

# POMZA AGREGALI TAŞIYICI HAFİF BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Selçuk TÜRKEL\*, Bimen KADİROĞLU\*

\*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca/İzmir

Geliş Tarihi : 20.03.2007

## ÖZET

Bu çalışmada, Kayseri bölgesine ait pomza agregası kullanılarak taşıyıcı amaçlı hafif betonlar üretilmiştir. Hafif beton karışımlarında bağlayıcı madde olarak CEM I 42.5 çimentosu ve mineral katkı olarak silis dumanı ve uçucu kül kullanılmıştır. Hafif betonlar üzerinde taze durumda çökme, birim hacim ağırlık ve hava içeriği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş hafif betonların ise basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı belirlenmiştir. Test edilen sonuçlar, pomza agregası kullanılarak ACI 213R-87’de taşıyıcı hafif betonlar için belirtilen 17.2 MPa dayanım değerinin oldukça üzerinde dayanım değerine sahip taşıyıcı hafif betonlar üretilebileceğini göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada üretilen hafif betonlar, TS EN 206-1 standardında hafif betonlar için belirtilen LC 20/22 ve LC 25/28 dayanım sınıflarını sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** Pomza, Hafif beton, Basınç dayanımı, Eğilme dayanımı.

## INVESTIGATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE MADE WITH PUMICE AGGREGATE

## ABSTRACT

In this study, structural lightweight concrete mixtures are produced by using Kayseri pumice aggregate. The other constituent materials used in producing the lightweight concrete mixtures are; CEM I 42.5 cement as binder, silica fume and fly ash as mineral admixtures. The following properties are determined; slump, unit weight and air content of fresh mix, as well as unit weight, compressive strength, splitting tensile strength and flexural strength of hardened concrete. Test results show that the lightweight concrete mixtures prepared from Kayseri pumice have compressive strength far above 17.2 MPa proposed by ACI 213R-87 for structural lightweight concrete. Besides, the lightweight concretes produced in this study meet LC 20/22 and LC 25/28 strength classes given by TS EN 206-1.

**Key Words :** Pumice, Lightweight concrete, Compressive strength, Flexural strength.

## 1. GİRİŞ

Betonun ana bileşenlerinden olan agregalar beton hacminin yaklaşık olarak % 75’ini oluşturmaktadır. Bu nedenle agrega özelliklerinin, betonun taze ve sertleşmiş durumdaki özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır. Örneğin, bir betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü, çimento hamurundan dolayı

prizi esnasında oluşan büzülmenin engellenmesi, aşınma etkilerine dayanıklılık gibi özellikleri kullanılan agrega ile yakından ilgilidir (Erdoğan, 2003).

Uygulamada normal ağırlıklı betonlar çok fazla kullanım alanı bulmalarına rağmen birim hacim ağırlıklarının yüksek olması nedeniyle betonarme yapılarda öz ağırlığı artırıcı etkileri vardır. Bu

durum özellikle deprem anında yapıya etki eden yatay yüklerin yüksek değerler almasına yol açar. Betonarme bir yapının taşıyıcı hafif beton kullanılarak yapılması yapının toplam ağırlığını azaltarak muhtemel bir deprem anında yatay kuvvetlerin azalmasına ve yapıda oluşabilecek deprem hasarlarının önlenmesine olanak sağlar. Ayrıca, ağırlığına göre yüksek dayanıma sahip olması, betonarme donatısında ekonomi sağlaması, düşük termik iletkenlik katsayısı ve çok iyi ses yalıtımı, betonarme kalıbına daha düşük bir basınç uygulaması gibi özellikler yapısal hafif betonun önemli avantajlarından bazılarıdır. Ancak taşıyıcı hafif betonların elastisite modülü gibi bazı mekanik özelliklerinin normal betonlardan düşük olması nedeniyle yapıların tasarımında farklı hesap yöntemlerinin kullanılması gerektiği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte hafif betonların, su emme oranlarının ve porozitelerinin yüksek olması nedeniyle neme ve geçirimsizliğe karşı iyi bir yalıtım gerektirmesi betonarme yapıların durabilitesi açısından önemlidir (Alduaij et al., 1999). Betonun birim hacim ağırlığını azaltmak suretiyle hafif beton elde edilmesi üç şekilde yapılabilir (Neville, 1995). Bunlar;

- 1 Normal ağırlıklı agregalar (kum, kırmataş, çakıl) yerine boşluklu olan doğal veya yapay agrega kullanılarak üretilen hafif betonlar.
- 2 Beton içinde fiziksel veya kimyasal yollarla büyük hacimde boşluklar oluşturularak üretilen gaz ve köpük betonları ile yüksek oranda hava sürüklenmiş betonlar.
- 3 Normal agregalı betonun kumunu çıkararak üretilen kumsuz hafif betonlardır.

Türkiye’de yukarıda belirtilen üç yöntemden en çok tercih edileni, boşluklu olan doğal veya yapay agrega kullanılarak üretilen hafif betonlardır. Doğal hafif agregalardan ülkemizde en yaygın olanları pomza taşı, volkanik tüf ve volkanik curuftur. Özellikle pomza taşının orta ve doğu Anadolu bölgesinde oldukça büyük rezervleri bulunmaktadır. Pomza taşı boşluklu, sünger görümlü, silika esaslı birim hacim ağırlığı  $1 \text{ g/cm}^3$  den az, camsı doku gösteren volkanik bir doğal hafif agregadır. Pomza agregasının gözenekleri birbirleriyle bağlantısız olup bu özelliğinden dolayı ısı ve ses iletkenliği oldukça düşük yalıtım betonları üretilebileceği gibi taşıyıcı hafif betonların üretimi de olanaklıdır. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan mikroskopik boyutlara kadar sayısız olup her biri diğerinden camsı bir zarla ayrılmıştır (Oğuz ve Türker, 1997).

Hafif beton TS EN 206-1 standardında, etüv kuru su yoğunluğu  $800 \text{ kg/m}^3$  den büyük  $2000 \text{ kg/m}^3$  ü geçmeyen beton olarak tanımlanmaktadır. Aynı standartta hafif betonlar, yoğunluk değerlerinin yanı

sıra basınç dayanımına göre de sınıflandırılmıştır. Amerikan Beton Enstitüsü tarafından yayınlanan ACI 213R-87 raporunda ise taşıyıcı hafif beton, hava kuru birim hacim ağırlığı 1440 ile  $1850 \text{ kg/m}^3$  arasında olan ve 28 günlük basınç dayanımı en az 17.2 MPa olan beton olarak tanımlanmıştır (Anon., 1987) (Anon., 2002).

Bu çalışmada, Kayseri bölgesi pomza agregaları kullanılarak TS EN 206-1 standardına göre LC 20/22 ve LC 25/28 dayanım sınıflarının üzerinde ve etüv kuru birim hacim ağırlıkları 1400 ve  $1700 \text{ kg/m}^3$  olan taşıyıcı hafif betonlar elde edilmiştir. Taşıyıcı hafif betonlar üzerinde taze durumda çökme, birim hacim ağırlık, hava içeriği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş taşıyıcı hafif betonların basınç dayanımının yanı sıra eğilme dayanımı ve yarmada çökme dayanımı da belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yaklaşık aynı granüloometriye sahip kireçtaşı agregası ile üretilen normal beton özellikleri ile kıyaslanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

DeneySEL çalışmalarda bağlayıcı madde olarak Batıçim Batı Anadolu Çimento San. A.Ş. fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 çimentosu ve MAXIT Yapı Malzemeleri A.Ş. den sağlanan silis dumanı kullanılmıştır. Kullanılan uçucu kül ise Soma termik santraline ait olup C sınıfı (yüksek kireçli) bir uçucu küldür. Kullanılan çimento, silis dumanı ve uçucu küle ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1’de sunulmuştur. Silis dumanının özgül yüzey alanı azot adsorpsiyon yöntemi ile belirlenmiştir. Kullanılan çimentonun 28 günlük basınç dayanımı 49.8 MPa’dır. Deney sonuçları malzemelerin temin edildiği firmalardan alınmıştır.

Çalışmada kullanılan pomza kökenli hafif agregalar Kayseri bölgesine ait olup Soylu Madencilik Ltd.Şti.’den temin edilmiştir. Batıçim Batı Anadolu Çimento San. A.Ş.’nin Bornova Belkahve tesislerinden sağlanan ve normal beton üretiminde kullanılan agregalar ise kireç taşı kökenlidir. Kullanılan pomza ve kireçtaşı agregaların fiziksel özellikleri deneylerle belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 2 de verilmiştir. Pomza agregalarının gözenekli yapısı ve buna bağlı olarak oldukça yüksek su emme kapasitesi nedeniyle karışım hesaplarında, birim hacim ağırlık yerine özgül ağırlık faktörü kullanılmıştır (Anon., 1998).

Tablo 1. CEM I 42.5 Çimentosu, Uçucu Kül ve Silis Dumanının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.

Kimyasal Özellikler			
%	Çimento	Uçucu kül	Silis Dumanı
CaO	63.10	12.0	0.31
SiO <sub>2</sub>	19.59	50.8	91.97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.04	25.3	0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.44	4.63	1.32
SO <sub>3</sub>	2.66	1.24	0.35
Cl	0.0106	0.010	0.080
Serbest CaO	0.65	0.9	-
Fiziksel Özellikler			
Özgül Ağırlık	3.12	2.28	2.30
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3990	2651	210800
45 µm elek üstü	-	36.50	2.30

Tablo 2. Pomza ve Kireçtaşı Agregaların Fiziksel Özellikleri.

Özellik	Pomza agregası			Kireçtaşı agregası		
	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	0-3 mm	0-5 mm	5-15 mm
Kuru gevşek BHA (kg/m <sup>3</sup> )	595	377	333	1670	1590	1370
Kuru sıkışık BHA (kg/m <sup>3</sup> )	700	428	76	1800	1740	1530
Kuru özgül ağırlık faktörü	1.77	1.06	0.85	-	-	-
Kullanıldığı andaki özgül ağırlık faktörü	1.50	1.27	1.24	-	-	-
Özgül ağırlık (KYD)	-	-	-	2.67	2.65	2.69
Su emme oranı (%)	33	44	49	1.00	1.02	0.49
63 µm den geçen (%)	8.3	4.2	4.1	8.8	9.7	0.5

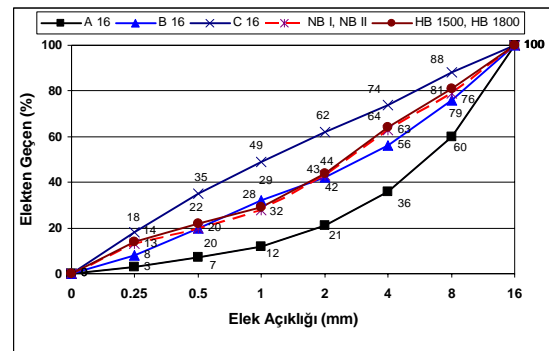
Hafif betonlarda Konsan Bilgi ve Teknoloji Üretim A.Ş. den temin edilen TS EN 934-2 standardına uygun, yüksek oranda su azaltan polikarboksilat bazlı Smart Flow HS 100 süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Normal betonlar ise Grace yapı kimyasalları A.Ş. üretimi olan sodyum lignosülfonat içerikli (şeker oranı sıfır) Daracem 554 katkısı ile yapılmıştır. Smart Flow HS 100, 1.08 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa ve 5.6 pH değerine, Daracem 554 ise 1.16 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa ve 7.5 pH değerine sahiptir. Tüm karışımlarda şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

## 2. 1. Beton Karışımlarının Hazırlanması ve Kürü

Hafif agregalı betonların net su/çimento oranı, karışım hesabına esas olabilecek yeterli doğrulukta saptanamadığından, hafif agregalı betonlar ön görülen kıvam için çimento dozu esasına göre bir seri deney karışımı yaparak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada da hedeflenen birim hacim ağırlıklar ve basınç dayanımlarının elde edilmesi için çok sayıda ön deneyler yapılmıştır (Kadiroğlu, 2004).

HB 1500 serisi hafif beton karışımında % 57 oranında 0-4 mm, % 23 oranında 4-8 mm ve % 20 oranında 8-16 mm pomza agregaları kullanılmıştır. HB 1800 serisi hafif beton karışımında ise HB 1500 serisi granülometri eğrisi ile aynı olacak şekilde, % 49 oranında 0-3 mm kireçtaşı kırma kumu, % 8 oranında 0-4 mm pomza, % 23 oranında 4-8 mm

pomza ve % 20 oranında 8-16 mm pomza agregaları kullanılmıştır. Normal ağırlıklı betonlarda (NB I ve NB II) % 31 oranında 0-3 mm kireçtaşı kırma kumu, % 31 oranında kireçtaşı tozu ve % 38 oranında 5-15 mm kireçtaşı kırmataş kullanılmış ve hafif betonların granülometrisine en yakın granülometri elde edilmiştir. Hafif ve normal beton serilerinde kullanılan agregaların karışım oranlarına göre granülometri eğrileri Şekil 1'de görülmektedir. Hafif ve normal beton serilerinde kullanılan malzeme bileşenlerinin miktarları da Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 1. Hafif ve normal betonlarda kullanılan agrega karışımlarının granülometri eğrileri. Bütün betonlar düşey eksenli 50 dm<sup>3</sup> kapasiteli betoniyerde, 40 dm<sup>3</sup>'lük harmanlar halinde üretilmiştir. Betonlar aynı sıcaklık derecelerinde ve aynı karıştırma süreleri uygulanarak üretilmiştir.

Tablo 3. Hafif ve Normal Beton Serilerinde Kullanılan Malzeme Miktarları.

Malzeme		HB 1500	HB 1800	NB I	NB II
Çimento (kg/m <sup>3</sup> )		440	350	235	185
Uçucu kül (kg/m <sup>3</sup> )		160	115	60	60
Silis dumanı (kg/m <sup>3</sup> )		45	35	-	-
Kimyasal katkı (kg/m <sup>3</sup> )	Adı	Smart Flow HS 100	Smart Flow HS 100	Daracem 554	Daracem 554
	Miktarı	12.0	11.0	2.0	1.6
Su (kg/m <sup>3</sup> )		200	180	203	196
Pomza 0-4 (kg/m <sup>3</sup> )		452	72	-	-
Pomza 4-8 (kg/m <sup>3</sup> )		154	176	-	-
Pomza 8-16 (kg/m <sup>3</sup> )		131	149	-	-
Kireçtaşı kırma kum 0-3 (kg/m <sup>3</sup> )		-	787	559	579
Kireçtaşı tozu 0-5 (kg/m <sup>3</sup> )		-	-	555	574
Kireçtaşı kırmataş 5-15 (kg/m <sup>3</sup> )		-	-	691	715
Teorik BHA (kg/m <sup>3</sup> )		1594	1875	2305	2311

Hafif betonların üretilmesinde, betonyer içinde öncelikle silis dumanı su ile karıştırılmıştır. Daha sonra betonyere hafif agregalar konularak 10 dakika ön emdirme uygulanmıştır. Böylece silis dumanının etkinliği artırılmış ve hafif agregaların ani su emmesi önlenerek kıvam kaybı olmaması da sağlanmıştır. Son olarak diğer bileşenler konularak 3 dakika süre ile karıştırma işlemi uygulanmıştır. Normal ağırlıklı betonların üretiminde ise, hafif betonlarla benzerlik olması amacıyla (ön emdirme süreci hariç) malzeme bileşenleri aynı sıra ile betonyere konulmuş ve aynı sürede karıştırılmıştır.

Üretilen betonların taze halde iken sıcaklıkları, birim hacim ağırlıkları, hava içerikleri ve çökme değerleri saptanmıştır. Sertleşmiş betonların basınç, yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımları için her karışımdan 15 cm ayrıtlı küp, 15 x 30 cm silindir ve 10 x 10 x 60 cm prizma şeklinde numuneler alınmıştır. Numuneler laboratuvar ortamında 24 saat kalıp içinde üzerleri ıslak çuvallarla kapalı olarak bekletildikten sonra kırım gününe kadar  $20 \pm 2$  °C sıcaklıkta su bulunan kür havuzunda tutulmuştur.

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 3. 1. Taze Beton Özellikleri

Hafif ve normal ağırlıklı betonların taze halde iken belirlenen çökme, birim hacim ağırlık ve hava içeriği deney sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü gibi tüm karışımlarda çökme değerleri sabit tutulmaya çalışılmıştır. Karışımlarda hafif betondan normal betona doğru birim hacim ağırlığı arttıkça hava içeriğinin azaldığı görülmektedir. Ancak hafif ve normal ağırlıklı

betonların kendi aralarındaki hava içerikleri birbirine oldukça yakındır. Hafif betonların hava içeriğinin normal ağırlıklı betonlardan fazla olması, kullanılan pomza agregasının yapısındaki boşluk miktarının daha çok olmasından kaynaklandığını söylemek mümkündür.

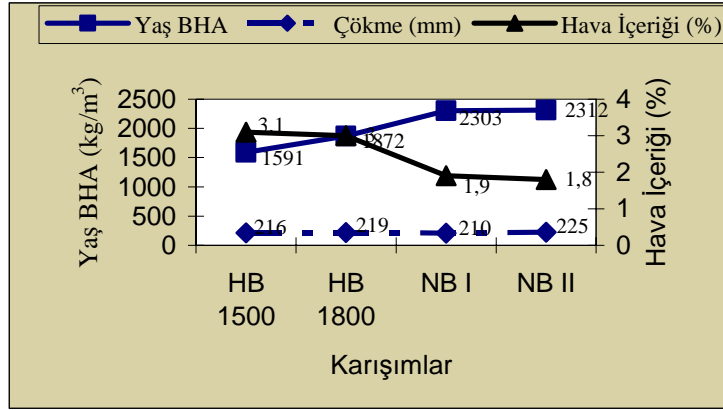
#### 3. 2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

##### 3. 2. 1. Basınç Dayanımları

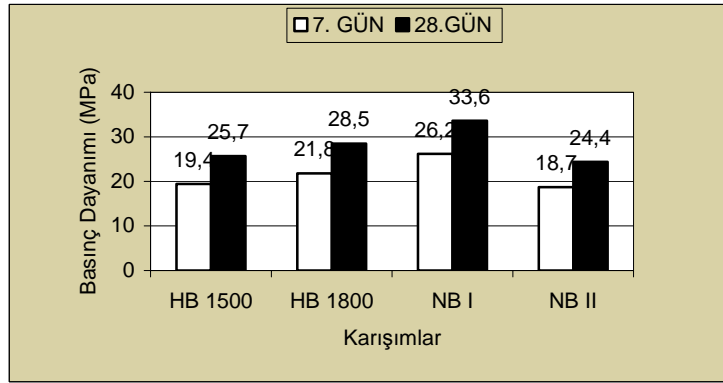
Hafif ve normal ağırlıklı betonların basınç dayanımları, 15 cm ayrıtlı küp örnekler üzerinde, 3000 kN yükleme kapasiteli preste 0.25N/mm<sup>2</sup>/s yükleme hızında bulunmuştur. Beton örneklerinin 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 3'de verilmiştir. Basınç dayanımı değerleri her yaş için 3 adet örneğin ortalamasıdır.

Şekil 3'den görüldüğü gibi, 28. günde HB 1500 betonunun basınç dayanımı 25.7 MPa olup bu değer NB II betonu dayanımından % 5 oranında daha fazladır. HB 1800 betonunun ise 28 günlük basınç dayanımı 28.5 MPa olup, bu değer NB I betonunun basınç dayanımından %18 oranında daha düşüktür. Öte yandan, HB 1500 karışımının TS EN 206'ya göre LC 20/22, HB 1800 karışımının da LC25/28 hafif beton dayanım sınıflarını sağladığı ve her iki betonun da, ACI 213R-87'de taşıyıcı hafif betonlar için belirtilen 17.2 MPa dayanım değerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir.

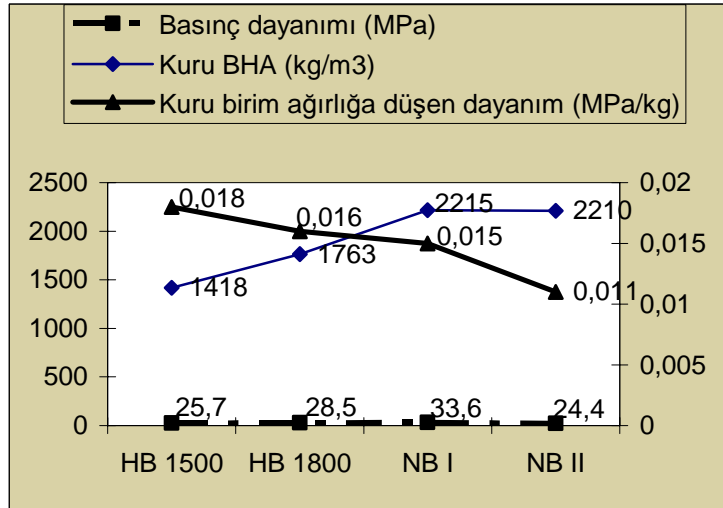
Şekil 4'de birim ağırlığa düşen basınç dayanımları gösterilmiştir. Buna göre HB 1500 betonu 0.018 MPa/kg ile birim ağırlık başına düşen en büyük basınç dayanımına sahipken, NB II betonu 0.011 MPa/kg ile en düşük değere sahiptir. Ayrıca Şekil 4'den görüldüğü gibi betonların birim hacim ağırlıkları arttıkça birim ağırlık başına düşen basınç dayanımları da azalmaktadır.



Şekil 2. Hafif ve normal ağırlıklı taze betonların çökme, BHA ve hava içeriği sonuçları



Şekil 3. Hafif ve normal ağırlıklı betonların basınç dayanımları

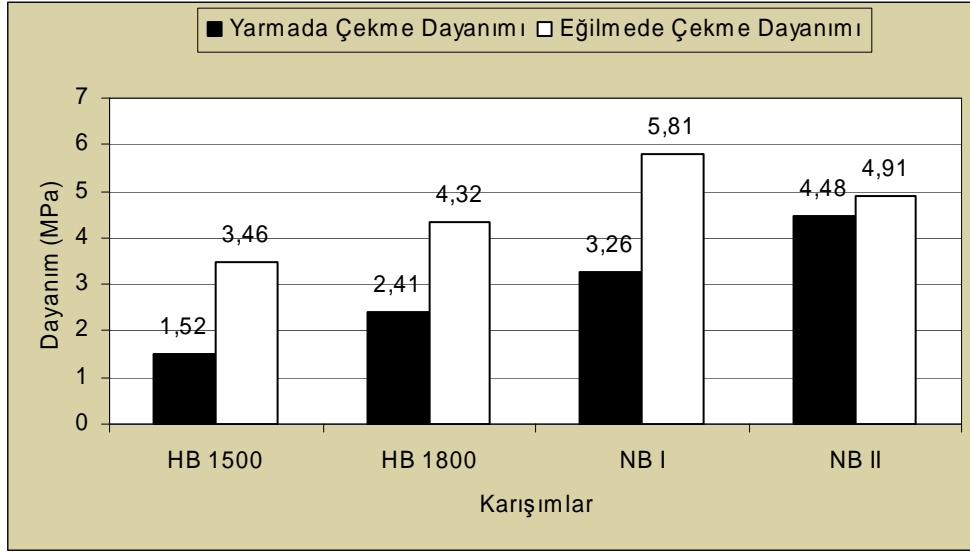


Şekil 4. Birim ağırlığa düşen basınç dayanımları

### 3. 2. 2. Yarmada Çekme ve Eğilme Dayanımları

Normal ve hafif beton örneklerinin yarmada çekme dayanımı, 15/30 cm silindir örnekler üzerinde 28. günde silindir yarma deneyi yapılarak

belirlenmiştir. Betonların eğilme dayanımları ise 10x10x60 cm ayrıtlı 28 günlük prizma örnekler üzerinde 3 noktalı (açıklığın tam ortasından yüklemeli) eğilme deneyi yapılarak saptanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar 3 er adet örneğin ortalaması olarak Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Beton örneklerinin 28 günlük yarmada çekme ve eğilme dayanımları.

Şekil 5'den görüldüğü gibi yarmada çekme dayanımı en yüksek olan NB II betonu, en düşük olan ise HB 1500 betonudur. Eğilmede çekme dayanımı en yüksek olan beton NB I betonu olup, yarmada çekme dayanımında olduğu gibi en düşük olan ise HB 1500 betonudur. Silindir yarma ve eğilme deneylerinde hafif beton örnekleri normal betonlara kıyasla daha tok bir sesle ve daha ani bir şekilde kırılmışlardır. Yarma deneyi uygulanmış hafif beton örneklerinin yarılan yüzeyleri incelendiğinde de yüzeylerinin daha az pürüzlü olduğu görülmüştür. Bu durumun mekanik özellikleri normal agregalardan daha düşük olan hafif pomza agregalarının etkilendiği yük ile kırılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer durum eğilme deneyine tabi tutulan prizma örneklerinin yüzeylerinde de görülmüştür. Normal betonlarda ise kırılma, bağlayıcı matrisinin içinden geçerek ve agrega etrafından dolaşarak gerçekleştiği için daha pürüzlüdür. Ayrıca, HB 1500 betonun yarma dayanımının ve eğilme dayanımının, NB II betonundan sırasıyla % 66 ve % 30, HB 1800 betonunun ise aynı özelliklerinin NB I betonundan % 26 oranında daha düşük olması, hafif agregaların yarma ve eğilme dayanımlarındaki etkinliğinin, basınç dayanımındaki etkinliğinden daha düşük olduğunu göstermektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Kayseri bölgesine ait pomza agregası kullanılarak üretilen hafif betonlar ve aynı

granülometrideki kireçtaşı agregası kullanılarak üretilen normal betonların deneysel olarak bulunan özelliklerine ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Aynı çökme değerlerine sahip olacak şekilde üretilen hafif ve normal ağırlıklı betonlarda, yaş birim hacim ağırlık arttıkça hava içeriğinin azaldığı görülmüştür.

HB 1500 serisi karışımlarda 28 günlük küp basınç dayanımı 25.7 MPa, HB 1800 serisinde ise 28.5 MPa olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler, her iki seri hafif betonun da ACI 213R-87'de, hava kurusu birim hacim ağırlığı 1440 ile 1850 kg/m<sup>3</sup> arasında olan taşıyıcı hafif betonlar için belirtilen 17.2 MPa dayanım değerinin oldukça üzerinde olduğunu göstermektedir. Ayrıca bulunan değerler, TS EN 206'da yer alan hafif beton sınıflarından LC 20/22 ve LC 25/28 dayanım sınıflarını da sağlamaktadır. Öte yandan HB 1500 betonunun 28 günlük basınç dayanımı, NB II betonunun basınç dayanımından % 5 daha fazla elde edilmiştir.

Birim ağırlık başına düşen basınç dayanımları dikkate alındığında, HB 1500 serisi karışımın 0.018 MPa/kg değeri ile normal ve hafif betonlar içinde en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir.

Silindir yarma ve eğilme deneylerinde hafif agregalı betonların normal betonlara kıyasla daha düşük dayanım değerlerinde kırılmalarının yanısıra daha tok bir sesle ve daha gevrek bir şekilde kırıldıkları gözlenmiştir. Ayrıca kırılma yüzeyleri incelendiğinde de, pomza agregaların kırılması

sonucu hafif betonların normal betonlardan daha pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğu görülmüştür. Hafif betonlarda, mekanik özellikleri normal agregalardan daha düşük olan pomza agregalarının etkilendiği yük ile kırılması, kireçtaşı agregalı normal betonlarda ise kırılmanın bağlayıcı matrisinin içinden geçerek ve agrega etrafından dolaşarak gerçekleşmesinden kaynaklanan bu durum nedeniyle, hafif betonların taşıyıcı amaçlarla kullanımında enerji yutabilme kapasitelerinin (tokluklarının) önemli bir unsur olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

## 5. KAYNAKLAR

Alduaij, J., Alshaleh K., Haque, M.N. and Ellaithy K. 1999. Lightweight Concrete in Hot Coastal Areas. *Cement & Concrete Composites* 21, 453-458.

Anonim, 2002. TS EN 206-1. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalât ve Uygunluk, TSE, Ankara.

Anonim, 1987. ACI Manual of Concrete Practice. Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete, ACI 213R-87.

Anonim, 1998. ACI Manual of Concrete Practice. Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete, ACI 211.2-98.

Erdoğan, T. Y. 2003. Beton. ODTÜ., Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.

Kadiroğlu, B. 2004. Taşıyıcı Hafif Beton ve Bazı Mekanik Özellikleri. DEÜ Müh. Fak. İnş. Müh. Böl., Bitirme Projesi, İzmir.

Neville, A. M. 1995. Properties of Concrete. Longman, New York.

Oğuz, C., Türker, F. 1997. Pomza Betonda Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler. **I. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, Isparta, s:81-87.