



**DEĞİŞİK TİP ÇİMENTOLARLA HAZIRLANAN HARÇLARIN  
EĞİLME SONRASI BASINÇ DAYANIMI İLE DOĞRUDAN BASINÇ  
DAYANIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

***(THE COMPARISON OF DIRECT AND INDIRECT COMPRESSIVE  
VALUES OF MORTARS PRODUCED WITH  
DIFFERENT TYPES OF CEMENTS)***

Hayri ÜN\*

**ÖZET/ABSTRACT**

Çimentoların mekanik dayanımlarının belirlenmesi için değişik ülkelerin standartlarında değişik yöntemler önerilmektedir. Bu deney yöntemlerine göre 28 günlük basınç dayanımları esas alınmaktadır. Ancak örnek boyutları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Genellikle kullanılan iki örnek tipi ve boyutu; 50 mm ayrıtlı küp ve 40×40×160 mm ayrıtlı prizmadır. Bu yöntemler arasındaki en önemli farklardan birisi de deneyin uygulanma şeklidir. 50 mm ayrıtlı küplere doğrudan basınç dayanımı uygulanmaktadır. 40×40×160 mm ayrıtlı prizmalarda ise eğilme sonrası basınç dayanımı deneyi uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, üç değişik tip çimento ile hazırlanan harçların doğrudan basınç dayanımı ile eğilme sonrası basınç dayanımları arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca eğilme dayanımı ile doğrudan basınç dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımı arasındaki bağlantılar bulunmuştur.

*For determination of compressive strength of cement mortars different methods are stated in standards of different countries. According to those standards 28 day strength is essential. However there is difference in specimen dimensions & methods. General specimen size and shapes are 50 mm cube and 40x40x160 mm prisms. One of the most important differences of those methods is the implementation of tests. Direct compressive test is applied on 50 mm cubic specimens. However on 40x40x160 mm prismatic specimens, compressive test is applied after flexure test.*

*In this study, the relation between direct compressive strength and compressive strength after flexure test of mortars produced with three different types of cement was investigated. Also functions between flexural strength and compressive strength after flexure test and functions between flexural strength and direct compressive strength were determined.*

**ANAHTAR KELİMELELER/KEY WORDS**

Doğrudan basınç dayanımı, Eğilme dayanımı, Eğilme sonrası basınç dayanımı  
*Direct compressive strength, Flexural strength, Compressive strength after flexure test*

---

\* DEÜ, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Tınaztepe Kampüsü, İZMİR

## 1. GİRİŞ

Çimentonun mekanik dayanımı, yapısal anlamda en fazla ihtiyaç duyulan özelliğidir. Bu yüzden bütün şartnamelerde dayanım testlerine yer verilmiştir. Harçların veya çimento hamurunun mukavemeti, çimento hamurunun kohezyonu ve agrega parçaları ile adezyonuna bağlıdır. Ayrıca belli bir değere kadar agreganın kendi dayanımını da bağlıdır. En son faktör standart agrega kullanılması ile çimentonun kalitesinin belirlenmesinde ortadan kaldırılmaktadır (Neville, 1999).

Dayanım testleri, kalıplama işindeki zorluklar ve sonuçlardaki büyük değişkenliklerden dolayı sadece çimento hamuru üzerinde yapılmamaktadır. Çimento-kum karışımları (harç) ve bazı durumlarda özel malzemeleri ve önceden belirlenmiş oranlarda karışımı olan betonlar da, çok sıkı bir şekilde kontrol edilen şartlarda çimentonun dayanımını belirlemede kullanılmaktadır (Neville, 1999).

Dayanım testlerinin değişik şekilleri vardır; doğrudan çekme, serbest basınç ve eğilme. En sonuncusu gerçekte eğilmede çekme dayanımını belirlemektedir. Çünkü bilindiği gibi hidrate çimento hamurunun basınç dayanımı, çekme dayanımından oldukça fazladır (Neville, 1999).

Daha önceleri, biriketler üzerinde doğrudan çekme testleri yapılagelmişti, ancak saf çekme deneyinin uygulayabilmek oldukça zordur, bu yüzden böyle bir deneyin sonuçları da oldukça büyük bir aralıkta değişmektedir. Bununla birlikte, yapısal dizaynlar, basınç dayanımına göre yapıldığı için, çimentonun doğrudan çekme dayanımı ile basınç dayanımı kadar ilgilenilmemektedir. Benzer şekilde eğilme dayanımına basınç dayanımı kadar önem verilmemektedir. Bu yüzden son yıllarda basınç dayanımının daha önemli olduğu düşünülmekte, basınç dayanımının belirlenmesinde kum-çimento harçlarının daha gerçekçi sonuçlar verdiği inaniılmaktadır. Ayrıca yol ve havaalanı betonlarında eğilme dayanımı tespit edilmesi istenmektedir (Baradan, 1998).

Birçok ülkede artık çimento harçlarının basınç dayanımları, farklı yöntemlerle belirlenmektedir. Bunlardan birisi 50 mm ayrıtlı küp örneklerin serbest basınç deneyine tabi tutulması şeklindedir. Diğer ise 40×40×160 mm ayrıtlı prizma örneklerin eğilme deneyinden sonra basınç deneyine tabi tutulması şeklindedir. Eğilmeden sonra yapılan basınç deneyi ile bulunan basınç dayanımları, küp örneklerin serbest basınç dayanımlarından farklı olmaktadır. Bu çalışmada bu fark irdelenmiştir.

Örneğin Avrupa Standardı EN196-1, çimentonun basınç dayanımının harç örnekler üzerinde tespitini öngörmektedir. Örnekler 40 mm ayrıtlı eşdeğer küpler şeklinde test edilmektedir. Örnekler 40×40×160 mm boyutlu prizmaların önce eğilme testi uygulanarak ikiye bölünmesi veya direkt olarak ikiye kesilmesi ile elde edilmektedir. Bu yüzden 100 mm açıklıklı ortadan tekil yüklemeli eğilme deneyinin yapılması opsiyonel olarak yapılması mümkündür. Deney karışımı CEN (Avrupa Standart komitesinin Fransızca'sının kısaltmasıdır) kumu kullanılarak hazırlanan harçlar üzerinde yapılır. Kum değişik yerlerden temin edilebilecek olan, doğal, silisli ve küreye yakın şekilli bir kumdur.

Çimentonun dayanımını tespit için ASTM metodu ASTM; C109'da belirtilmiştir. Bu standarda göre 1:275 oranında çimento-kum kullanılarak S/Ç oranı 0.485 olan 50 mm ayrıtlı küplerde hazırlanan harçlar kullanılmaktadır.

Türk Standartı TS 24'de eğilme deneylerinde 40×40×160 mm ayrıtlı dikdörtgenler prizması şeklinde hazırlanan örnekler iki mesnede yerleştirilip, açıklığın ortasından çizgisel P yükü ile yüklenirler. Kırılıncaya kadar yük artırılarak, çimento harcının eğilme dayanımı saptanır. Eğilme deneyi sonucu, iki parçaya ayrılan yarım prizmalar üzerinde basınç deneyi yapılır. Bu amaçla her iki yarım prizma, sert metalden iki levha arasına konularak tek eksenli basınç deneyine tabi tutulur.

## 2. DENEY MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİ

Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ilgili bilgiler aşağıda sunulmuştur.

### 2.1. Kum

Önemli miktarda standart kum temininin zorluğu nedeniyle araştırma kapsamında incelenecek olan üç tip çimento ile kullanılmak üzere Aydın ili Çine ilçesinden Kuvars ağırlıklı doğal kum temin edilmiştir. Kullanılacak kumun elek analizi sonuçları ile su emme kapasitesi, kuru yüzey doygun özgül ağırlığı, birim hacim ağırlığı gibi özellikleri tespit edilmiş ve Çizelge 1 ve 2’de özetlenmiştir. Kullanılan kumun granülometri eğrisi de Şekil 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. Kullanılan Kumun Bazı Fiziksel Özellikleri

Özellik	Kum
Kuru Özgül Ağırlığı	2,597
KYD Özgül Ağırlığı	2,618
Su Emme Kapasitesi (%)	0,81
Gevşek BHA ( $\text{kg/m}^3$ )	1694
Sıkıştırılmış BHA ( $\text{kg/m}^3$ )	1788

Çizelge 2. Kullanılan Kumun Elek Analizi Sonuçları

Elek NO	Elekte Kalan	Kümülatif Kalan	Elekte Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
4	-	0	0	100
2	270	270	29	71
1	273	543	59	41
0.5	178	721	78	22
0.25	108	829	90	10
Elek Altı	91	920	100	

### 2.2. ÇimentU

Araştırmada kullanılmak üzere oldukça fazla tüketimi olan üç değişik tip çimento seçimine gidilmiştir. Bunlar arasında sınıf farklılığı olmaması için ise bütün çimentolar PÇ42.5 sınıfı çimentolardan seçilmiştir. PÇ42.5 ve PKÇ/A 42.5 ile PKÇ/A 42.5R tipi çimentolar kullanılmıştır. Bu çimentoların özellikleri Çizelge 3’te verilmiştir. Deney verileri üretici firmalardan temin edilmiştir.

Çizelge 3. Kullanılan Çimentoların Özellikleri

	PÇ 42.5	PKÇ/A 42.5	PKÇ/A 42.5R
SiO <sub>2</sub> (%)	14.73	24.59	20.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.80	6.95	3.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3.61	3.59	3.50
CaO (%)	64.29	57.03	59.22
MgO (%)	0.85	0.86	2.39
Na <sub>2</sub> O (%)	0.30	0.25	-
K <sub>2</sub> O (%)	0.79	0.82	-
Eşdeğer Alkali (%)	0.85	0.79	-
SO <sub>3</sub> (%)	2.40	2.40	2.31
Cl (%)	0.015	0.017	0.01
LOI (%)	1.30	1.80	6.67
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0.45	8.50	1.06
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3500	3639	4127
Priz Başlangıcı (dakika)	105	125	180
Priz Sona Ermesi (sa:dak)	2:45	3:10	4:20
Hacim Genleşmesi (mm)	0	1	1
Serbest CaO (%)	1.00	1.2	1.08
C <sub>3</sub> S (%)	62.60	-	-
C <sub>2</sub> S (%)	9.35	-	-
C <sub>3</sub> A (%)	6.62	-	-
C <sub>4</sub> AF (%)	10.99	-	-
Özgül Ağırlık	3.10	3.02	2.99
1 günlük dayanım	17.00	15.00	-
2 günlük dayanım	25.00	24.00	22.00
3 günlük dayanım	33.00	32.00	-
7 günlük dayanım	41.00	40.50	37.00
28 günlük dayanım	50.00	52.00	48.00
Katkı Maddesi (%)	-	5.0 Tras 7.0 Uçucu Kül	5.0 Tras 11.0 Kalker

### 2.3. Su

Kullanılan su, İzmir ili çeşme suyu şebekesinden sağlanan içilebilir sudur.

Değişik üç tip çimentonun mekanik özelliklerini belirlemek üzere Çizelge 4'te belirtilen koşullar, değişkenler ve harç örnek boyutları seçilmiştir.

Çizelge 4. Deney koşulları ve değişkenleri

Saklama Koşulları	ÇimentU tipleri	Kür zamanı	Örnek tipi
20±2°C sıcaklık çeşme suyunda	PÇ42.5 PKÇ/A 42.5 PKÇ/A 42.5R	2, 7, 14, 21, 28 gün	5 cm ayrıtlı küp 4×4×16 cm boyutlu prizma

Çizelge 4’te belirtilen programa uygun olarak, temin edilen malzemeler ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bunun için üç değişik tip çimento ile 4×4×16 cm boyutlu prizma ve 5 cm ayrıtlı küp örnekler hazırlanmıştır. Bu örnekler, standart kür koşullarında deney gününe kadar bekletilmiştir. Deney günleri dökümden sonraki 2., 7., 14., 21. ve 28. günlerdir. 4×4×16 cm boyutlu prizma örnekler üzerinde TS 24’e uygun olarak eğilmede çekme ve basınç mukavemet deneyleri ve yapılmıştır. 5 cm ayrıtlı küp örnekler üzerinde ise doğrudan basınç deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge ve grafikler halinde verilmiştir.

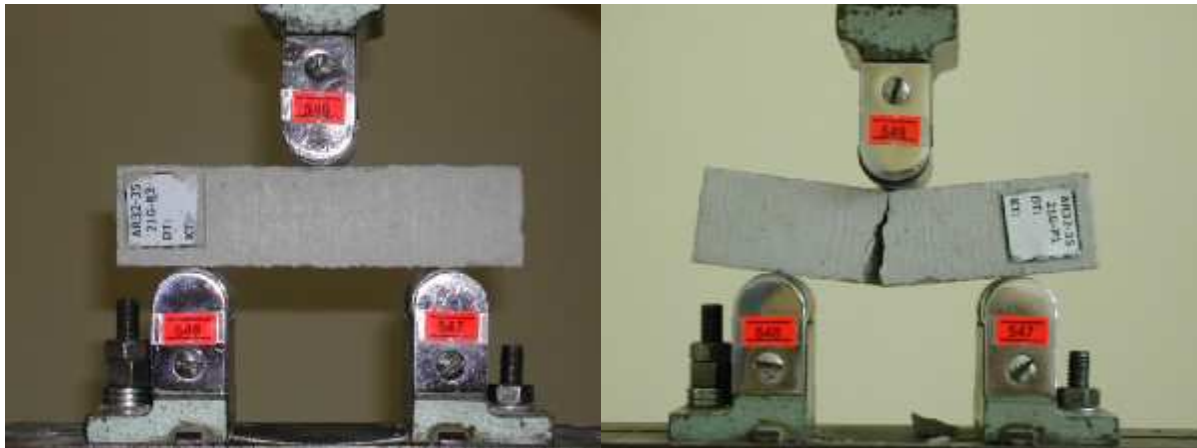
### 3. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylerin yapımı aşamasında örnekler TS 24’e uygun olarak 1:3 oranında çimento:kum karışımı hazırlanmıştır. Örneklerin Su/Çimento oranı 0.5’tir. Karışım hazırlanırken öncelikle karıştırma kabına öncelikle su katılmış, daha sonra suyun üzerine çimento dökülmüştür.

Oluşturulan bu karışım belirli bir süre karıştırıldıktan sonra karıştırma devam ederken kum ilave edilmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra temizlenmiş ve ince bir şekilde yağlanan kalıplara bir kaşık yardımı ile yerleştirmeye başlanmıştır. Bu iş için kalıplar önce yarısına kadar doldurulmuştur. Yarısına kadar doldurulan kalıplar sarsma tablasında 1 dk. süre ile tutulmuştur. Sarsma işleminden sonra kalıplar tamamen doldurularak tekrar 1 dk. süre ile sarsılmak üzere sarsma tablasına konmuştur.

Bütün işlemler sırasında ortam sıcaklığı 20±2°C ve bağıl nemi %60±5 olarak ölçülmüştür. 24 saat sonra kalıplarından çıkartılan örnekler tartılarak deney gününe kadar bekletilmek üzere 20°C’de su içerisinde bekletilmiştir. Kür suyu 15 gün sonunda değiştirilmiştir.

Deney günü 4x4x16 cm boyutlu prizma örnekler eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyi, 5 cm ayrıtlı küp örnekler ise serbest basınç deneyi yapılmak üzere kür ortamından çıkartılmıştır. Eğilme dayanımının tespiti Şekil 2’de görüldüğü 3 noktadan yüklemeli deney ile yapılmıştır. Şekil 1’de örneklerin yüklenmeden önceki ve kırıldıktan sonraki durumu görülmektedir.



Şekil 1. Üç nokta eğilme deneyi

3 nokta eğilme deneyi 10 cm açıklıkta uygulanmış ve kırılma yükü okunduktan sonra;

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{\frac{P \cdot L}{4}}{\frac{b \times h^2}{6}} \text{ formülünden eğilme dayanımı hesaplanmıştır.}$$

$\sigma$  : eğilme dayanımı ( $\text{kgf/cm}^2$ ),  
M : Maksimum moment,  
W : Mukavemet momenti  
P : Kırılma yükü (kgf),  
b : Örnek genişliği,  
h : Örnek yüksekliği

*Not: Elde edilen eğilmede çekme dayanımı değerlerinin birimleri daha sonra MPa'a çevrilerek verilmiştir.*

Eğilme deneyi sonucu iki parçaya ayrılan prizma örnekler Şekil 2'de görülen aparat içerisine yerleştirilerek  $4 \times 4 \text{ cm}^2$  lik bir alanda eğilme sonrası basınç deneyine tabi tutulmuşlardır.



Şekil 2. Eğilme sonrası basınç deneyi

5 cm ayrıtlı küp örnekler üzerinde serbest basınç deneyi Şekil 3'te görüldüğü yapılmıştır.



Şekil 3. Doğrudan basınç deneyi ve kırılan örnekler

#### 4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel programa göre hazırlanan harç örneklerin mekanik özelliklerinden eğilme ve basınç dayanımları üç örneğin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

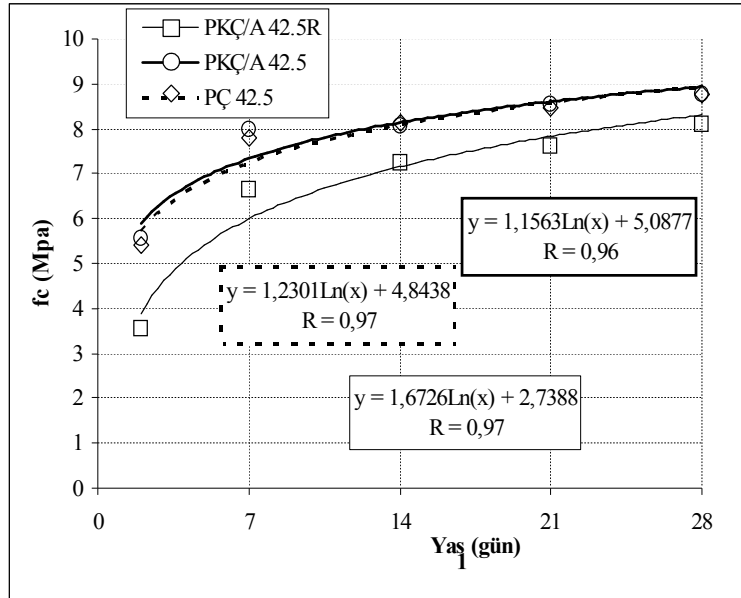
#### 4.1. Harçların Eğilmede Çekme Dayanımları

Hazırlanan 4×4×16 cm ayrıtlı harç örneklerin 3 nokta eğilme deneyi sonucunda üç değişik tip çimentonun eğilmede çekme dayanımı Çizelge 5'te verilmiştir. Şekil 4'te ise bu verilere ait grafik görülmektedir.

Çizelge 5. Standart kür koşullarında kür edilen prizma örneklerin eğilmede çekme dayanımları (MPa)

Yaş (gün)	Kullanılan Çimento		
	PÇ 42.5	PKÇ/A 42.5	PKÇ/A 42.5R
2 gün	5,4	5,6	3,5
7 gün	7,8	8,0	6,7
14 gün	8,1	8,1	7,3
21 gün	8,5	8,5	7,6
28 gün	8,8	8,8	8,1

Şekil 4'ten de görüldüğü gibi çimentolar 28 gün sonunda yaklaşık 9 MPa eğilmede çekme dayanımına sahip olmuşlardır. PÇ 42.5 ve PKÇ/A 42.5 çimentoları her yaşta yaklaşık eşit eğilmede çekme dayanımı verirken; PKÇ/A 42.5R çimentosu onlara kıyasla daha düşük dayanıma sahip olmuştur.



Şekil 4. Prizma örneklerin standart kür koşullarındaki ortalama eğilme dayanımları

#### 4.2. Harçların Eğilme Sonrası Basınç Dayanımları

4×4×16 cm ayrıtlı harç örneklerin eğilme deneyi sonunda iki parçaya ayrılmıştır. Bu parçalar üzerinde ayrı ayrı yapılan basınç deneyleri sonucunda elde edilme sonrası basınç

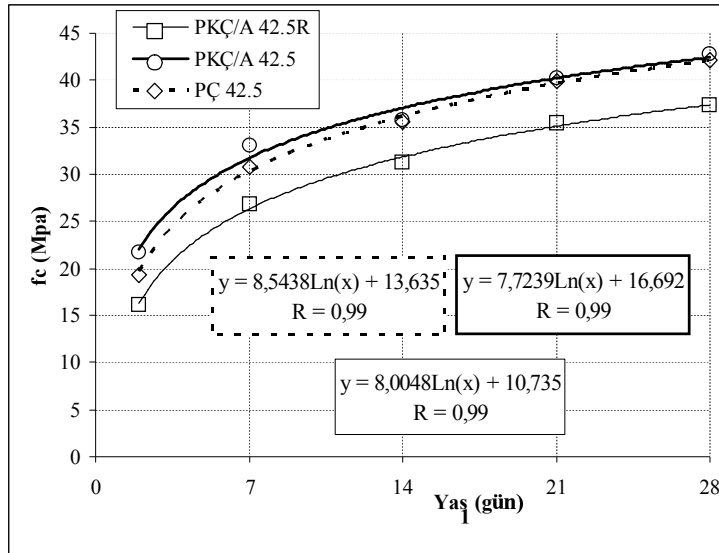
dayanımı değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. Bu verilere ait grafik çizimi ise Şekil 5'te verilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan agrega ve değişik tip çimentolar ile hazırlanan harçların eğilme sonrası basınç dayanımının gelişimi Şekil 5'te görülmektedir. Şekil 5'ten de görüldüğü gibi PÇ 42.5 ve PKÇ/A 42.5 çimentoları her yaşta yaklaşık eşit eğilme sonrası basınç dayanımı verirken; PKÇ/A 42.5R çimentosu onlara kıyasla daha düşük dayanım değerleri vermiştir.

Çizelge 6. Standart kür koşulların kür edilen prizma örneklerin eğilme sonrası basınç dayanımları (MPa)

Yaş (gün)	Kullanılan Çimento		
	PÇ 42.5	PKÇ/A 42.5	PKÇ/A 42.5R
2 gün	19,4	21,7	16,1
7 gün	30,8	33,1	26,8
14 gün	35,6	35,7	31,4
21 gün	39,8	40,2	35,4
28 gün	42,1	42,8	37,3

Üretici firmalardan alınan bilgilere göre; PÇ42.5 tipi çimentonun C<sub>3</sub>S'i %62.60, C<sub>2</sub>S'i %9.35 ve C<sub>3</sub>A'sı %6.62 iken PKÇ/A42.5R tipi çimentonun üretildiği klinkerin söz konusu karma oksitleri C<sub>3</sub>S %50.39 ve C<sub>2</sub>S %20.47 C<sub>3</sub>A %6.26 oranlarındadır. Görüldüğü gibi erken dayanımı sağlayan C<sub>3</sub>S karma oksidi, PKÇ/A42.5R tipi çimentoda daha az oranda bulunmaktadır.



Şekil 5. Prizma örneklerin standart kür koşullarında (20°C çeşme suyu) ortalama eğilme sonrası basınç dayanımları

Ayrıca PKÇ/A42.5R tipi çimentonun katkıları %5.0 Tras, %11 Kalker ile toplamda %16 olurken, PKÇ/A 42.5 tipi çimentonun katkıları %5.0 Tras, %7 Uçucu kül olmak üzere toplamda %12'dir. Dolayısıyla PKÇ/A42.5R tipi çimento PKÇ/A 42.5 tipi çimentoya kıyasla beklenen hızlı dayanım davranışını gösterememiştir.



Ayrıca yine üretici firmalardan alınan bilgilere göre; PÇ42.5, PKÇ/A42.5 ve PKÇ/A42.5R çimentolarının incelikleri sırasıyla 3500, 3639 ve 4127 cm<sup>2</sup>/g'dir. PKÇ/A42.5 tipi çimentonun inceliğinin PÇ42.5 tipi çimentoya göre daha yüksek olması ve kullanılan katkıdan uçucu külün diğer puzolanlara göre erken dayanımı ve akışkanlığı artırıcı etkisinin de olması nedeniyle PKÇ/A42.5 tipi çimento ile PÇ42.5 tipi çimentonun benzer davranışı gösterdiği görülmüştür.

PKÇ/A42.5R tipi çimentonun ince olmasına karşın, diğerlerine kıyasla daha az C<sub>3</sub>S karma oksidi içermesi, daha fazla mineral katkı içermesi, bu çimento tipinin diğerlerine kıyasla daha düşük dayanım değerleri vermesine neden olmuştur.

Bu sonuçlar, çimentonun kimyasal bileşiminin, karma oksit yüzdesinin, özellikle erken dayanımlar açısından inceliğe kıyasla daha baskın bir faktör olduğunu işaret etmektedir. Ayrıca PKÇ/A42.5 tipi çimentoda katkı maddesi olarak uçucu kül (%7 oranında), PKÇ/A42.5R tipi çimentoda kalker tozu (%11 oranında) kullanılmaktadır. Puzolanik etki açısından uçucu külün, kalker tozuna üstünlüğü bilinen bir gerçektir.

### 4.3. Harçların Doğrudan Basınç Dayanımları

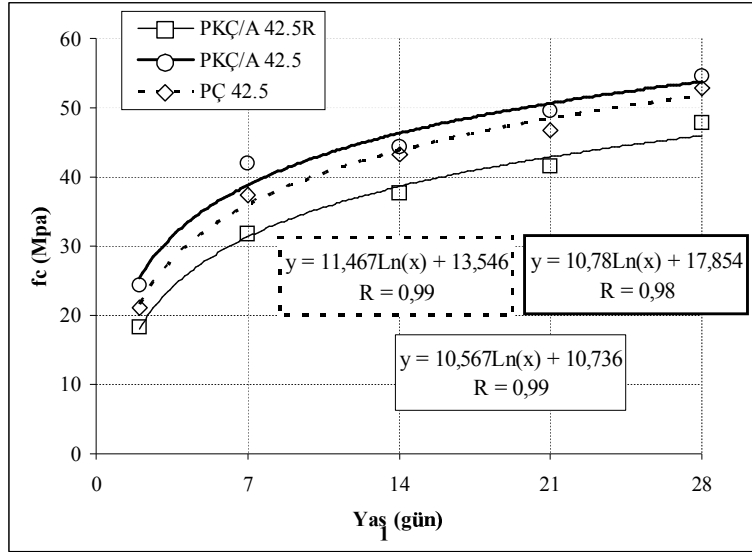
Deneyel çalışmada prizma örneklere yerleştirilen karışım aynı zamanda 5 cm ayrıtlı küplere de yerleştirilmiştir. 5 cm ayrıtlı küp örneklere tek eksenli basınç deneyi uygulanarak doğrudan basınç dayanımı hesaplanmıştır.

Bu deney verileri Çizelge 7'de verilmiştir. Bu verilere göre 5 cm ayrıtlı küp örneklerin basınç dayanımının gelişimi Şekil 6'da görülmektedir.

Eğilme dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımında olduğu gibi doğrudan basınç dayanımında da PÇ 42.5 ve PKÇ/A 42.5 çimentoları her yaşta yaklaşık eşit eğilme sonrası basınç dayanımı verirken; PKÇ/A 42.5R çimentosu onlara kıyasla daha düşük dayanım değerleri vermiştir.

Çizelge 7. Standart kür koşullarında kür edilen örneklerin ortalama doğrudan basınç dayanımları (MPa)

Yaş (gün)	Kullanılan Çimento cinsi		
	PÇ 42.5	PKÇ/A 42.5	PKÇ/A 42.5R
2 gün	21,0	24,3	18,2
7 gün	37,4	42,0	31,8
14 gün	43,3	44,4	37,6
21 gün	46,7	49,6	41,5
28 gün	52,9	54,6	47,7



Şekil 6. Küp örneklerin standart kür koşullarında (20°C çeşme suyu) ortalama basınç dayanımları

#### 4.4. Mekanik Özellikler Arasındaki Bağlılıklar

Bu çalışmada çimentonun harçlarının basınç dayanımlarının bulunmasında kullanılan deney yöntemlerinden ikisinin verdiği sonuçlar değerlendirilmiştir. Bunun için aynı karışımdan oluşturulan 5 cm ayrıtlı küp örneklerin serbest basınç dayanımları ile 4x4x16 cm ayrıtlı prizmaların eğilme sonrası basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Değişik tip çimentolar ile üretilen harçların eğilmede çekme dayanımı ile eğilme sonrası basınç ve doğrudan basınç dayanımı arasındaki ilişkiler ve eğilme sonrası basınç dayanımı ile doğrudan basınç dayanımı arasındaki bağıntılar araştırılmıştır.

Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre 5 cm ayrıtlı örneklerin basınç dayanımlarının ile eğilme dayanımları ve 4x4x16 cm ayrıtlı prizmaların eğilme sonrası basınç dayanımları ile eğilme dayanımları arasında anlamlı ilişkiler kurulmaya çalışılmıştır. Her tip çimento için sonuçlar ayrı ayrı incelendiğinde basınç dayanımları ile eğilme dayanımları arasındaki ilişkiyi ifade etmek için değişik fonksiyonlar denenmiş ve aralarında en iyi korelasyon katsayısını veren seçilmiştir. Eğilme dayanımı ile eğilme sonrası basınç ve doğrudan basınç dayanımları arasında en iyi eğri uyumunu sağlayan ;

$$y = A.e^{B.X}$$

şeklinde üstel bir fonksiyon seçilmiştir. Eğilme sonrası basınç dayanımı ile doğrudan basınç dayanımı arasında ise en iyi eğri uyumunu sağlayan;

$$y = A.x$$

şeklinde lineer fonksiyon seçilmiştir.

Bu fonksiyonların elde edilmesinde her çimento ayrı ayrı ve tüm çimentolar birlikte değerlendirmiştir. Bu fonksiyonlara ait A,B katsayıları ve regresyon katsayıları Çizelge 8'de verilmiştir.

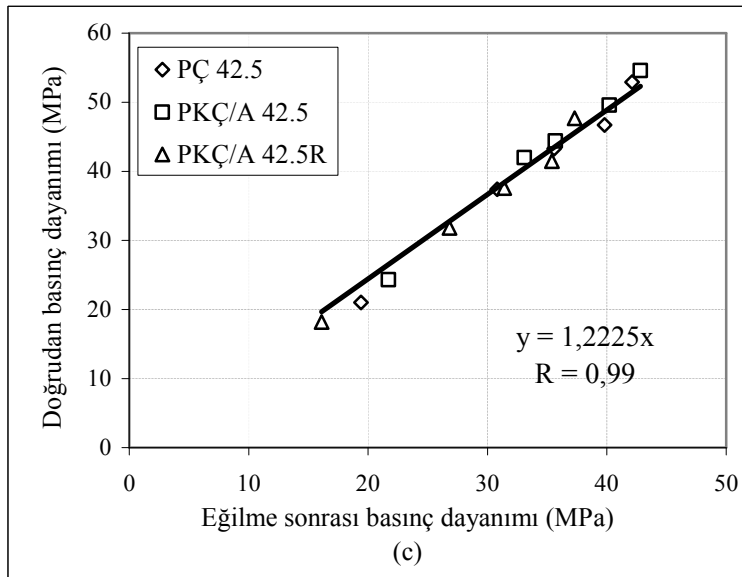
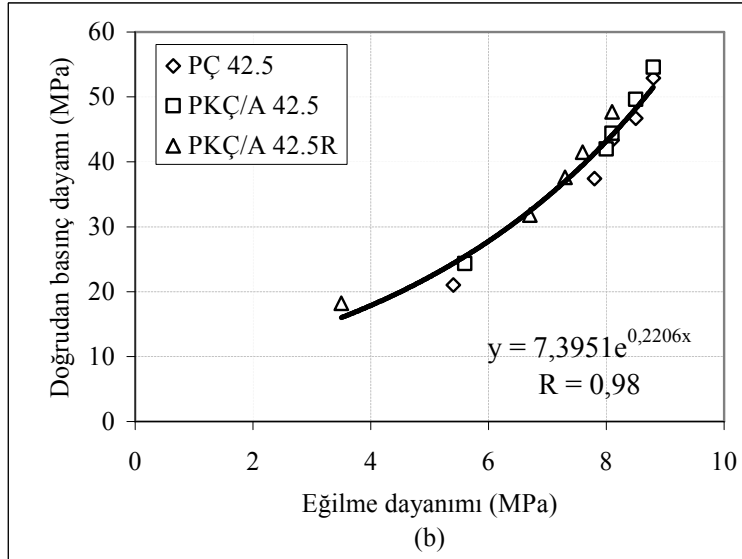
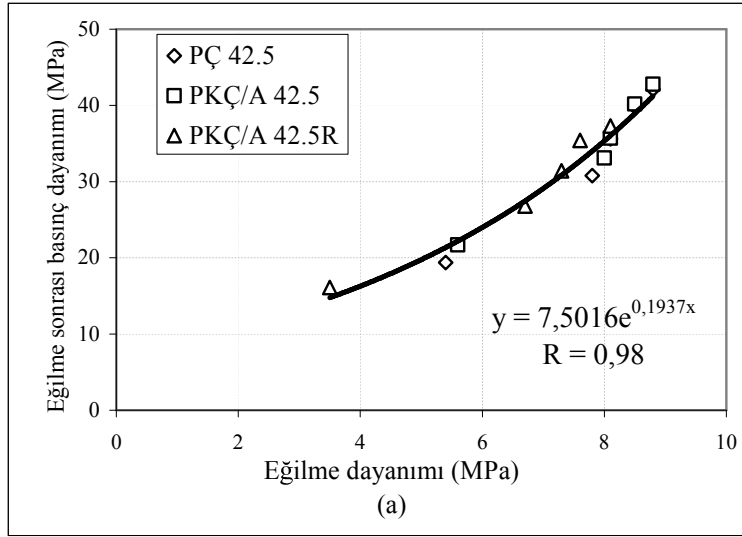
Çizelge 8. Eğri uyumu fonksiyonu katsayıları ve regresyon katsayıları

Eğilmede çekme dayanımı – Eğilme sonrası basınç dayanımı			
Üstel fonksiyon	A	B	R
PÇ 42.5	5.5791	0.2278	0.99
PKÇ / A 42.5	6.6656	0.2081	0.99
PKÇ / A 42.5 R	8.3255	0.1838	0.99
Tüm çimentolar	7.5016	0.1937	0.98
Eğilmede çekme dayanımı – Doğrudan basınç dayanımı			
Üstel fonksiyon	A	B	R
PÇ 42.5	4.9405	0.2658	0.99
PKÇ / A 42.5	6.0138	0.2476	0.99
PKÇ / A 42.5 R	8.7392	0.2030	0.99
Tüm çimentolar	7.3951	0.2206	0.98
Eğilme sonrası basınç dayanımı – Doğrudan basınç dayanımı			
Lineer fonksiyon	A	R	
PÇ 42.5	1.2081	0.99	
PKÇ / A 42.5	1.2097	0.99	
PKÇ / A 42.5 R	1.2456	0.99	
Tüm çimentolar	1.2225	0.99	

Şekil 7’den de görülebileceği gibi değişik tip çimentolar ile elde edilen sonuçlar, ayrı ayrı ve tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde aralarında istatistiksel olarak oldukça iyi bağıntılar kurulabilmektedir. Buna göre 5 cm ayrıtlı örneklerden elde edilen basınç dayanımlarının 4x4x16 cm ayrıtlı prizmaların eğilme sonrası basınç dayanımlarına oranı PÇ 42.5 için 1.21, PKÇ/A 42.5 için 1.21 ve PKÇ/A 42.5R için 1.25 olarak hesaplanmıştır.

Tüm örneklerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda ise 5 cm ayrıtlı örneklerin basınç dayanımlarının 4x4x16 cm ayrıtlı prizmaların eğilme sonrası basınç dayanımdan 1.22 kat büyüktür (Çizelge 8).

Bu durum küçük boyutlu örneklerin, büyük boyutlu örneklerle göre daha yüksek dayanımlara sahip olması durumuna ters düşmektedir. Küçük örneklerin büyüklere kıyasla daha yüksek dayanımlara sahip olmaları büyük örneklerde kusurlu bölge olma olasılığının ve sayısının daha fazla olmasına göre açıklanmaktadır. Ancak karşılaştırılan örneklerde bu kaniya ters sonuçların çıkmasının nedeninin eğilme deneyi sırasında örneklerde oluşabilecek mikro çatlakların eğilme sonrası basınç dayanımı sonuçlarının düşmesine yol açması olarak düşünülmektedir (Şekil 7c).



Şekil 7. Tüm çimentoların değişik mekanik dayanımları arasındaki bağımlılar

## 5. SONUÇLAR

DeneySEL çalışma programı çerçevesinde elde edilen verilerin genel olarak değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. PÇ42.5 ve PKÇ/A42.5 tipi çimento ile hazırlanan harç örnekler birbirine yakın dayanım değerleri verdikleri görülmüştür. PKÇ/A42.5R tipi çimento ile hazırlanan harç örneklerin ise diğer iki tip çimentoya göre daha düşük dayanımlar verdikleri gözlenmektedir. PKÇ/A42.5R tipi çimentonun ilk günlerde daha yüksek dayanım vermesi beklenirken daha düşük dayanım vermesinin, kullanılan çimentoların farklı üreticilerden temin edilmesinden ve bundan dolayı klinker yapıları ve incelikleri gibi özelliklerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
2. Değişik tip çimentolar ile üretilen harçların eğilmede çekme dayanımı ile eğilme sonrası basınç ve doğrudan basınç dayanımı arasında en iyi ilişkiyi verecek şekilde üstel fonksiyon belirlenmiştir. Eğilme sonrası basınç dayanımı ile doğrudan basınç dayanımı arasında ise oldukça iyi bir eğri uyumu sağlayan doğrusal bir fonksiyon elde edilmiştir. Hem üstel hem de doğrusal fonksiyonlarda regresyon katsayısı (R) yaklaşık 0.99'a eşittir. Bu da bağıntıların deneySEL verileri oldukça iyi temsil ettiğini göstermektedir.
3. Teorik olarak aynı şartlar altında, belirli bir limite (çeper etkisi) kadar, küçük kesit alanına sahip örneklerin büyük kesit alanına sahip örneklere göre daha büyük basınç dayanımına sahip olması beklenir (Soroka ve Baum, 1994). Buna göre 50 mm ayrıtlı küp örneklerin; 40 mm ayrıtlı kesit alanına basınç dayanımı uygulanan örneklere göre daha küçük basınç dayanımına sahip olması gerekmektedir. Ancak 50 mm ayrıtlı küp örnekler; 40 mm ayrıtlı kesit alanına sahip küp örneklere göre yaklaşık %22 daha yüksek basınç dayanımı değerleri vermişlerdir. Bu sonuç her iki basınç dayanımının belirlenmesinde uygulanan deney yöntemlerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. 50 mm ayrıtlı küp örneklere doğrudan basınç dayanımı deneyi uygulanırken; 40×40×160 ayrıtlı prizma örneklerin basınç dayanımları eğilme sonrası basınç dayanımı ile belirlenmiştir. 40×40×160 ayrıtlı prizma örneklerin eğilme deneyi sırasında oluşabilecek mikro çatlaklar, basınç dayanımında ihmal edilemeyecek derecede düşüşlere neden olabilecektir.

## KAYNAKLAR

- Baradan B. (1998): "Yapı Malzemesi II", Dokuz Eylül Mühendislik Fakültesi yayınları No:207, İzmir.
- Neville A.M. (1999): "Properties of Concrete", Pearson Education Ltd., London.
- Soroka I., Baum H. (1994): "Influence of Specimen Size on Effect of Curing Regime on Concrete Compressive Strength", J Mater Civil Eng., 6 (1) (1994) 15-22.