

# KÜR KOŞULLARI VE SÜRESİNİN BETON NUMUNELERİN BASINÇ DAYANIMINA ETKİLERİ

## EFFECTS OF CURING CONDITIONS AND PERIOD ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE SPECIMENS

**Yasin Engin, Muhittin Tarhan, Dođan Yaşar Aydıner**

### Özet

Standart kür koşullarına göre beton numuneleri kalıptan alındıktan sonra  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki kür havuzunda saklanmakta ve üretimden 28 gün sonra basınç dayanım testine tabi tutulmaktadır. Bu çalışmada farklı sürelerde su ile küre tabi tutulan beton numunelerin ve sürekli suda bekletilen numunelerin 7, 28, 45 ve 60 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. Ayrıca numunelerin deney aşamasında kuru ya da ıslak olmalarının dayanıma etkisi de incelenmiştir. Bunun için belirli bir süre suda saklanan ve daha sonra hava ortamında korunan numuneler basınç dayanım deneyinden bir gün önce tekrar su içerisine konulmuş ve suya doygun olmaları sağlanmıştır. Araştırma sonucunda daha az süre su ile küre tabi tutulan numunelerin sürekli su içerisinde bekletilen numuneler ile oldukça yakın basınç dayanım değeri verdiği tespit edilmiş ve deney sonuçlarına göre numunenin suya doygunluk derecesinin basınç dayanımını etkileyen ana unsur olduğu görülmüştür.

### Abstract

According to the standard curing conditions, the concrete specimens are cured in water at a temperature of  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  after being removed from the molds. At the age of 28 days, the concrete specimens are subjected to compressive strength test. In this study, the compressive strength of specimens, which were cured in water for different periods, were investigated. In addition, the effect of the degree of saturation of specimens at the moment of testing was also investigated. To determine the effect, specimens cured in water and then in air were kept in water again 2 days before testing. As a result of this study, it was determined that the compressive strength of specimens cured in water for a shorter period and specimens cured in water continuously are almost same. The main effect on compressive strength is the degree of saturation of concrete specimens.

# 1. GİRİŞ

Beton yük altında elastik davranış sergilemeyen ve zamana bağılı olarak plastik özelliğini kaybeden heterojen bir malzemedir [1]. Betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini birçok iç ve dış etken etkilemektedir. Betonun basınç, çekme, eğilme dayanımı, rötre ve geçirimsizlik gibi özellikleri zamana bağılı olarak geliştiği için bu süreç içerisinde uygun ortam şartları sağlanmalıdır. Betonun küre tabii tutulma süreci, çimento hidratasyonu süresince çeşitli etkenler sonucu kayba uğrayan betondaki nemin kontrollü bir şekilde betona geri kazandırılmasıdır [2].

Şantiye ortamında kalıplara dökülen ve yerleştirilen beton zamanla su kaybedeceği için çoğunlukla su ile küre tabii tutulur. ACI 308.1 Standardı'na göre şantiye ortamında kür süresi en az yedi gün olmalıdır. Betonun dayanımını tespit etmek ve uygunluğunu kontrol etmek için TS EN 12390-1 Standardı'na göre alınan numuneler ise 28 güne kadar su ile dolu kür havuzunda muhafaza edilir. 28 gün kür havuzunda bekleyen numuneler TS 12390-3 Standardı'na göre yüzeyleri kurularak suya doygun şekilde basınç dayanım testine tabii tutulur.

Yapılan birçok araştırmada 28 günden daha az süre su kürüne tabii tutulan beton numunelerin dayanımının 28 gün kür havuzunda bekleyen numunelere oranla düşük olduğu tespit edilmiştir [3,4,5]. Ancak bu çalışmalarda kür havuzu dışında hava ortamında bekleyen numunelerin kuru ya da suya doygun olarak dayanım testine tabii tutulup tutulmadığı ile ilgili yeterli bilgi mevcut değildir. Ayrıca hava ortamının sıcaklık ve bağılı nem değeri beton basınç dayanımını gelişimini etkiler. Oysa aynı karışıma ait hava kurusu(hava ortamında kurutulmuş) ve suya doygun beton numunelerinin basınç dayanımı farklı olmaktadır [2,6,7]. Hava kurusu numunelerin basınç dayanımı %25'e kadar daha yüksek olabilmektedir [7]. Bu durumun sebepleri tam olarak anlaşılmış olmasa da kuruma esnasında C-S-H jellerinin yapısındaki değişiklik, nemin makro yapıda sürtünmeyi azaltan "kayganlaştırıcı" etkisi ve boşluklarda yüke maruz kalan suyun oluşturduğu hidrostatik basınç başlıca nedenler olarak sıralanabilir [2,6,8]. Bu konuda yapılan bir çalışmada yedi gün havuzda bekletilen ve daha sonra hava ortamında korunan beton numunelerin 28 gün havuzda bekleyen numunelerden %6,5 daha fazla basınç dayanım değeri verdiği tespit edilmiştir [9].

Bilindiği gibi hem EN hem de ASTM standartlarında beton numunesinin suya doygun olarak dayanım testine tabii tutulması şart koşulmuştur. Bunun nedeni ise numuneleri suya doygun hale getirmenin kolay olması ve hava ortamında bekletilen numunelerin hava kurusu olma derecesinin net olarak tespit edilememesidir [2]. Ayrıca ASTM C 42 Standardı, doygun beton numunelerinin yerinde beton dayanımını daha iyi temsil ettiğini belirtmektedir [6].

Bu çalışmada sürekli olarak su içerisinde bekletilen beton numuneler ile belli bir süre su içerisinde ve daha sonra hava ortamında korunan numunelerin dayanımları arasındaki farkın nedeni anlaşılmaya çalışılmıştır. Bunun içinde sürekli su içerisinde bekletilen numuneler hava kurusu hale getirilmiş ve hava ortamında bekleyen numuneler de suya doygun hale getirilmiştir. Bu sayede iki farklı açıdan durum değerlendirilmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deneyler için gerekli olan malzeme miktarları hesaplanmış ve bu miktarın yaklaşık iki katı kadar beton bileşen malzemesi temin edilmiştir. Kullanılan malzemelerin ilgili standartlara uygunluğu kontrol edilmiştir.

#### 2.1.1. Çimento

TS EN 197-1:2012 Standardı'na uygun üretilmiş CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 1'de, fiziksel özellikleri Çizelge 2'de ve mekanik özellikleri de Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 1- CEM I 42.5 R tipi çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler Test yöntemi : TS EN 196-2	Standart Şartları	Analiz Değerleri (%)
SiO <sub>2</sub> (çözünabilir)		21,13
Çözünemez kalıntı	≤ 5,0	0,41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4,98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3,73
CaO		65,23
MgO		1,13
SO <sub>3</sub>	≤ 4,0	3,09
Kızdırma kaybı	≤ 5,0	1,29
Cl	≤ 0,10	0,0429
Na <sub>2</sub> O / K <sub>2</sub> O		0,28/0,78
Serbest kireç		1,6
C <sub>3</sub> S		55,80
C <sub>2</sub> S		18,50
C <sub>3</sub> A		6,90
C <sub>4</sub> AF		11,40
LSF(kireç standardı)		0,95

Çizelge 2- CEM I 42.5 R tipi çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler		Standart Şartları	Analiz Değerleri (%)
Test yöntemi : TS EN 196-3 ve 196-6			
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )			
Priz süresi (Vicat)	Başlangıç (dakika)	≥ 60	110
	Bitiş (dakika)	-	166
Hacim genişmesi (Le Chatelier)(mm)		≤ 10	1
İncelik	Özgül yüzey alanı (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)		3790
	45 µm elek kalıntısı (%)		3,2
	90 µm elek kalıntısı (%)		0,2

Çizelge 3- CEM I 42.5 R tipi çimentonun mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Standart Şartları(MPa)	Analiz Değerleri (MPa)
Test yöntemi : TS EN 196-1		
Erken dayanım (2 gün)	≥ 20,0	28,3
Erken dayanım (7 gün)	-	44,7
Standart dayanım (28 gün)	≥ 42,5 ≤ 62,5	57,2

### 2.1.2.Agrega

Çalışmada kalker malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan agregaların özgül ağırlığı ve su emme oranları Çizelge 4'te, boyut dağılımı ise Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4- Agregaların özgül ağırlığı ve su emme oranları

Agrega Tipleri	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Su emme (%)
İri agrega (No 1)	2,71	0,6
İri agrega (No 2)	2,71	0,6
Kırma kum	2,70	0,9
Doğal kum	2,61	0,7

Çizelge 5- Agregaların boyut dağılımı

Agrega Tipleri	Elek boyutu (mm)								Toplam
	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25	
İri agrega (No 1)	100	100	57,2	2,1	1	1	1	0,6	100
İri agrega (No 2)	100	78,3	1,4	1,1	1	1	1	0,6	100
Kırma kum	100	100	100	84	44,8	29,5	18	12,3	100
Doğal kum	100	100	100	99,9	99,8	99,8	97,7	8,4	100
Tüm karışım	100	88	65	48	42	38	34	14	100

### 2.1.3.Su

Beton karma suyu olarak, özellikleri Çizelge 6’da gösterilen TS 1008 Standardı koşullarını karşılayan şebeke suyu kullanılmıştır.

Çizelge 6- Beton karma suyunun özellikleri

Parametreler	Standart Şartları	Analiz Değerleri
Toplam sertlik (FR)	-	70,00
pH	>4	7,60
Toplam çözünmüş madde (mg/l)	-	48,00
Toplam alkalinite (mg/l)	-	100,00
Sülfat (mg/l)	2000	30,00
Klorür (mg/l)	500	110,00
Toplam serbest klorür (Cl <sub>2</sub> )	-	<0,1
Alkali(sodyumoksit eşdeğeri) (mg/l)	1500	90,80
PO <sub>4</sub> (mg/l)	100	0,00
NO <sub>3</sub> (mg/l)	500	2,00
NO <sub>2</sub> (mg/l)	500	0,01
Amonyum (mg/l)	-	0,10
Askıda katı madde (mg/l)	<4	0,01

### 2.1.4.Kimyasal Katkı

Çalışmada kullanılan kimyasal katkı TS EN 934-2 Standardı’na uygun vinil kopolimer esaslı süper akışkanlaştırıcı beton katkısıdır. Katkının özellikleri Çizelge 7’de belirtilmiştir.

Çizelge 7- Kimyasal katkının özellikleri

	Analiz değerleri	Test yöntemi
<b>Renk</b>	Kahverengi	Gözlem
<b>Faz</b>	Sıvı	Gözlem
<b>Özgül ağırlık (kg/l)</b>	1,132	TS 781
<b>pH</b>	7,41	TS 6365
<b>Klorür içeriği (%)</b>	0,0253	TS EN 480-10
<b>Katı madde (%)</b>	27,23	TS EN 480-8
<b>Alkali içeriği (%)</b>	< 6	TS EN 480-6

### 2.2.Numune Üretimi ve Kodlaması

Çalışmada beton basınç dayanım sınıfı olarak C30/37, çevresel etki sınıfı olarak XC3 ve kıvam sınıfı olarak S4 tercih edilmiştir. Bu tercihlerde C30/37 ve S4 sınıflarının son yıllarda ağırlıklı olarak kullanılması etkili olmuştur. TS 13515 Standardı’nda yer alan çevresel etki sınıflarının sınır değerlerine göre su/çimento oranı 0,60 olarak seçilmiştir. Çizelge 8’de beton karışımında kullanılan malzemelerin miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 8- Beton karışımındaki malzeme miktarları

Betonda kullanılan malzemeler (kg/m <sup>3</sup> )							
İri agregası (No 1)	İri agregası (No 2)	Kırma kum	Doğal kum	Çimento	Su	Katkı	Toplam
495	470	440	475	300	180	4,5	2364,5

Çalışmada 14 farklı kodlamada beton numunesi alınmıştır. Kodlama ile ilgili bilgi Çizelge 9’da belirtilmiştir.

Çizelge 9- Numunelerin kodlandırılması

Kod	Su içerisinde*	Hava ortamında	Su içerisinde	Test anında yaş (gün)	Dayanım testi sırasında nem durumu
S2	2	-	-	2	Suya doymuş
S7	7	-	-	7	Suya doymuş
S28	28	-	-	28	Suya doymuş
S45	45	-	-	45	Suya doymuş
S60	60	-	-	60	Suya doymuş
S26H2	26	2	-	28	Hava kurusu
S43H2	43	2	-	45	Hava kurusu
S58H2	58	2	-	60	Hava kurusu
S7H21	7	21	-	28	Hava kurusu
S28H17	28	17	-	45	Hava kurusu
S45H15	45	15	-	60	Hava kurusu
S7H19S2	7	19	2	28	Suya doymuş
S28H15S2	28	15	2	45	Suya doymuş
S45H13S2	45	13	2	60	Suya doymuş

\*Numuneler bir gün kalıpta beklemektedir. Bu süre suda beklenilmiş gibi düşünülmektedir.

### 2.3. Numunelerin Kür Koşulları

Farklı kod verilen her beton için üç adet 10cmx10cmx10cm ebatlarında küp numune alınmıştır. Alınan numuneler 24 saat kalıplarda bekletilmiş ve bu süre sonunda kalıptan alınarak kür havuzunda saklanmıştır. Çizelge 9’da belirtildiği sürelerde su içerisinde ve/veya hava ortamında saklanmıştır. Çalışmada sürekli su içerisinde, önce su içerisinde sonra hava ortamında ve su-hava-su sıralı kür koşullarında numuneler korunmuştur. Bazı numuneler hava kurusu olmaları için kırımdan 2 gün önce su ortamından çıkarılmıştır.

Kür havuzu ve laboratuvar ortamının sıcaklık ve bağıl nem değerleri Çizelge 10’da gösterilmiştir.

Çizelge 10- Su ve ortam sıcaklık ve bağıl nem değerleri

	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem(%)
<b>Kür havuzu suyu</b>	20±1	100
<b>Laboratuvar ortamı</b>	22±1	50±5

## 2.4. Numunelerin Basınç Dayanım Testine Tabi Tutulması

Kırım günü gelen numuneler Çizelge 9’da belirtildiği şekilde suya doymun ya da hava kuru su olarak 2, 7, 28, 45 ve 60. günlerde basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Yükleme hızı 0.6 MPa/s olarak seçilmiştir. Her farklı kod numaralı beton grubu için üç adet numune kırılmış ve ortalama değer alınmıştır. Su içerisinde bekleyen numuneler kür havuzundan çıkarıldıktan sonra yüzeyleri kurularak dayanım testine tabi tutulmuştur.

## 3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

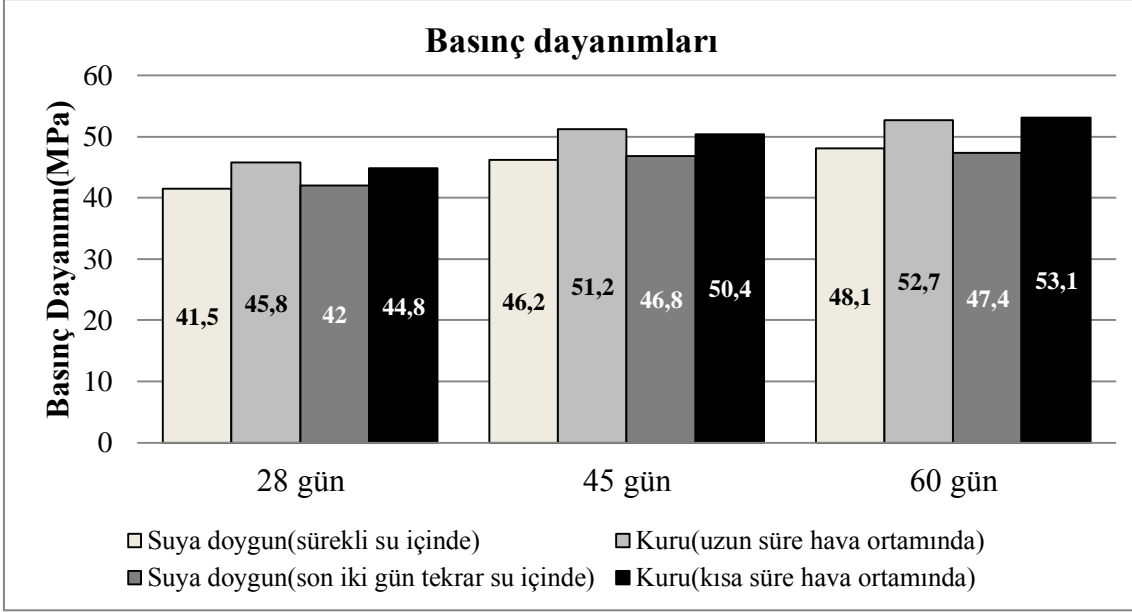
### 3.1. Beton Basınç Dayanım Sonuçları

Farklı kür koşullarında korunan ve dayanım testi anında suya doymun ya da hava kuru su olarak kırımı yapılan numunelerin basınç dayanımları Çizelge 11’de gösterilmiştir.

Çizelge 11- Tüm beton gruplarının basınç dayanım sonuçları

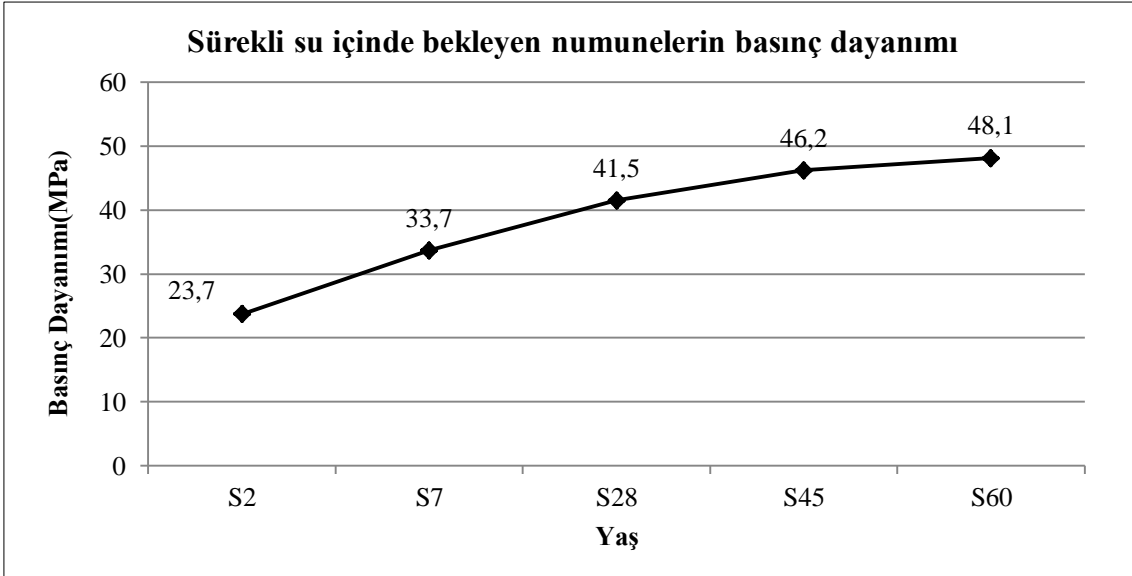
Kod	Test anında yaş (gün)	Dayanım testi sırasında nem durumu	Basınç dayanımı (MPa)
S2	2	Suya doymun	23,7
S7	7	Suya doymun	33,7
S28	28	Suya doymun	41,5
S45	45	Suya doymun	46,2
S60	60	Suya doymun	48,1
S26H2	28	Hava kuru su	44,8
S43H2	45	Hava kuru su	50,4
S58H2	60	Hava kuru su	53,1
S7H21	28	Hava kuru su	45,8
S28H17	45	Hava kuru su	51,2
S45H15	60	Hava kuru su	52,7
S7H19S2	28	Suya doymun	42,0
S28H15S2	45	Suya doymun	46,8
S45H13S2	60	Suya doymun	47,4

Çizelge 11’deki sonuçların grafiksel olarak gösterildiği Şekil 1 incelendiğinde sürekli su içerisinde korunan veya dayanım testinden önce tekrar suya doymun hale getirilen numunelerin dayanımının farklı sürelerde su ile küre tabi tutulan ve hava kuru su olarak kırılan numunelere oranla yaklaşık %10 daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum 28, 45 ve 60 günlük dayanımlarda paralel seyretmiştir. Bir diğer hususta en az yedi gün olmak üzere farklı sürelerde su ile kür edilen numunelerin suya doymun ya da hava kuru su olarak kırıldıklarında çok yakın basınç dayanım değerleri vermesidir. Su dışında hava ortamında korunan numunelerin dayanım gelişiminin sürekli su içerisinde kalan numunelere yakın olduğu tespit edilmiştir. Özellikle ortam sıcaklığı ve nem oranı burada belirleyici etkenler olmuştur.



Şekil 1- Numunelerin basınç dayanımları

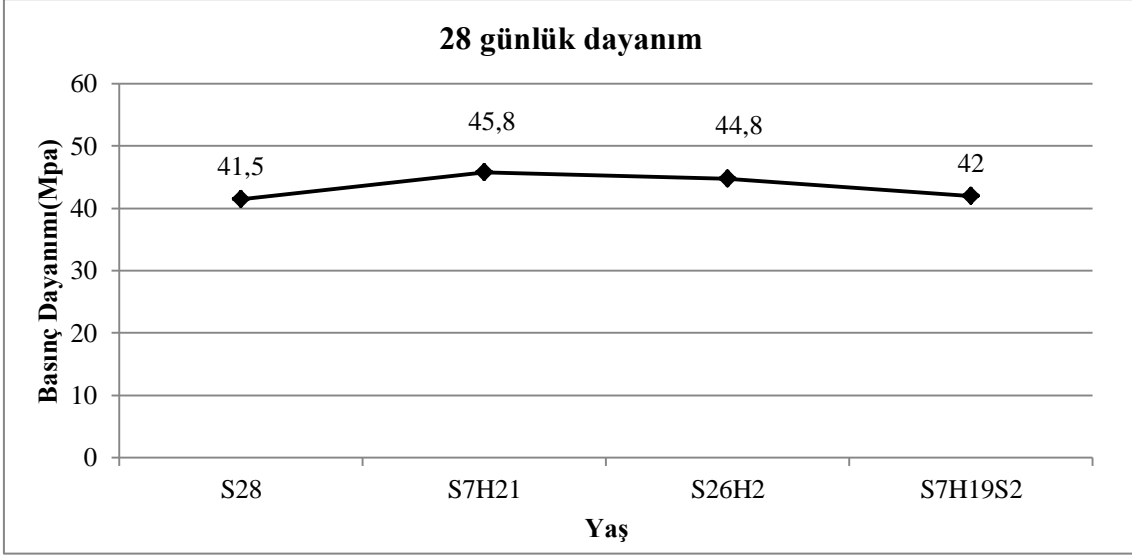
Sürekli su içerisinde korunan beton numunelerin erken ve geç yaş basınç dayanımları Şekil 2’de belirtilmiştir. Dayanım gelişiminin normal olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar çalışmada şahit olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2- Sürekli su içerisinde saklanan numunelerin basınç dayanımı

Şekil 3’te 28 günlük basınç dayanım değerleri görülmektedir. Sürekli su içerisinde bekleyen(S28) ve su-hava-su sırasıyla küre tabi tutulan(S7H19S2) numunelerin basınç dayanımı 41,5 MPa ve 42 MPa gelmiştir. Bu numuneler suya doymun olarak dayanım testine tabi tutulmuştur. Hava kurusu olarak teste tabi tutulan sadece ilk yedi gün su içinde saklanan S7H21 kodlu numune ve 26 gün su içinde saklanan sadece son iki gün hava ortamında bekletilen S26H2 kodlu numune birbirine oldukça yakın dayanım değeri vermiştir.

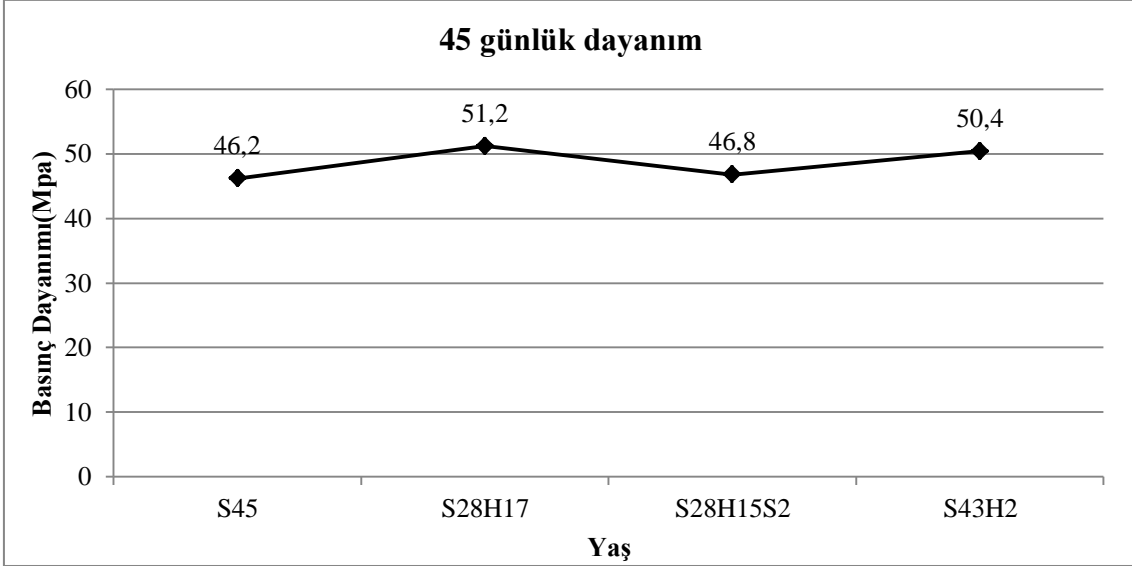




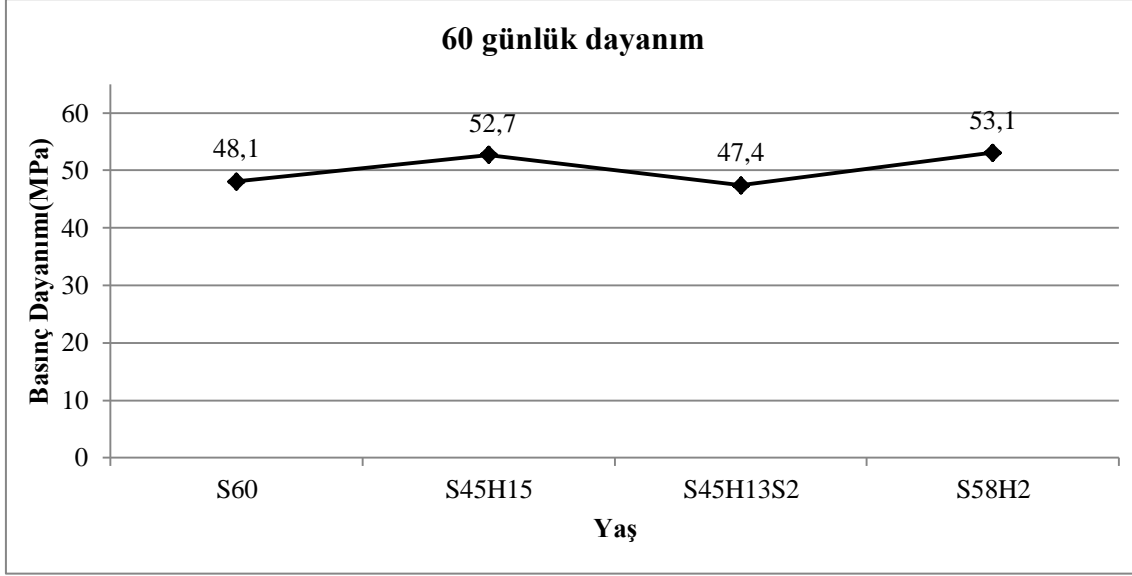
Şekil 3- 28 günlük basınç dayanım sonuçları

28 günlük basınç dayanım sonuçlarında ortaya çıkan tablo Şekil 4 ve Şekil 5'te görüldüğü gibi diğer yaşlardaki dayanım sonuçlarında da görülmüştür. S28, S45 ve S60 kodlu sürekli su içerisinde saklanan şahit numuneler ile S7H19S2, S28H15S2 ve S45H13S2 kodlu 7, 28 ve 45 gün su içerisinde saklanan daha sonra hava ortamında bekletilen ve kırımdan 2 gün önce su içerisinde tekrar doymun hale getirilen numunelerin dayanım değerleri oldukça yakındır.

Tüm yaşlarda suya doymun olarak kırılan numunelerin basınç dayanımı hava kurusu olarak kırılan numunelere oranla düşük gelmiştir.



Şekil 4- 45 günlük basınç dayanım sonuçları



Şekil 5- 60 günlük basınç dayanım sonuçları

#### 4. SONUÇLAR

Kür koşullarının ve basınç dayanım deneyi esnasındaki numune rutubetinin basınç dayanımına etkisinin incelendiği çalışmada önemli sonuçlara varılmıştır. Ancak bu sonuçların deney ortamına ve beton özelliklerine göre değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Çalışma sonucu elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Numunenin kırım esnasında suya doygunluk derecesi basınç dayanımını etkileyen önemli bir faktördür.
- Hava kurusu numunelerin basınç dayanımı suya doygun numunelerden yaklaşık %10 daha yüksek gelmektedir.
- Sürekli su içerisinde bekleyen numuneler ile daha az süre suda bekleyen numuneler hava kurusu olarak ya da suya doygun olarak kırıldığında oldukça yakın basınç dayanım değeri vermektedir.
- Tüm numuneler başlangıçta en az yedi gün su içerisinde korunduğu için ve 28, 45 ve 60 gün sonunda ölçülen basınç dayanım değerlerinde belirleyici etki numunelerin suya doygunluk derecesi olduğu için yedi günlük su ile kür yeterli bir süre olarak değerlendirilebilir. Ancak hava ortamının sıcaklık ve bağıl nem parametreleri bu değerlendirmede çok önemlidir. Farklı sıcaklık ve bağıl nem değerlerindeki ortamlarda durum değişebilir.

#### Kaynaklar

1. Erdoğan, T.Y., Erdoğan, S.T., *Sorular ve Yanıtlarıyla Beton*, THBB Yayınları, 2005
2. Neville, A.M., *Properties of Concrete*, Prentice Hall, 2004

3. Alyamaç, K.E., İnce, R., “Kür Süresinin Betonun Kırılma Parametreleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, *Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı*, s.600-609, 2007
4. Safan, M., Kohoutkva, A., “Influence of Different Drying Conditions on High Strength Concrete Compressive Strength”, *Acta Polytechnica*, No.3, 2001
5. Kosmatka, S.H., Kerkhoff, P., William, C., *Design and Control of Concrete Mixtures*, Portland Cement Association Publication, 2003
6. Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D., *Concrete*, Prentice Hall, 2003
7. Mehta, P.K., Monteiro, P., *Concrete*, McGraw-Hill, 2006
8. Yazıcı, H., Yardımcı, M.Y., Şeker, F., “Yükleme Hızının ve Örnek Nem Durumunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi”, *THBB Hazır Beton Dergisi*, Sayı.Ocak-Şubat, 2008
9. Rao M.C., Bhattacharya S.K., Barai, S.V., “Influence of Field Recycled Coarse Aggregate on Properties of Concrete”, *Rilem Materials and Structure*, 2011