



YÜKLEME HIZININ BETON BASINÇ DAYANIMINA VE ELASTİSİTE
MODÜLÜNE ETKİSİ

(THE EFFECT OF LOADING RATE ON COMPRESSIVE STRENGTH AND
MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE)

Burak FELEKOĞLU, Selçuk TÜRKEL*

ÖZET/ABSTRACT

Beton kalite kontrolünde yaygın olarak kullanılan tek eksenli basınç dayanımı deneyinde, farklı yükleme hızları altında aynı örneğin basınç dayanım değeri farklı olabilmektedir. Beton örneğe uygulanan yükün artış hızı azaldıkça örnek daha küçük bir yükte, yüksek yükleme hızlarında ise daha büyük bir yük altında kırılmaktadır. Bu durum düşük yükleme hızında, yükün örnek üzerinde daha uzun bir süre kalması ile betonun bir miktar sünme yapmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle ilgili Amerikan standartlarında beton basınç dayanımı deneyinde uygulanacak yükün 1.5–3.5 kgf/cm²/saniye aralığında olması gerektiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada iki farklı dayanım sınıfındaki beton karışımları ile hazırlanan standart silindir örneklerin iki farklı yaştaki üç farklı gerilme artış hızıyla (standartların önerdiği sınırların içinde, altında ve üstünde) yüklenmesi sonucu elde edilen basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca, yüksek dayanımlı serinin gerilme-deformasyon ilişkileri ile elastisite modülleri incelenmiştir.

From the uniaxial compressive strength test, which is widely used in quality control of concrete, different compressive strengths can be obtained at different loading rates. As the rate of loading decreases, concrete specimen ruptures at a lower strength level, as the rate of loading increases rupture occurs at a higher strength level. This situation can be explained by the increase in the duration time of load on specimen and some creep may take place. For this reason rate of loading is limited to 1.5–3.5 kgf/cm²/sec by American concrete compressive strength test standards.

In this study, standard cylinder concrete specimens were prepared at two strength levels. The compressive strength tests were performed at three different loading rates (over, under and between the recommended values by standards) at two different ages. Stress-strain relationships and modulus of elasticity of high strength concrete specimens were also investigated.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Basınç dayanımı, Yükleme hızı, Gerilme-deformasyon ilişkisi, Elastisite modülü
Compressive strength, Rate of loading, Stress-strain relationship, Modulus of elasticity

* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, İZMİR

1. GİRİŞ

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörleri iç ve dış faktörler olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. İç faktörler; betonu oluşturan malzeme tipi ve oranlarından, dış faktörler ise betonun üretimi, bakımı ve servis ömrü boyunca maruz kalacağı etkilerden kaynaklanmaktadır. Çimento türü, agrega özellikleri, su/çimento oranı, kullanılan kimyasal ve mineral katkıları, beton boşluk yapısı vb. basınç dayanımını etkileyen iç faktörlere, beton döküm ve kür sıcaklığı, kür koşulları, basınç dayanımı deney koşulları, vb. ise dış faktörlere örnek olarak verilebilir (Mehta ve Monteiro, 1997).

Betonun kalite kontrolünde standartlarca öngörülen örnek alma yöntemleri kullanılmaktadır. Örneklerin, alındıkları beton karışımının potansiyelini mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın temsil edebilmesi için, standartlarda deney sırasında uyulması gereken bazı şartlar önerilmiştir. Numunenin nasıl alınması gerektiğinden kürüne kadar deney yöntemi tanımlıdır. Basınç dayanımı deneyi sırasında uyulması gereken kurallar da bellidir.

Basınç dayanımı deneyi sonunda elde edilen dayanım değerini etkileyen önemli faktörlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Örnek şekli ve boyutları
2. Kullanılan presin başlık özellikleri
3. Deney esnasında uygulanan yükleme hızı
4. Deney anında örneğin nemlilik durumu
5. Deney anında örneğin sıcaklığı

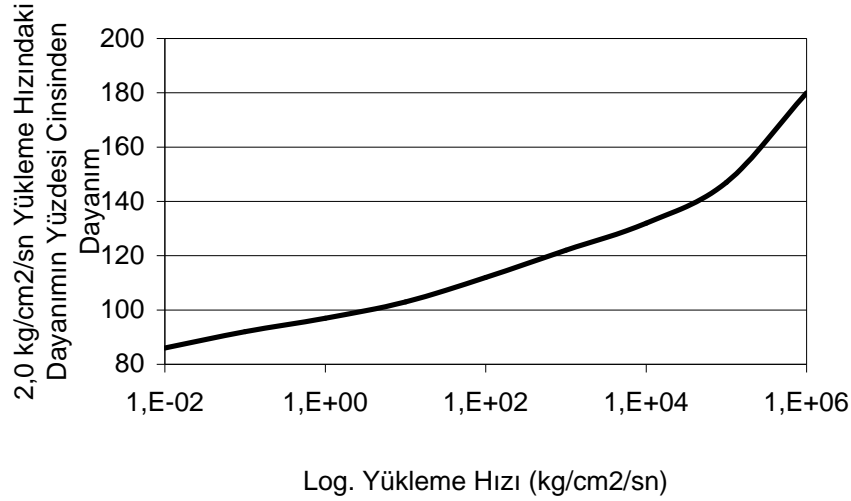
Bu çalışmada, yukarıda sözü geçen yükleme hızının basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Basınç dayanımını etkileyen diğer tüm parametreler mümkün olduğunca sabit tutulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla iki farklı dayanım sınıfındaki beton karışımları ile hazırlanan standart silindir numunelerin iki farklı yaştaki üç farklı gerilme düzeyinde yüklenmesi sonucu elde edilen basınç dayanımları saptanmış ve gerilme-deformasyon ilişkileri belirlenmiştir. Ayrıca yüksek dayanımlı serinin, gerilme-deformasyon ilişkilerinden yola çıkılarak farklı yükleme hızları için elastisite modülleri belirlenmiş ve elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

2. YÜKLEME HIZININ BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

Betonun basınç dayanımı, yükleme hızındaki değişimlerden etkilenmektedir. Beton örneğe uygulanan gerilmenin uygulama hızı azaldıkça (yük daha uzun bir süreyle uygulandıkça) numune daha küçük bir gerilme altında kırılmaktadır. Diğer bir deyişle, düşük yükleme hızı uygulanan numunelerde elde edilen basınç dayanımı değeri daha az olmaktadır. Yükleme hızının 0.02-0.18 kgf/cm²/sn olduğu örneklerden elde edilen basınç dayanımı değerleri (yani yüklemenin yaklaşık 24-30 dakika sürdüğü örneklerden elde edilen basınç dayanımı değerleri), yükleme hızının 2.1 kgf/cm²/sn olduğu örneklerden elde edilen basınç dayanımı değerlerinden yaklaşık %15 daha az olmaktadır. Bu durum, yükün örnek üzerinde daha uzun süre kalması nedeniyle bir miktar sünme yapmasından kaynaklanmaktadır (Erdoğan, 2003).

Öte yandan yüksek yükleme hızları uygulanan örnekler daha büyük bir yük altında kırılmakta, yani daha yüksek basınç dayanım değeri elde edilmektedir. Yükleme hızı 70 kgf/cm²/sn olarak uygulanan örneklerden elde edilen basınç dayanımı, yükleme hızı 2.1 kgf/cm²/sn olarak uygulanan örneklerden elde edilen basınç dayanımından yaklaşık %10 daha yüksek olmaktadır. Özetle deneyler, yavaş yüklenen bir numune dayanımının, hızlı yüklenen bir numuneye oranla daha düşük olduğunu göstermiştir (Erdoğan, 2003).

Pratikte kullanılmakta olan preslerin kapasitelerinin yetersiz kaldığı çok yavaş ve çok hızlı yükleme durumlarında yükleme hızının dayanıma etkisi daha belirgindir. Şekil 1’de de görüldüğü gibi yükleme hızının $0.007 \text{ kgf/cm}^2/\text{sn}$ ’den $700000 \text{ kgf/cm}^2/\text{sn}$ değerine çıkması betonun elde edilen dayanım değerini ikiye katlamaktadır. Basınç dayanım deneylerinde yükleme hızı değerleri pratikte $0.7-7 \text{ kgf/cm}^2/\text{sn}$ arasında değişmektedir. Bu değişik yükleme hızlarında betonun elde edilen dayanım değeri, $2 \text{ kgf/cm}^2/\text{sn}$ yükleme hızıyla denendiğinde verdiği basınç dayanımının ancak %97-103’ü arasında değişmektedir. Buna rağmen deneylerde elde edilen sonuçların karşılaştırılabilir nitelikte olması için yükleme hızına standartlarla belli sınırlar getirilmesi zorunlu olmuştur (Neville, 1999).



Şekil 1. Yükleme hızının beton basınç dayanımına etkisi

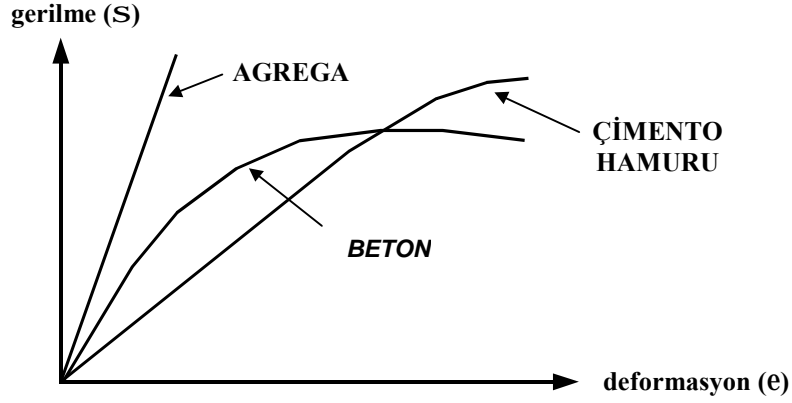
ASTM C39, basınç deneylerinde yükleme hızının $0.15-0.35 \text{ MPa/sn}$ ($1.5-3.5 \text{ kgf/cm}^2/\text{sn}$) arasında seçilmesini önermektedir (ASTM C39, 1993). Fakat yüklemenin ilk yarısında daha yüksek bir yükleme hızının uygulanmasına izin vermiştir. BS 1881 standardına göre deney süresince $0.2-0.4 \text{ MPa/sn}$ ($2.0-4.0 \text{ kgf/cm}^2/\text{sn}$) arasında seçilen sabit bir yükleme hızı uygulanmalıdır (BS 1881, 1983). TS 3114 standardına göre ise yükleme hızı, hidrolik çalışan preslerde $0.6\pm 0.4 \text{ MPa/sn}$ ($10.0-2.0 \text{ kgf/cm}^2/\text{sn}$) arasında olmalıdır ve yüklemeye sabit bir hızla ve darbe tesiri yapmayacak tarzda, deney örneği kırılıncaya kadar devam edilmelidir (TS 3114, 1998). Yükleme hızının bu sınırların dışında olması halinde aynı karışım özelliklerine sahip betondan farklı basınç dayanım değerleri elde edilebilir. Düşük mukavemetli betonlar için düşük yükleme hızları, yüksek mukavemetli betonlar için ise daha yüksek yükleme hızları seçilmesi gerektiği de bu standartta belirtilmiştir.

3. BETONUN YÜKLEME ALTINDAKİ DAVRANIŞI

Betonu oluşturan agrega ve çimento hamuru elastik davranış göstermesine karşın kompozit bir malzeme olan beton yüksek gerilme seviyelerinde, elastik bir malzeme değildir. Basınç dayanımının %25-40’ından daha yüksek gerilmelerde elastik özelliğini kaybeder. Şekil 2’de de görüldüğü gibi çok büyük gerilme seviyeleri göz önüne alınmadığı takdirde betonu oluşturan bu iki temel malzemenin de gerilme-deformasyon diyagramlarının doğrusal olduğu söylenebilir (Mindess ve Young, 1991).

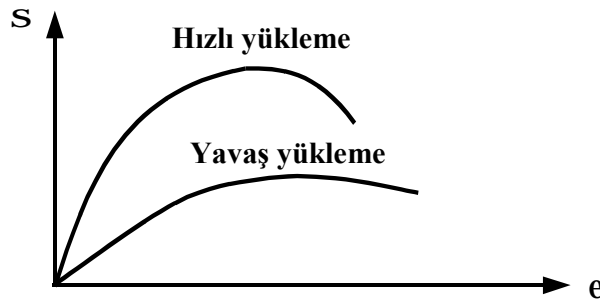
Öte yandan betonu oluşturan agrega ve çimento hamurunun elastisite modülleri oldukça farklıdır. Betona uygulanan gerilmeye bu iki malzemenin farklı şekilde tepki vermesi, betonu yüksek gerilme mertebelerinde elastik olmayan bir davranışa itmektedir (Ramyar, 2000). Bu

durum, betonun kompozit bir malzeme olmasının yanısıra çimento hamuru ve agregası arasındaki bağın yapısına da bağlıdır. Araştırmalar, çimento hamuru ile agregası arasındaki aderanstaki düşüşün betonun elastik davranıştan uzaklaşmasına neden olduğunu göstermiştir. Öte yandan yüksek dayanımlı betonlar, elastik davranışa daha yakın davranış göstermektedir. Ayrıca agregası sertliğinin çimento hamurunun sertliğine yakın olduğu durumda betonun elastik davranışa yaklaştığı bilinmektedir (Mindess ve Young, 1991).



Şekil 2. Beton, agregası ve çimentonun tipik gerilme-deformasyon eğrileri

Beton, zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı betonun elde edilen dayanımı için çok önemlidir. Yükleme hızının azalmasıyla betonun elde edilen dayanım değeri düşer. Bu durum deformasyonlarda zamana bağlı artış, yani sünme davranışından kaynaklanmaktadır. Şekil 3'te betonun farklı yükleme hızlarında gösterdiği tipik gerilme-deformasyon ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3. Betonun farklı yükleme hızlarında gösterdiği tipik gerilme-deformasyon eğrileri

4. YÜKLEME HIZININ ELASTİSİTE MODÜLÜNE ETKİSİ

Elastisite modülü, basınç dayanımıyla doğrudan ilişkilidir. Basınç dayanımını etkileyen faktörlerin elastisite modülünü de benzer şekilde etkileyeceğini söylemek büyük oranda doğru bir yaklaşımdır. Su/Çimento oranı, iri agregası tip ve miktarı, beton nem içeriği, ortam sıcaklığı ve deney sırasındaki yükleme hızı elastisite modülünü etkiler.

Yükleme hızı azaldıkça dayanım düşmekte, buna karşılık sünme önemli ölçüde artmaktadır. Sünme nedeniyle betonun elastisite modülü önemli ölçüde azalır, dolayısıyla belirli bir yük için erişilen birim deformasyon artar (Ersoy, 1985). Göçme, erişilen son deformasyon noktasında oluşur. Yavaş yükleme sonucu çatlakların yayılması, dayanımın ve elastisite modülünün düşük çıkmasına bir sebep teşkil etmektedir (Türkel, 2003).

Yükleme hızının çok yüksek olması halinde, mikroçatlakların oluşması gecikmekte ve σ - ϵ eğrisi daha doğrusal şekle sahip olmaktadır. Böylece daha yüksek elastisite modülü değerleri elde edilmektedir (Erdoğan, 2003).

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Beton karışımlarında kullanılan malzemeler, karışım oranları ve deneysel çalışmalarda kullanılan yöntemler bu bölümde sunulmuştur.

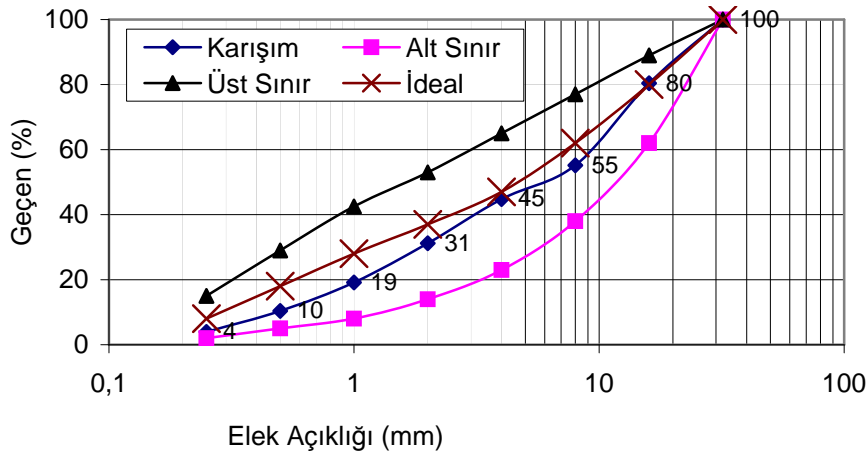
5.1. Kullanılan Malzemeler

5.1.1. Agregalar

Her iki dayanım sınıfında hazırlanan beton karışımlarında kullanılan agregalar kırma kireçtaşı ve doğal kum olup, fiziksel özellikleri ile karışım oranları Çizelge 1'de ve karışımın tane boyut dağılımı Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 1. Beton dizaynında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri ve karışım oranları

	Özgül Ağırlık		Su Absorbsiyon oranı (%)	Karışım Oranları (%)
	(Kuru)	(KYD)		
Kırmataş (15-25mm)	2.68	2.69	0.2	35
Kırmataş (5-15mm)	2.64	2.66	0.6	20
Kırma kum (0-5mm)	2.63	2.66	1.01	15
Doğal kum	2.54	2.59	2.04	30



Şekil 4. Kullanılan agregaların tane boyut dağılımı

5.1.2. Çimento

Deneysel çalışmada PÇ 42.5 tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun üretici firmadan alınan fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

5.1.3. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı

Deneysel çalışma programında iki farklı dayanım sınıfında beton üretimi yapılmış olup, normal dayanım sınıfında üretilen karışımlarda herhangi bir akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

kullanılmamıştır. Fakat yüksek dayanımlı karışımlarda su kesme amacıyla akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Söz konusu katkı HS-100 (Smartflow) isimli polikarboksilat bazlı bir hiperakışkanlaştırıcı olup, ASTM C494 standardına göre F sınıfına uygun özelliklere sahiptir. Katkının fiziksel özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir (ASTM C494, 2002).

Çizelge 2. PÇ 42.5 çimentosunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Kompozisyon (%)				Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	20.05	MgO	0.94	Özgül Ağırlık	3.12
Al ₂ O ₃	5.92	Na ₂ O	0.26	Özgül yüzey (cm ² /g, Blaine)	3687
Fe ₂ O ₃	2.54	K ₂ O	0.85		
CaO	63.91	SO ₃	2.65	Mekanik Özellikler	
Karma Bileşenler (%)				Basınç dayanımı (2 gün, MPa)	23.6
C ₃ S	56.80	C ₃ A	11.40	Basınç dayanımı (7 gün, MPa)	39.7
C ₂ S	14.64	C ₄ AF	7.73	Basınç dayanımı (28 gün, MPa)	48.5

Çizelge 3. HS-100 katkısının fiziksel özellikleri

	Özgül ağırlık	Katı madde %’si	pH
HS-100	1.18 – 1.20	35.7	6.5 – 7

5.2. Deney Yöntemi

Deneyisel çalışmada iki farklı dayanım sınıfında beton üretimi hedeflenmiştir. Normal dayanım sınıfı (ND) ve yüksek dayanım sınıfı (YD) için beton bileşenleri Çizelge 4’de sunulmuştur.

Yüksek dayanımlı karışımların hazırlandığı serilerde katkı dozajı çökme değeri sabit tutulacak şekilde seçilmiştir.

Normal dayanım sınıfında üretilen karışımlar için taze birim hacim ağırlık 2350-2390 kg/m³ arasında ve çökme değeri 15.5-17.0 cm arasında; yüksek dayanım sınıfında üretilen karışımlar için ise taze birim hacim ağırlık 2460-2480 kg/m³ arasında ve çökme değeri 16.5-18.5 cm arasında değişmektedir.

Her dayanım sınıfından 60’ar dm³’lük ikişer karışım 18±2 °C sıcaklıkta yatay eksenli bir laboratuvar betoniyesi kullanılarak hazırlanmıştır. Karışımlar önce agregalarla çimentonun kuru karışımı, ardından da su ilavesi şeklinde 3 dakikalık bir sürede hazırlanmıştır. Yüksek dayanımlı karışımlarda katkı suya karıştırılarak karışıma eklenmiştir. Taze betonda çökme ve birim hacim ağırlık deneyleri yapıldıktan sonra her karışımdan 9 adet standart silindir (φ15/30) numune alınmıştır. Bu şekilde normal ve yüksek dayanım sınıflarında 18’er adet örnek hazırlanmıştır. Örnekler 24±4 saat sonra kalıptan çıkartılarak kirece doymun suda kür edilmiştir. Örneklerin yarısı 7 gün, diğer yarısı da 28 gün sonra 3 farklı yükleme hızında 3’erli gruplar halinde test edilmiştir.

Deneyisel çalışmada uygulanan yükleme hızlarının belirlenmesinde, kullanılan beton presinin kapasitesi dikkate alınmıştır. Beton presi, ELE marka, modeli Autotest3000 olan, 300 ton kapasiteli ve dijital göstergeli, yüksekliği farklı numune boyutlarına göre ayarlanabilir hidrolik bir beton presidir. 50 ile 3000 kgf/sn arasında değiştirilebilen yükleme hızı kapasitesine sahiptir. Sözü geçen pres kullanılarak 177 cm² enkesit alanına sahip standart silindir örnekler için gerilme uygulama hızı 0.282 ile 16.95 kgf/cm²/sn arasında değiştirilebilmektedir.

Çizelge 4. Karışım bileşenleri ve oranlar

	ND	YD
S/Ç oranı	0.55	0.30
Karışım bileşenleri (kg/m ³)		
Çimento	350	450
Su	193	135
Doğal kum	527	547
Kırma kum	267	277
5-15 kırmataş	371	385
15-25 kırmataş	646	671
Akışkanlaştırıcı katkı	-	3.60
Teorik BHA (kg/m ³)	2353	2464

Deneysel çalışmada kullanılacak yükleme hızlarının seçiminde standartlarca öngörülen gerilme uygulama hızı limit değerleri arasında kalan bir yükleme hızı ve bu limitlerin dışındaki (üstündeki ve altındaki) iki yükleme hızı seçilmiştir. Standart gerilme uygulama hızı olarak 2.5 kgf/cm²/sn, düşük gerilme uygulama hızı olarak 0.6 kgf/cm²/sn ve yüksek gerilme uygulama hızı olarak ise 7.5 kgf/cm²/sn seçilmiştir. Kullanılan yükleme ve gerilme uygulama hızları Çizelge 5’de görülmektedir.

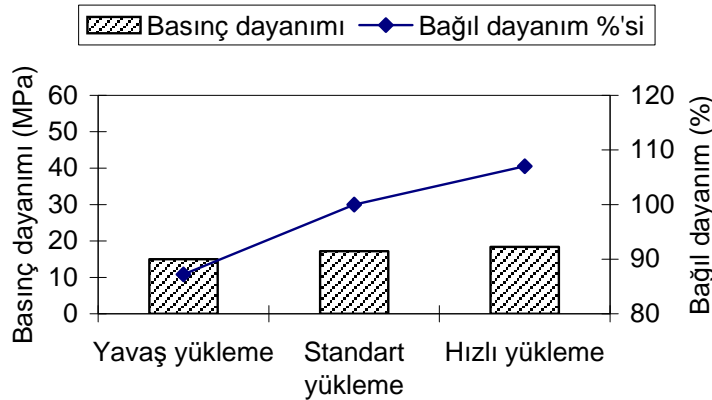
Çizelge 5. Standart silindir için kullanılan yükleme ve gerilme uygulama hızları

Yükleme türü	Yükleme hızı (kgf/sn)	Gerilme uygulama hızı (kgf/cm ² /sn)
1. Yavaş	110	0.6
2. Standart	440	2.5
3. Hızlı	1330	7.5

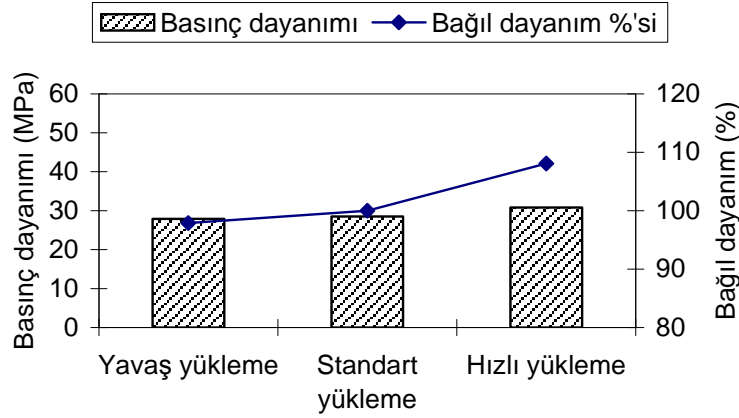
5.3. Deney Sonuçları

5.3.1. Basınç Dayanımı Yükleme Hızı İlişkisi

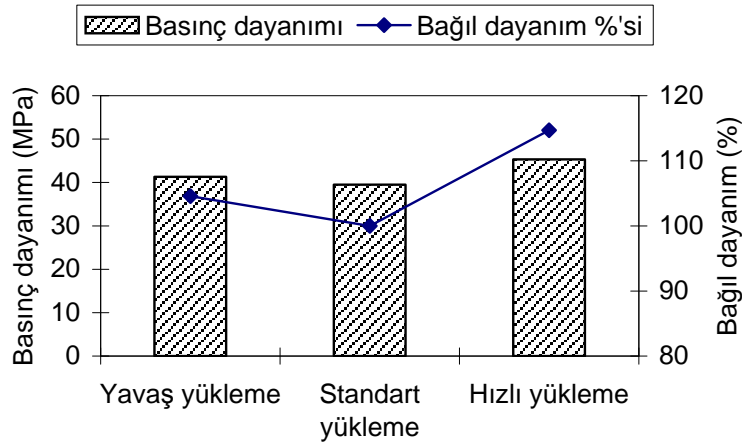
Normal ve yüksek dayanım sınıfındaki örneklerin farklı yükleme hızlarında elde edilen 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir. Ayrıca standart yüklemeye göre basınç dayanımının bağıl değerleri de aynı grafikler üzerinde görülmektedir.



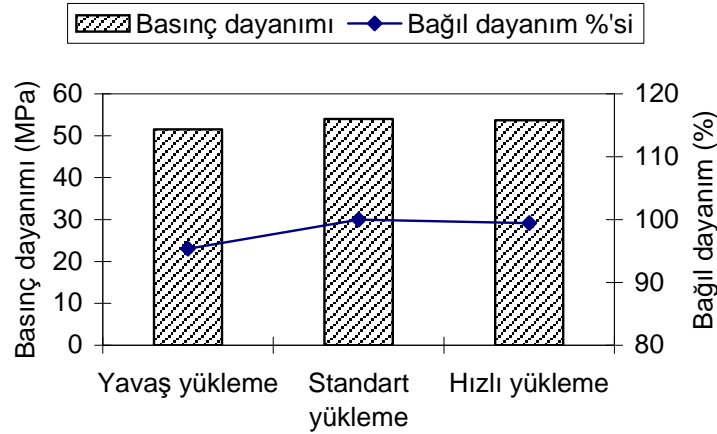
Şekil 5a. Normal dayanım sınıfındaki örneklerin 7 günlük basınç dayanımı



Şekil 5b. Normal dayanım sınıfındaki örneklerin 28 günlük basınç dayanımı



Şekil 6a. Yüksek dayanım sınıfındaki örneklerin 7 günlük basınç dayanımı



Şekil 6b. Yüksek dayanım sınıfındaki örneklerin 28 günlük basınç dayanımı

5.3.2. Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisinin Yükleme Hızıyla Değişimi

Yüksek dayanım sınıfına giren 28 günlük standart silindir numunelerde, 3 farklı yükleme hızına göre saptanan gerilme-birim deformasyon ilişkileri sırasıyla Şekil 7'de gösterilmiştir. Birim deformasyonlar deformasyon çerçevesine bağlı 1/1000 mm hassasiyetli bir mekanik komparatör kullanılarak ölçülmüştür. Deney sonuçları 3 farklı numuneden elde edilen değerlerin ortalamasıdır.

Şekil 7'de gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi verilen yüksek dayanım sınıfındaki örnekler yaklaşık 51-54 MPa basınç dayanımı değeri vermişlerdir. Bu çalışmada elastisite

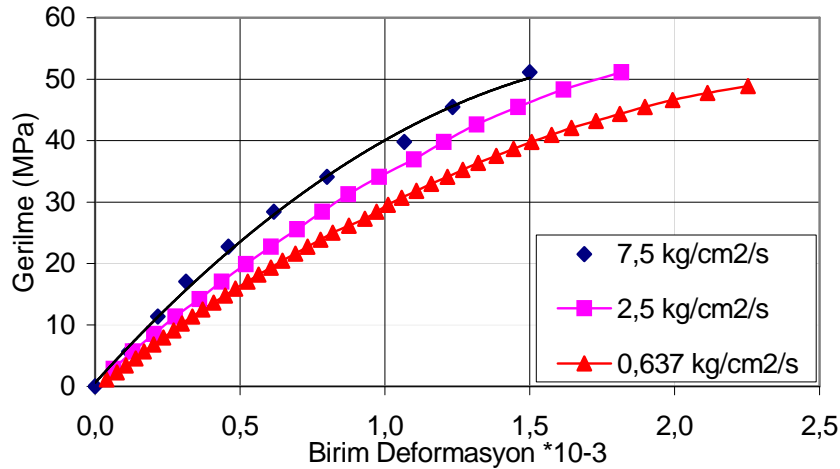
modülü, gerilme-birim deformasyon diyagramında başlangıçtan, numune dayanımının %35'ine kadar olan bölgede bulunan noktalara bilgisayar programıyla uygulanan en küçük kareler yöntemiyle uydurulan en uygun doğrunun eğimi hesaplanarak saptanmıştır. Elastisite modülü hesabında gerilme-birim deformasyon ilişkisinde elastik bölgenin basınç dayanımının yaklaşık % 35'i olan 17 MPa gerilme değerine kadar olduğu kabul edilmiştir.

Yüksek dayanım sınıfındaki seriler için yukarıda açıklanan yöntemle hesaplanan elastisite modülü değerleri Çizelge 7'de sunulmuştur. Çizelgeden görüldüğü gibi yükleme hızının artmasıyla elastisite modülü hızla artmaktadır. Bu artış miktarı basınç dayanımında meydana gelen artıştan çok daha belirgindir. Standart yükleme hızına göre elastisite modülünün değişimi Şekil 8'de görülmektedir.

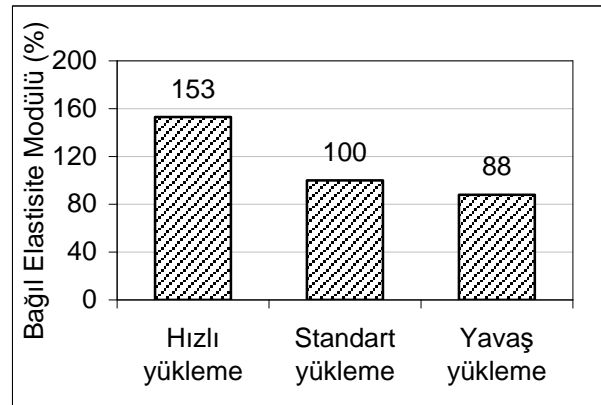
Şekil 8'den görüleceği üzere yükleme hızının artışı ile yüksek dayanımlı betonda elastisite modülü standart yükleme hızına kıyasla %53 artmaktadır. Öte yandan yavaş yükleme durumunda elastisite modülünde %12'lik bir azalma kaydedilmiştir.

Çizelge 7. Yüksek dayanım sınıfındaki örneklerin elastisite modülleri

Dayanım sınıfı	Yüksek dayanım sınıfı
	Elastisite Modülü (GPa)
Yavaş yükleme	33.1
Standart yükleme	37.7
Hızlı yükleme	57.8



Şekil 7. Yüksek dayanım sınıfına ait 28 günlük gerilme-birim deformasyon ilişkisi



Şekil 8. Yüksek dayanım sınıfına giren örneklerin 28 günlük elastisite modüllerinin yükleme hızına bağlı değişimi

Çizelge 8’de standart yükleme hızında basınç dayanımları belirlenen YD sınıfı örneklerin deneysel olarak bulunan elastisite modülleri ile 21-83 MPa aralığında dayanıma sahip betonlar için ACI 363R-92 tarafından önerilen aşağıdaki ampirik bağıntı kullanılarak hesaplanan elastisite modülleri karşılaştırılmıştır (ACI 363R-92, 1992).

$$E_c = 3.32 (f_c)^{0.5} + 6.9 \text{ (GPa)} \quad (21\text{MPa} < f_c < 83\text{MPa})$$

Bu bağıntıda E_c , Standart beton silindir örneğin 28 günlük elastisite modülü (GPa), f_c , Standart beton silindir örneğin 28 günlük basınç dayanımıdır.

Deneysel olarak bulunan elastisite modülünün ACI 363R-92 tarafından önerilen değerlerden daha yüksek olması şu şekilde açıklanabilir: Önerilen bağıntı, normal ağırlıklı betonlardan ($\rho=2300 \text{ kg/m}^3$) elde edilmiş olup bu çalışmada üretilen yüksek dayanımlı betonların birim hacim ağırlıkları $\rho=2460\text{-}2480 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişmektedir. Yüksek birim hacim ağırlık, elastisite modülünü de arttırmaktadır.

Çizelge 8. Deneysel bulgularla ACI 363R komitesinin önerdiği bulguların karşılaştırılması

Dayanım sınıfı	Elastisite Modülü (GPa)	
	Deneysel	ACI 363R-92’nin önerdiği
YD (standart yükleme hızında)	37.7	31.3

6. SONUÇLAR

Deneysel çalışmaların ışığı altında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Standartlarca öngörülen limitler arasında kalan yükleme hızlarının dışına çıkılması halinde yüksek yükleme hızlarında basınç dayanımı bir miktar artmakta, düşük yükleme hızlarında bir miktar azalmaktadır. Fakat bu miktar ihmal edilebilecek kadar azdır. Bu çalışmada seçilen yükleme hızları kullanılan presin kapasitesi dikkate alınarak seçildiğinden çok uç değerler denenenememiştir. Bu nedenle elde edilen sonuçların deney koşulları ile sınırlı olduğu dikkate alınmalıdır.

2. Yükleme hızı değişimi ile aynı dayanım sınıfındaki örneklerin farklı gerilme-şekil değiştirme davranışı gösterdikleri tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak elastisite modülleri de yükleme hızından etkilenmektedir. Bu çalışmada incelenen örneklerin elastisite modülleri yükleme hızı arttıkça artmıştır. Bu artış miktarı basınç dayanımında görülen artış değerlerinden çok daha fazladır.

3. 21-83 MPa aralığındaki dayanıma sahip betonlar için ACI 363R-92 tarafından önerilen bağıntı deneysel olarak elde edilen elastisite modülünden daha düşük sonuçlar vermektedir. Bunun nedeni ACI 363R-92 tarafından önerilen bağıntının normal ağırlıklı betonlar için kullanılabilir olmasıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın, deneysel kısmındaki katkılarından dolayı İnş. Müh. Yiğit Altuntaş ve İnş. Müh. Engin Emin’e teşekkür ederiz. Ayrıca deneysel çalışmalarda kullanılan çimento ve kimyasal katkının temininde sağladıkları destekten dolayı Konsan Bilgi-Teknoloji Üretim A.Ş.’ye teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Mehta P.K., Monteiro P.J.M. (1997): "Concrete Microstructure, Properties and Materials", Chapter 8: Admixtures, Indian Concrete Institute, Chennai, pp.256-271.
- Erdoğan T.Y. (2003): "Beton", METU Yayınları, Ankara.
- Neville A.M. (1999) "Properties of Concrete", Pitman Publishing.
- ASTM C 39. (1993) "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", Annual Book of ASTM Standarts.
- BS:1881 (1983): Part 4 "Testing Drilled Cores and Samed Beams", England.
- TS 3114 (1998): "Beton–Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini", TSE, Ankara.
- Mindess S., Young J.F. (1991): "Concrete", Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs.
- Ramyar K. (2000): "Dimensional Stability of Concrete, Lecture Notes", (unpublished), 129p.
- Ersoy U. (1985): "Betonarme, Temel İlkeler ve Taşıma Gücü İlkeleri", Evrim Yayınevi, 643s.
- Türkel S. (2003): "İleri Beton Teknolojisi Dersi Ders Notları", (basılmamış).
- ASTM C 494-99a (2002): "Standart Specification for Chemical Admixtures for Concrete", Annual Book of ASTM Standarts.
- ACI 363R-92 (1992): "State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete", Reported by ACI Committee 363, 55p.