D_{max} 16 mm olan betonlara göre ultrases geçiş hızını daha çok azaltmıştır.
- Yapılan çalışmada basınç yükü altında önyükleme yapılan beton numunelerin bazı özellikleri incelenmiştir. Benzer çalışmanın yalın ve donatılı kiriş numuneler üzerinde eğilme yükü altında tekrarlanması önerilmektedir.
- Yapılan çalışmada betonların D_{max} 'ının ve kür koşulunun önyüklenmiş betonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Betondaki hava içeriğinin önyüklenmiş numuneler üzerindeki etkisi konusunun ileriki çalışmalarda araştırmaya değer olduğu söylenebilir.

Teşekkür

Yazarlar, Çimbeton ve Lyksor Yapı Kimyasalları firmalarına katkılarından dolayı teşekkür ederler.

Kaynakça

- [1] Taylor, M. A., Tai, M. K. ve Ramey, M. R., 1975. Biaxial Compressive Behaviour of Fibre Reinforced Mortar, *ACI Journal*, September, s. 496-501.
- [2] Mehta, P. K., and Monteiro, P. J. M. 2006. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, The McGraw-Hill Companies, New York, U.S.A., 704s.
- [3] Santiago, S.D., Hilsdorf, H.K. 1973. Fracture Mechanisms of Concrete Under Compressive Loads, *Cement Concrete Research*, Cilt. 3, Sayı. 4, s. 363-388.
- [4] Johnston, C.D. 1970. Strength and Deformation of Concrete in Uniaxial Tension and Compression, *Magazine of Concrete Research*, Cilt. 22, Sayı. 70, s. 5-16.
- [5] Tanigawa, L., Yamadaka, K. 1978. Size Effect in Compressive Strength of Concrete, *Cement and Concrete Research*, Cilt. 8, Sayı. 2, s. 181-190.
- [6] Jones, R., Gatfield, E.N. 1955. Testing Concrete by on Ultrasonic Pulse Technique, *DISR Road Research*, Tech. Paper No.34, London, H.M.S.O.
- [7] Zaitsev, J.W., Wittmann, F.H. 1973. Fracture of Porous Viscoelastic Materials Under Multiaxial State of Stress, *Cement and Concrete Research*, Cilt. 3, Sayı. 4, s. 343-494.
- [8] Gilkey, H.J. 1926. The Autogeneous Healing of Concretes and Mortars. *ASTM Proceeding*, U.S.A., s. 470-488.
- [9] Whitlam, E.F. 1954. Autogeneous Healing of Concrete in Compression, *The Structural Engineer*, Cilt. 32, Sayı. 9, s. 235-243.
- [10] Abdel-Jawad, Y., Haddad, R. 1992. Effect of Early Overloading of Concrete on Strength at Later Ages, *Cement and Concrete Research*, Cilt. 22, Sayı. 5, s. 927-946.
- [11] Coutinho, A. 1977. A Contribution to The Mechanism of Concrete Creep. *Materials and Structures*, Cilt. 10, Sayı. 1, s. 3-16.

- [12] Liu, G.T., Gao, H., Chen, F.Q. 2002. Microstudy on Creep of Concrete at Early Age under Biaxial Compression, Cement and Concrete Research, Cilt. 32, Sayı. 12, s. 1865-1870.
- [13] TS EN 1097-6. 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [14] TS 802. 2016. Beton Karışım Hesapları Türk Standartları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 19s.
- [15] TS EN 12350-6. 2010. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [16] TS EN 12350-2. 2010. Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slump) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [17] TS EN 12390-3. 2010. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [18] ASTM C597. 2016. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, West Conshohocken (U.S.A.), ASTM International.
- [19] ASTM C642. 2013. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, West Conshohocken (U.S.A.), ASTM International.
- [20] ASTM C1585. 2013. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, West Conshohocken (U.S.A.), ASTM International.
- [21] Erdogan, T., Y. 2003. Beton, ODTÜ Gelistirme Vakfı Yayıncılık ve iletişim A.S., Ankara, 760s.