

## İki Farklı Çimento İle Üretilen Betonların Basınç Dayanımına Değişik Buhar Kürü Uygulama Sürelerinin Etkileri

**S. Türkel**

*Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
İzmir35160, Türkiye*

**V. Alabaş**

*Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
İzmir35160, Türkiye*

**ÖZET:** Beton üretiminde, Atmosfer basıncı altında buhar kürü yöntemi ile erken dayanım elde etmek önemlidir. Buhar kürü yönteminde, çimento tipinin seçimi kür sıcaklığı ve periyodu kadar önem taşır. Türkiye’de prefabrik sektöründe çoğunlukla, davranışı en iyi bilindiği için PÇ 42.5 çimentosu kullanılmaktadır. Ancak günümüzde, bazı avantajlarından dolayı PKÇ/A 42.5 çimentosu kullanımı da oldukça yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışma, PÇ 42.5 çimentosu ile son yıllarda kullanımı giderek artan PKÇ/A 42.5 çimentosunun, buhar kürü uygulamaları açısından kullanılabilirliğini kapsamaktadır. Bu amaçla, su/çimento oranı 0.44 olan 15 cm ayrıtlı küp örnekler 4, 8, 16, 24 ve 36 saat buhar küründe tutulmuşlardır. Tüm örnekler için kür sıcaklığı 65°C ve çimento dozajı sabit (400kg/m<sup>3</sup>) seçilmiştir. Farklı koşullarda kür edilen örneklerin basınç dayanımı değerlerinin değişimi şahit örneklerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Beton; atmosfer basıncı altında buhar kürü; basınç dayanımı.

**ABSTRACT:** Steam curing at atmospheric pressure is an important technique for obtaining high early strength values in concrete production. Cement type is an important parameter in steam curing process as well as curing period and temperature. PÇ 42.5 is the type of cement that is most commonly used in Turkish precast concrete plants. And its behavior is well known. Nowadays, the production of composite cement such as PKÇ/A 42.5 is becoming more popular every other day due to its advantages.

The object of this study was to determine the properties of this relatively new binder comparatively with conventional PÇ 42.5 under steam curing. For this purpose, 15 cm concrete cubes prepared with water/cement ratio of 0.44, were subjected to steam

curing for five different curing periods of 4, 8, 16, 24 and 36 hours. The curing temperature was 65 °C and cement dosage was kept constant (400kg/m<sup>3</sup>) for all specimens. The variation of compressive strength values for different conditions has been presented comparatively within this study.

**Keywords :** Concrete, steam curing at atmospheric pressure, compressive strength.

## Giriş

Beton üretiminin en önemli aşamalarından birisi de betonun kür edilmesi ve bu süreci tamamlayan işlemlerdir. Genel anlamıyla kür; betonun dayanım kazanması için çimento hidrasyonunu ilerletmek amacıyla kullanılan yöntem ve yapılan uygulamalara verilen isimdir. Betonun hızlandırılmış kür yöntemleri uygulanarak erken dayanım kazanması bazı inşaat uygulamalarında büyük önem taşımaktadır. Özellikle, prefabrik yapı elemanları üretiminde, betonun dayanım artışını hızlandırmak kalıplardan olabildiğince en fazla sayıda yararlanmayı, zaman ve işçilikten de tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

Dayanım artışını hızlandırmaya yönelik çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında en yaygın olanı betona ısı işlem uygulamaktır. Isıl işlemler uygulama prensiplerine göre; betonun yerleştirilmeden önce ve betonun yerleştirilmesinden sonra ısıtılması şeklinde sınıflandırılmaktadır. Atmosfer basıncında buhar kürü olarak adlandırılan yöntem beton kalıbına yerleştirildikten sonra uygulanan ve en çok kullanılan ısı işlem yöntemidir. Bu yöntem, çimentonun hidrasyon reaksiyonlarını hızlandırmak amacıyla atmosfer basıncı altında doymuş buhar ile ısı vererek uygulanmaktadır. Buhar kürü uygulamasını malzeme özellikleri, beton bileşimi (çimento türü, dozajı, su/çimento oranı, katkı maddeleri vb.), betonu yerleştirme ve sıkıştırma olanakları, yapı elemanının geometrik özellikleri, buhar kürü çevrimi (uygulama süreleri), saklama koşulları (kür sonrası sıcaklık ve nem) gibi faktörler etkilemektedir.

Bu amaçla, sabit S/Ç oranı kullanılarak hazırlanmış beton karışımlarına atmosfer basıncı altında buhar kürü uygulaması ile betonun erken yaşlarda kazanacağı basınç dayanımının; değişik buhar kürü çevrimlerinde gelişimi ve iki farklı çimento tipinin etkisi, aynı malzemelerden üretilen ve normal koşullarda su içinde kür edilen beton örneklerinin dayanımlarıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

### Atmosfer Basıncı Altında Buhar Kürü

Beton sıcaklığının artmasına paralel olarak hidrasyon reaksiyonlarındaki hızlanma ile betonun dayanımı kısa sürede yüksek değerler alır.

Betonda dayanım artışının fazla olması için sıcaklık artışının yanında ortamın yeterince neme doymuş olması da gereklidir. Ortamı ısıtmak için gerekli ısı, buhar kürü ile sağlanabilir. Bu süreç 100°C 'nin altında ve atmosferik basınçta gerçekleşirse nem kürlenmesinin özel bir durumu olarak sayılabilir (Neville, 1997).

Buhar kürü uygulanmasını etkileyen faktörler; malzeme özellikleri ve beton bileşimi (çimento türü, dozajı, su/çimento, katkı maddeleri vs.), betonu yerleştirme ve sıkıştırma olanakları, yapı elemanının geometrik özellikleri (boyut , biçim, yüzey/hacim oranı ), buhar kürü çevrimi, teknolojik veriler (ortam nemi, ısı geçiş katsayıları, kalıp türü, uniformluk vs.), saklama koşulları (kür sonrası sıcaklık ve nem) olarak sıralanmaktadır. Pratikte uygulanan buhar kürü çevrimleri üç grupta toplanmaktadır. Bunlar; ısılı Őlem sıcaklığı 80-90°C, toplam çevrim süresi 6-7 saat olan hızlı(sert)  evrimler, ısılı Őlem sıcaklığı 70°C civarında, toplam çevrim süresi 9-11 saat olan orta(ılımlı)  evrimler ve ısılı Őlem sıcaklığı 55-60°C'yi aşmayan, toplam çevrim süresi 20-22 saat olan yavaş(yumuşak)  evrimler olarak adlandırılmaktadır (Alabaş, 2002).

Yukarıda sayılan faktörlerin her biri buhar kürü uygulamasının başarı ve ekonomik verimlilik derecesi üzerinde etken olmakla beraber ilerinden en önemlileri buhar kürü çevrimi ve çimentodur ( ztekin, 1980).

## **DeneySEL alışmalar**

### **Kullanılan Malzemeler**

DeneySEL çalışmalarda kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıda sunulmuştur.

#### **Çimento**

Tüm deneylerde imentaaş fabrikasının üretimi olan P 42,5 ve PK/A 42,5 tipi çimentolar kullanılmıştır. Çimentoların  retici fabrikadan alınan kimyasal içeriği ve fiziksel özellikleri aşağıda Tablo 1' de verilmiştir. Fiziksel ve kimyasal  zellikler P 42,5 için TS 19 da belirtilen standardına, PK/A 42,5 için TS 12143 de belirtilen standardına uygundur. PK/A 42.5 imentosu, %12.4 oranında mineral katkı (tras+uçucu kül) içermektedir.

#### **Agregalar**

Beton örneklerin üretiminde kullanılan maksimum agrega tane boyutu 25 mm olarak seçilmiş ve karışımlarda dört farklı boyutta agrega kullanılmıştır. Kaba ve ince agrega oranları TS 802'ye uygun olarak tanımlanan granülometri eğrileri içinde kalacak biçimde ince agrega olarak doğal kum %25, 0-5 mm kırmataş tozu %25; kaba agrega olarak 1 No'lu (5-15 mm) kırmataş %27, II No' lu 15-25 mm kırmataş %23 oranlarında kullanılmıştır. Agregaların  zg l ağırlık ve su emme oranlarının tespiti TS 3256 (1980) a bağlı olarak TS 707' e uygun deneylerle yapılmış ve deney sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 1 : Kullanılan Çimentoların kimyasal içeriği ve fiziksel özellikleri**

KİMYASAL ÖZELLİKLER	ÇİMENTO TİPİ	
	PÇ 42,5	PKÇ/A 42,5
SiO <sub>2</sub>	19,70	23,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,97	6,43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,58	3,49
CaO	64,25	56,79
MgO	0,91	0,69
Na <sub>2</sub> O	0,17	0,26
K <sub>2</sub> O	0,77	1,06
SO <sub>3</sub>	2,65	2,18
Cl	0,011	0,017
Kızdırma Kaybı	1,78	2,16
Çözünmeyen Kalıntı	0,38	6,20
Serbest CaO	1,07	1,60
<b>FİZİKSEL ÖZELLİKLER</b>		
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3600	3561
Priz Başlangıcı (dak.)	135	145
Priz Sonu (dak.)	205	230
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,15	3,04

**Tablo 2 : Agregaların özgül ağırlıkları ve su emme oranları**

Agrega Boyutları(mm)	Özgül Ağırlıklar	Su Emme (%)
Kırmataş Kaba Agregası 5-15 mm	Kuru: 2.69 ; KYD*: 2.70	0,70
Kırmataş Kaba Agregası 15-25 mm	Kuru: 2.69 ; KYD: 2.70	0,67
İnce Agregası (Doğal Kum) 0-3	Kuru : 2.47 ; KYD: 2.53	2,20
İnce Agregası (Kırmataş Tozu) 0-5	Kuru : 2.58 ; KYD: 2.62	1,40

\*KYD: Kuru Yüzey Doygun

### **Karışım Suyu**

İçinde yağ, organik madde ve alkaliler içermeyen içilebilir nitelikteki musluk suyu tüm karışımlarda kullanılmıştır. Normal hava koşullarında dökülen betonda ( TS 1247) kullanılan karışım suyu için önerilen özellikler buhar kürü uygulanacak beton için de geçerlidir.

### **Süperakışkanlaştırıcı Katkı**

Beton karışımlarında Daracem 190 adlı süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Çok yüksek dağılma yapısına sahip olan sülfonat sentetik polimer bazında bir katkıdır. Klorür içermeyip koyu renkte, sıvı fazda, su içerisinde çözülen, yoğunluğu  $1,15 \text{ g/cm}^3$  olan bu katkının kullanım dozajı çimento ağırlığının % 0,8-1,6 aralığındadır. Dispersiyon etkisi ile beton karışımı içerisindeki ince çimento ve katkı parçacıklarının yapışmasını önler ve su ihtiyacını azaltır. ASTM C494 Tip A ve F ye uygundur.

### **Beton Karışımları, Üretimi ve Uygulanan Buhar Kürü Çevrimleri**

PÇ 42.5 ve PKÇ/A 42.5 çimentoları ile  $400 \text{ kg/m}^3$  dozaj ve  $S/C=0.44$  alınarak yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan betonların  $1 \text{ m}^3$ 'üne girecek malzeme miktarları (ağırlıkça) Tablo 3' de gösterilmiştir.

**Tablo 3: Bir  $\text{m}^3$  Beton üretiminde kullanılan malzeme karışım miktarları(kg)**

<b>MALZEME</b>	<b>PÇ42.5</b>	<b>PKÇ/A42.5</b>
Çimento	400	400
Su	176	176
15-25mm Mıcır (KYD)	425	423
5-15mm Mıcır (KYD)	497	495
0-5mm Mıcır Tozu (KYD)	449	446
0-3mm Doğal Kum (KYD)	433	431
Süperakışkanlaştırıcı	6.4	6.4
Islak Birim Hacim Ağırlık( $\text{kg/m}^3$ )	2386	2377

Beton üretimi Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında;  $25\pm 2^\circ \text{C}$  sıcaklık ve % 60 bağıl nem ortamında, 50 lt kapasiteli yatay eksenli betoniyerde karıştırılarak yapılmıştır.

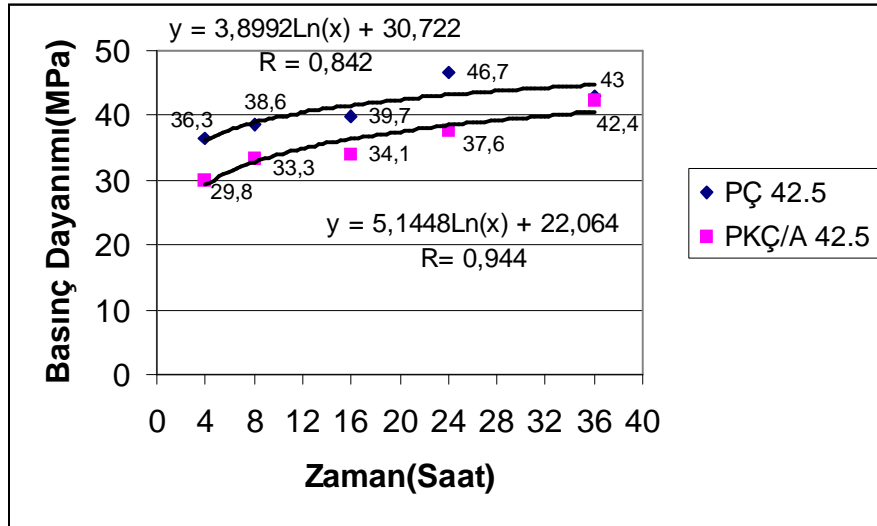
Taze beton deneylerinde ilk olarak çökme değerinin ölçülmesi amacıyla TS 2871'e uygun olarak kıvam deneyi yapılmıştır. Her bir karışım için ayrı olarak yapılan kıvam deneyleri sonucunda ortalama 6 cm çökme bulunmuştur. Taze betondaki hava miktarı TS 2901'e uygun olarak her bir karışım için yapılmış ve ortalama %1.8 hava içeriği tespit edilmiştir. Taze beton deneyleri yapıldıktan sonra beton daha önceden hazırlanmış (temizlenip yağlanmış) 15 cm ayrıtlı metal küp kalıplara TS 3068 e uygun sıkıştırma (şişleme yolu ile) işlemleri yapılarak yerleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan buhar kürü kabini, Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda bulunan 25 Amp.-380 V. elektrik gücüyle çalışan,  $0-120^\circ \text{C}$  arasında ısıtma-soğutmayı kabinin her tarafında homojen biçimde olması amacıyla sirkülasyon fanı ile yapabilen, manuel ayarlamalı 200-80-50cm ebatlarında tabandan su ısıtmalı bir sistemdir. Ortamdaki nem miktarı her zaman %100 doygun halde su buharı ile sağlanmıştır. Çalışmalarda ısıtma ve soğutma hızlarının aynı kalması amacıyla tabandaki su seviyesi sabit tutulmuştur.

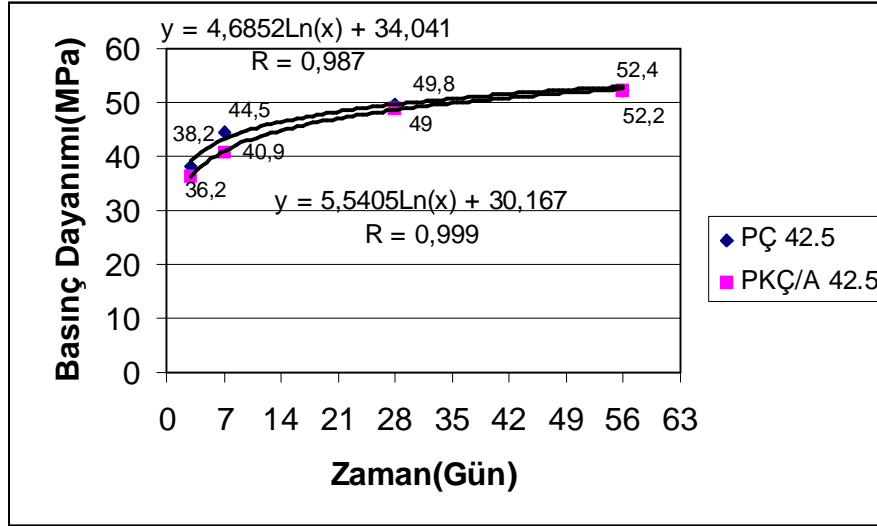
Kalıplara yerleştirilip gerekli sıkıştırma işlemleri yapıldıktan sonra buhar kürü kabine girecek örnekler 3 saat ön bekleme süresince laboratuvar şartlarında saklanmıştır. Buhar kürü kabine yerleştirilen örnekler 65°C işlem sıcaklığına 18±1°C/saat ısıtma hızı uygulanarak getirilip, bu sıcaklıklardan 11±1°C soğutma hızı kullanılarak soğutulduktan sonra kırılmıştır. Bu değer literatürlerde belirtilen zararlı sıcaklık sınırının altında kaldığı için sakıncasız kabul edilmiştir. Çıkarılan örnekler yaklaşık 15 dakika içinde kalıplarından sökülerek TS 3114 e uygun olarak presde kırılmıştır. Basınç dayanımlarının belirlenmesinde ELE marka 300 ton kapasiteli pres kullanılmış olup, yükleme hızı 3,02 kg/sn/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

## Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İki farklı çimento tipi kullanılarak hazırlanmış beton karışımlarının 65°C üst kür sıcaklığında beş farklı ısı emdirme sürecinde (4, 8, 16, 24, 36 saat) bekletildikten sonra kazandıkları basınç dayanımlarının zamana bağlı grafiği logaritmik olarak Şekil-1'de gösterilmiştir. Suda kürlenmiş şahit örneklerin basınç dayanımlarının zamana bağlı grafiği ise Şekil-2'de verilmiştir. Yapılan eğri uyumu çalışmaları sonunda bulunan ilişkilerin regresyon katsayıları, 0,842 ile 0,999 arasında değişmektedir.



Şekil-1 : 65°C Buhar kürü uygulanan örneklerin basınç dayanımı-zaman ilişkisi



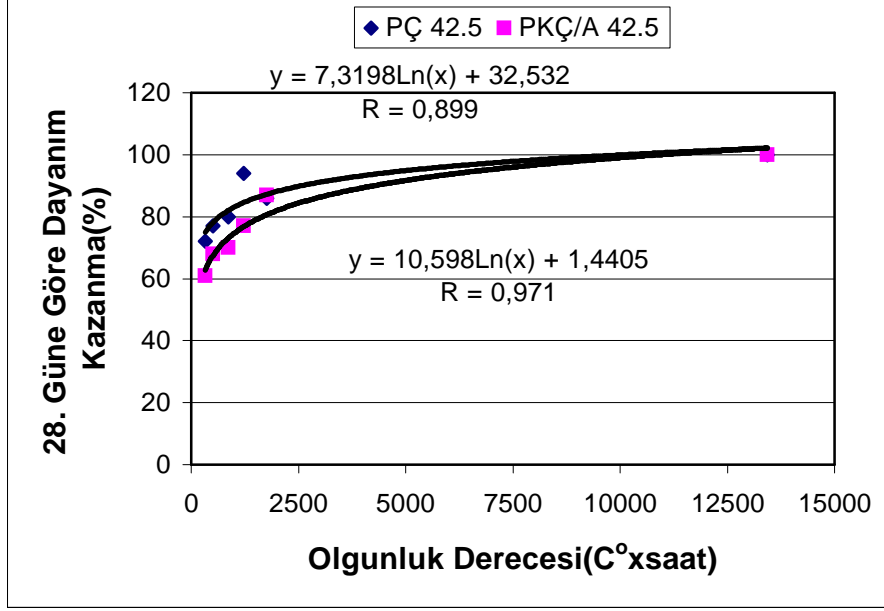
Şekil-2 : Şahit beton örneklerinin basınç dayanımı-zaman ilişkisi

Buhar kürü uygulanarak beş farklı ısı emdirme sürecinde bekletilen örneklerin basınç dayanımlarının, şahit beton örneklerinin 3, 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımlarına göre dayanım kazanma yüzdeleri ise çimento tiplerine göre Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 4 : 65°C’de Kür Edilen Betonların Normal Kür Uygulanmış Şahit Betonlara Göre Değişik Günler İçin Dayanım Kazanma Yüzdeleri**

Çimento Tipi	Isıl İşlem Süresi(saat)	Şahit Örneklere Göre Dayanım Kazanma (%)			
		3 gün	7 gün	28 gün	56 gün
PÇ 42.5	4	95	82	73	69
	8	101	87	78	74
	16	104	89	80	76
	24	122	105	94	89
	36	113	97	86	82
PKÇ/A 42.5	4	82	73	61	57
	8	92	81	68	64
	16	94	83	70	65
	24	104	92	77	72
	36	117	104	87	81

20°C ortam sıcaklığından itibaren, iki buçuk saat 65°C' a kadar ısıtma, 4 saat 65°C'da ısı emdirme ve 4 saat 20°C ortam sıcaklığına kadar soğutma şeklinde ısıl işlem çevrimine tabi tutulan örneklerin olgunluk derecelerinin, 20°C su içinde 28 gün kür edilen şahit örneklerle göre, dayanım kazanma yüzdesi Şekil 3'de grafik olarak verilmiştir. Grafik, buhar kürü çevrimindeki zaman-sıcaklık eğrisi altında kalan alan (C°xsaat) ve beş farklı buhar kürü sürecindeki basınç dayanımlarının 28 günlük normal kür basınç dayanımına oranı esas alınarak çizilmiştir. Yapılan logaritmik eğri uyumu çalışması sonunda, ilişkilerin regresyon katsayıları çimento tiplerine göre, 0.899 ve 0.991 olarak bulunmuştur.



**Şekil 3 :** Olgunluk Derecesi ve 28 günlük Şahit Betona Göre Dayanım Kazanma Yüzdesi Arasındaki İlişki

Şekil 3'de verilen grafiklere ait denklemler kullanılarak, 28 gün su içinde kürlenmiş örneklerle göre dayanım yüzdesi esas alınır, kalıp alma için gerekli olgunluk derecesi belirlenebilir. Örneğin, 28 günlük dayanıma ulaşmak için PKÇ/A 42.5 çimentolu betonda 10036 C°xsaat, PÇ 42.5 çimentolu betonda ise 10936 C°xsaat olgunluk derecesi sağlayacak şekilde kür süresinin ayarlanması gerekmektedir.

## Sonuçlar

1) 65°C'de buhar kürü uygulanan örneklerin basınç dayanımlarının, PÇ 42,5 çimentosu ile üretilmiş betonlarda, PKÇ/A 42,5 ile üretilmiş betonlara kıyasla 24 saatlik kür süresine kadar ortalama %20 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir. PÇ 42,5 ile üretilmiş örneklerin 24 saatlik kür süresi dahil basınç dayanım değeri zamanla artarken, 36 saatlik kür sonrası dayanımda %8 oranında azalma görülmüştür. Bu durumun, çimentonun C<sub>3</sub>S (trikalsiyum silikat) karmaşık bileşeni miktarının (bu çalışmada



%61.41), buhar kürü uygulanacak çimentolar için tavsiye edilen %55-60 sınırının biraz üzerinde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

2) PKÇ/A 42,5 çimentosu ile üretilmiş beton örnekler, buhar kürü uygulama süresinin artmasına bağlı olarak basınç dayanımlarında 36 saatlik süre dahil olmak üzere sürekli artış göstermektedir. Bu durum, PKÇ/A 42,5 çimentosu içerisindeki mineral katkının (uçucu kül) sıcaklığın artışıyla, çimentonun hidrasyon hızı ve açığa çıkan serbest kireç miktarının (  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) artması sonucu daha fazla puzolanın serbest kireçle birleşerek güçlü iç bağlar oluşturmaya bağlanabilir.

3) Isıl işlem görmüş beton örneklerinin ısıl işlem süresine bağlı basınç dayanımları, su içinde kür yapılan örneklerin basınç dayanımları ile kıyaslandığında;

- En yüksek dayanım kazanma, PÇ 42.5 çimentosu için 24 saat buhar kürü-3 gün su kürü ilişkisinde %122 olarak, PKÇ/A 42.5 çimentosu için 36 saat buhar kürü-3 gün su kürü ilişkisinde %117 olarak elde edilmiştir.
- PÇ 42.5 çimentosu ile üretilen betonların 24 saatlik ısıl işlem sonunda normal kür gören 28 günlük betonların basınç dayanımının %94'ünü,
- PKÇ/A 42.5 çimentosu ile üretilen betonların 36 saatlik ısıl işlem sonunda normal kür gören 28 günlük betonların basınç dayanımının %87'sini

sağladığı görülmektedir. Kullanılan malzemeler ve belirlenen beton karışım oranları için, PÇ 42.5 çimentosu ile üretilen betonlara 24 saat, PKÇ/A 42.5 çimentosu ile üretilen betonlara 36 saat, 65°C buhar kürü uygulanması sonucunda hemen hemen 28 gün su içinde kür edilen beton basınç dayanımlarına yaklaşmaktadır.

4) Deney verileri, normal kür koşullarında PÇ 42.5 çimentosunun, PKÇ/A 42.5 çimentosuna kıyasla erken yaşlardaki dayanım kazanma eğiliminin, buhar kürü yöntemindeki ısıl işlem uygulama süreleri için de benzer olduğunu göstermektedir.

## Referanslar

ACI Commitee 517., 1980, Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressure Steam, *ACI Journal*, , *American Concrete Institute*, Vol. 77,pp. 429-449.

Alabaş, V., 2002, Buhar Kürü Yönteminin Beton Basınç Dayanımına Etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İzmir.

Neville, A.M., 1997, *Properties of Concrete*, Pitman Publishing, London.

Öztekin, E., 1980, Beton Sertleşmesinin Hızlandırılmasında Isıl İşlem Çevrimi ve Çimento Seçimi, *Tübitak Kurumu Bilgi Profili No 31*, Ankara.