



## TÜRKİYE KONUT ÜRETİMİNDE BİMSBETON

Emre SANCAK<sup>1</sup> Osman ŞİMŞEK<sup>2</sup> Serkan SUBAŞI<sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Suleyman Demirel Univ. Teknik Eğitim Fak. 32260 Isparta TR [esancak@tef.sdu.edu.tr](mailto:esancak@tef.sdu.edu.tr)

<sup>2)</sup> Gazi Univ. Teknik Eğitim Fakültesi 06500 Ankara TR [simsek@gazi.edu.tr](mailto:simsek@gazi.edu.tr)

<sup>3)</sup> Gazi Univ. Teknik Eğitim Fakültesi 06500 Ankara TR [subasi@gazi.edu.tr](mailto:subasi@gazi.edu.tr)

### ÖZET

Ülkemizde, geniş rezervleri bulunan bims, ikinci bir işleme tâbi tutulmaksızın hafif beton üretiminde kullanılabilir. Bu çalışmada, Türkiye'nin artan konut ihtiyacının karşılanmasında birim ağırlık düşük olan bimsbetonların kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bims agregası ile üretilen taşıyıcı bimsbeton (BB) ve normal yoğun agregası ile üretilen normal betonların (NB), 100x100x100 mm küp numunelerde; 7, 28, 90 günlük basınç dayanımları araştırılmıştır. Sonuç olarak; BB'ların birim ağırlıkları, NB'lara göre % 23 daha düşüktür. BB'larda, 430 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajı ile 28. günde; 24 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Konut üretiminde, taşıyıcı beton olarak bims agregası ile üretilen BB'lar, basınç dayanımları artırılarak kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Taşıyıcı hafif beton, Bims agregası, Bimsbeton, Silis dumanı

### GİRİŞ

Türkiye'de normal yoğun agregalar kullanılarak üretilen NB'lar, maliyetinin ucuz olması, yüksek dayanımı, kolay işlenebilme özelliği ve monolitik yapısı gibi özelliklerinden dolayı diğer yapı malzemelerine göre daha fazla kullanılmaktadır [1].

Normal agregadan yapılmış betonarmenin birim ağırlığı, hesaplarda genelde 2400 veya 2500 kg /m<sup>3</sup> olarak alınmaktadır [2]. Bu beton türü ile yapılan yapılar yüksek taşıyıcı özellikler gösterebilmektedirler. Ancak birim ağırlıklarının fazla olması, yüksek binaların inşasında problem oluşturmakta, özellikle zemini zayıf olan yapıların temellerinin maliyeti artmaktadır. Ayrıca NB kullanılarak inşa edilen yapılarda depremden kaynaklanan, yatay kuvvetler nedeni ile yer kabuğunda oluşan ötelemeler, çok ani olmakta ve yapılarda şok etkisi yapmaktadır. Yapı, zeminden ayrı bir kitle olduğundan, yapı içinde yer hareketine ters yönde atalet (eylemsizlik) kuvvetleri meydana gelmektedir. Atalet kuvvetleri, yapıda hasara yol açabilecek boyutlara ulaşabilmektedir. Atalet kuvvetlerinden kaynaklanan bu yükler, deprem yükleri olarak adlandırılırlar. Deprem esnasında oluşan zemin titreşimi sonunda, yapının ağırlığı ile doğru orantılı olarak yapıya etki eder [3].

Dolayısıyla ile NB'larla aynı işlevi sağlayabilen, yapılarda bölme elemanı oluşturmak amacı ile kullanılabildiği bilinen, HB'ların, betonarme betonunda taşıyıcı amaçlı olarak kullanılabildikleri de yapılan araştırmalarla belirlenmiştir [4,5].

Bu tür betonun hafif birim ağırlığı yanında gözenekli yapısından kaynaklanan ses yutuculuğu ve ısı yalıtım özellikleri avantajlarından bazılarıdır. Bu yönüyle, HB'ların, günümüzdeki enerji sorunu nedeni ile de konut

yapımında kullanılması enerji tasarrufu açısından olumlu olacaktır. HB'ların termik özelliklerinin de yüksek olması, yüksek sıcaklıklara karşı dirençli olmalarını ve yangın riski olan yapılarda tercih edilmelerini sağlamaktadır[6,7]

HB'ların üstünlüklerinden bir diğeri de birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeni ile beton kalıbında daha düşük basınç oluşacağından üretim ve yerleştirme işlemlerinin kolaylaşmasıdır [8].

HB'ların bu üstünlükleri yanında sakıncaları da vardır; Boşluklu olmaları nedeni ile mukavemetleri düşüktür. Bundan dolayı yüksek mukavemetli beton uygulamalarında tercih edilen bir malzeme değildir.

Aşınmaya karşı dayanıksızdır.

Rutubete karşı yalıtılmaları gerekir.

HB'ların elastikiyet modüllerinin düşük olması nedeniyle sünme bir dereceye kadar yüksektir, ancak bu durum tam olarak doğrulanmış değildir.

Sabit yük altındaki uzun süreli davranış özellikle kullanılan agreganın rijitliği ile ilgilidir.

Bileşimleri aynı olan HB'un rötresi NB'a göre daha fazladır [5]. Bununla beraber, HB düşük elastiklik modülüne ve yüksek değerlerde 'çekme mukavemeti / basınç mukavemeti' oranına sahip olması nedeni ile rötre süresince çatlama meydana gelme olasılığı daha düşüktür.

Hafif agregalar; doğal, yapay veya organik kökenli oluşlarına ve kırılma, elenme, yıkanma dışında bir işlem görüp görmediklerine göre sınıflandırılabilirler.

Bims (Pomza):

Bims; sünger görümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1000 kg /m<sup>3</sup>'ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve cımsı doku gösteren

volkanik bir maddedir. Kimyasal olarak % 75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir [9].

Bims rezervlerinin;  $1,93 \times 10^9$  tonunun Türkiye'de bulunduğu belirtilmektedir [10]. Bu rezervin  $1.479.556.876 \text{ m}^3$ 'lük görünür –muhtemel kısmı iyi kaliteli olarak sınıflandırılmıştır.

Bims perlitin kullanıldığı bütün alanlarda kullanılabilir. Perlit gibi genişletmek için enerji ve yatırım gerektirmediğinden inşaat sektöründeki kullanımı hızla artmaktadır [9].

### Hafif betonun tanımı ve sınıflandırılması

Genel olarak birim ağırlığı  $1800 \text{ kg/m}^3$ 'ten küçük olan betonlar; HB sınıfına girerler [4]. Değişik standartlara göre BB'larda dayanım ve birim ağırlık sınırları Tablo 1.'de görülmektedir.

**Tablo 1. Çeşitli standartlara göre BB ağırlık ve dayanım sınırları**

Standart	En Düşük 28. Gün Basınç Dayanımı (MPa)	En Yüksek Kuru BHA ( $\text{kg/m}^3$ )
ASTM C 330	17	1850
ACI 213 R-79	17	1900
DIN 1045	15	2000
TS 2511	16	1900

### Hafif agregalı beton

Doğal ve özellikle yapay hafif agregalarla üretilen BB'lar, kimyasal ve mineral katkı maddelerinin geliştirilmesi sonucunda yüksek dayanımlı taşıyıcı betonlar olarak da kullanılmaya başlanmıştır. BB'larda, yorulma davranışının, NB için elde edilen davranışa benzer olduğu da belirtilmektedir [6].

Doğal hafif agregalarla yapılan bir çalışmada; % 15 SD katkısı ile birim ağırlığı  $2000 \text{ kg/m}^3$ , basınç dayanımı yaklaşık  $50 \text{ MPa}$  olan BB'lar üretilmiştir [11].

Yaşar [12], bazaltik bims ve UK kullanarak ürettikleri taşıyıcı BB'lar üzerinde, laboratuvar ortamında elde edilen basınç ve eğilme dayanımı deney sonuçlarına göre; taşıyıcı BB, bazaltik bims kullanılarak üretilebileceğini belirtmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Materyal

Normal Beton (NB)'ların üretiminde, Ankara-Elmadag taş ocağından getirilen kırma agregası;  $d_{maks.}=16 \text{ mm}$  olacak şekilde kullanılmıştır. Agregalardan, 0-4 mm tane sınıfının yoğunluğu  $2.57 \text{ kg/dm}^3$ , su emme oranı; % 2.73 iken, 4-16 mm tane sınıfı için aynı değerler sırası ile  $2.70 \text{ kg/dm}^3$  ve % 0.55'dir (TS 3526). Agregalar, beton karışımlarında toplam agregası hacminin % 55'i kum (0-4 mm), % 45'i çakıl (4-16 mm) olarak kullanılmıştır.

Hafif betonların (BB) üretiminde Isparta – Gölcük yöresinden temin edilen bims agregası; 0-4, 4-8 ve 8-16 mm sınıflandırılarak kullanılmıştır. Özgül ağırlık faktörleri sırası ile; 2.09, 1.75,  $1.50 \text{ kg/dm}^3$ 'tür (TS 2511). Bims agregasının elek analizi eğrisi, ASTM C

330'a göre sınır değerler arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Çalışmada bağlayıcı olarak kullanılan Portland Çimentosu (PÇ 42,5R)'nin yoğunluğu;  $3.15 \text{ kg/dm}^3$ , özgül yüzeyi;  $3350 \text{ cm}^2/\text{g}$ , priz başlangıcı 150 ve sonu 196 dakika, basınç dayanımı 7. gün 41.3 iken, 28. gün  $51.2 \text{ MPa}$ 'dır. PÇ 42,5R, SD'nin ve Bims agregasının kimyasal bileşimi Tablo 2'de verilmiştir. Beton üretiminde kullanılan SD, Antalya Eti Elektrometalurji İşletmesi'nden temin edilmiştir.

Karışım suyu olarak, musluk suyu kullanılmıştır. Karışımlarda, istenilen işlenebilirliği sağlamak amacıyla yüksek oranda su azaltıcı ve yüksek erken mukavemet sağlayan, ASTM C 494 Tip F' ye uygun, Süper Akışkanlaştırıcı (SA) beton katkı malzemesi kullanılmıştır.

**Tablo 2. PÇ 42,5R, SD ve Bims agregasının kimyasal bileşimleri**

Bileşenler (%)	PÇ 42.5	SD	Bims
CaO	63,98	0.44	4.60
SiO <sub>2</sub>	20.64	80.9	59.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.06	0.34	16.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.14	0.55	4.80
MgO	1.20	5.23	1.80
SO <sub>3</sub>	2.38	---	0.40
K <sub>2</sub> O	0.8	4.50	5.40
Na <sub>2</sub> O	0.31	0.35	5.20
Cl	0.035	0.13	---
Kızdırma kaybı	1.72	2.70	1.60
Çözünmeyen kalıntı	0.46	---	---
Çimentonun Ana bileşenleri			
C <sub>3</sub> S 52.48	C <sub>4</sub> AF 9.15		
C <sub>2</sub> S 19.63	S.CaO 1.12		
C <sub>3</sub> A 8.02			

### Yöntem

Beton karışımlarının üretimi  $75 \text{ dm}^3$  kapasiteli düşey zorlamalı betoniyerde yapılmıştır. NB karışım hesabı, C 20 betonu hedeflenerek s/b; 0.53 seçilerek yapılmıştır (TS 802). BB'ların üretiminde TS 2511 esas alınmıştır. Betonların üretiminde çökme (slump) değerinin sabit tutulması hedeflenmiştir. Numuneler, kirece doymuş su dolu kür havuzunda, 28 gün kür edilmiştir (ASTM C 192). 28 günden sonra kür havuzundan çıkarılarak, deneyin yapılacağı 90. güne kadar  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve %  $60 \pm 5$  bağıl neme sahip laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Numuneler rakamsal olarak kodlandırılmıştır. Kodları oluşturan rakamlarda, binler basamağı; 1 ise NB'u, 2 ise BB'u, yüzler ve onlar basamağı; SD'nin çimento ile yer değiştirme oranını; (05 ise % 5, 10 ise % 10 SD), birler basamağı ise SA katkı oranını ifade etmektedir (0-2). Örneğin; 2102 kodlu numune; BB % 10 SD ve % 2 SA ile üretilen betondur. Karışımlar üzerinde kıvam belirlemek için çökme (slump) deneyi yapılmıştır (TS EN 12350-2). Taze beton birim hacim ağırlık değerleri TS 2941'e uygun olarak belirlenmiştir.

Basınç dayanımı değerleri, 100x100x100 mm'lik küp numuneler üzerinde, 7, 28 ve 90 günde TS EN 12390-3'e göre belirlenmiştir. Her seride en az 5 numune üzerinde deney yapılmıştır. Bütün yaşlarda yükleme hızı; 3 kN /s olarak uygulanmıştır. Basınç dayanımları Eş. (1) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

Buradaki;  $f_c$ ; deney numunesi basınç dayanımı (MPa), F; kırılma anındaki yük (N),  $A_c$ ; deney yükü uygulama yönüne dik deney numunesi kesit alanıdır ( $\text{mm}^2$ ). Basınç dayanımı ve ağırlık değişimi deneyleri GÜTEF Yapı Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

### DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

#### Taze Beton Özellikleri

NB üretiminde kullanılan malzeme miktarları ve bazı taze beton özellikleri Tablo 3'de verilmiştir. % 2 SA ilave edildiğinde çökme  $7 \pm 2$  cm sabit tutulmaya çalışılmıştır. % 2 SA katıldığında çökmede 2.0 cm'lik bir artış görülmüştür. Bundan dolayı karışım suyu çökmeye

bağlı olarak azaltılmıştır. SD ilave edildiğinde su ihtiyacı artmıştır. Taze NB ağırlığında katkı maddesine bağlı olarak belirli bir artış veya azalma görülmemiştir. Bu karışımların, s/b oranı 0.53 ile 0.47 arasında değişmiştir. Bu değişimi sağlayan SA katkısıdır.

NB'larda ve BB'larda, SD kullanım oranına bağlı olarak karışım suyunda bir artış olmaktadır. Küçük kürecikler halindeki SD taneleri, daha büyük çimento tanelerinin arasındaki su ile yer değiştirerek granülometriyi iyileştirir ve serbest su miktarını arttırlar. Bu olumlu etkiye rağmen SD tanelerinin ıslanması gereken toplam yüzey alanından dolayı, su ihtiyacının SD miktarı ile orantılı olarak artmasına neden olmakta ve kıvamı olumsuz etkilemektedir [13,14].

SA katkı kullanılan karışımlarda ise Tablo 4'den de görüldüğü gibi istenilen çökme (slump) değeri, SD kullanılan karışımlar da dahil olmak üzere kolaylıkla sağlanılabilmektedir. TBHA değerlerine bakıldığında, tek başına SD kullanım oranının artışına bağlı olarak düşük bir azalma eğilimi varken, SA ile birlikte kullanılması durumunda bu eğilim çok değişmemiştir. Burada verilmiş olan TBHA değerleri, yapılan 10 ölçümün aritmetik ortalamasıdır [15].

**Tablo 3. Taze NB'ü oluşturan malzeme miktarları ( $1\text{m}^3$ ) ve bazı karışım özellikleri**

Numune Kod No	Çimento (kg)	Su (lt)	Agrega (kg)		SA (kg)	SD (kg)	Slump (cm)	Taze Beton Birim Ağırlığı ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
			0-4 mm	4-16 mm				
1000	386	205	788	962	---	---	5.50	2367
1002	386	174	788	962	7.72	---	7.70	2385
1050	367	214	783	957	---	19.32	10.9	2347
1052	367	164	788	962	7.72	19.30	9.80	2365
1100	347	224	782	957	---	38.67	10.2	2325
1102	348	164	788	962	7.73	38.62	9.20	2342

BB üretiminde kullanılan malzeme miktarları ve bazı taze beton özellikleri, Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 4. Taze BB'ü oluşturan malzeme miktarları ( $1\text{m}^3$ ) ve bazı karışım özellikleri**

Numune Kod No	Çimento (kg)	Su (lt)	Agrega (kg)			SA (kg)	SD (kg)	Slump (cm)	Taze Beton Birim Ağırlığı ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
			0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm				
2000	430	415	730	550	52	---	---	8.4	1809
2002	430	390	730	550	52	8.6	---	6.4	1840
2050	408.5	420	729	549	52	---	21.50	7.2	1792
2052	408.5	393	729	549	52	8.6	21.51	7.1	1811
2100	387	420	729	549	52	---	43	6.8	1772
2102	387	391	730	550	52	8.6	43	6.2	1787

#### Sertleşmiş Beton Özellikleri

##### Bazı fiziksel özellikler

Betonlarda, 28 günlük numuneler üzerinde elde edilen bazı fiziksel özelliklerin aritmetik ortalamaları Tablo 5'de verilmiştir.

Birim Ağırlık (BA) bakımından en yüksek değerleri; SA katkılı numuneler vermişlerdir. BA değerlerinde, SD oranına bağlı olarak zayıf bir azalma eğilimi vardır.

Sertleşmiş betonlarda, katkı oranı – birim ağırlık ilişkisinde, TBHA değerleri ile bir paralellik olduğu söylenebilir. En yüksek birim ağırlık, NB'larda; 1002 kodlu numunelerde  $2325 \text{ kg}/\text{m}^3$  iken, BB'larda; 2002 kodlu serilerde  $1722 \text{ kg}/\text{m}^3$  olduğu görülmüştür. Su emme oranlarına bakıldığında ise; NB'larda; SA katkı kullanılan ve SA ile SD'nin birlikte kullanıldığı karışımlarda, 1000 kodlu numunelere göre bir azalma gözlenmiştir. Bunların içinde, en düşük su emme oranı % 2.84 olarak; 1102 kodlu numunelerde görülmüştür.

BB'larda ise; en yüksek su emme oranı değeri, 2100 kodlu numunelerde rastlanırken, 2000 kodlu numunelerle bir karşılaştırma yapıldığında, kesin bir yargı olmamakla birlikte SD ve SA katkı kullanımının su emme oranını olumsuz etkilediği söylenebilir.

**Tablo 5. Sertleşmiş betonlara ait bazı fiziksel özellikler**

Beton Tipi	Birim Ağırlık (kg /m <sup>3</sup> )	Yoğunluk (kg /m <sup>3</sup> )	Su Emme Oranı (%)
1000	2297	2445.11	5.82
1002	2325	2448.89	5.13
1050	2273	2370.43	4.63
1052	2302	2445.36	4.27
1100	2248	2333.74	5.06
1102	2277	2380.24	2.84
2000	1678	1782.16	5.90
2002	1722	1872.28	5.83
2050	1665	1781.00	6.42
2052	1711	1861.73	5.97
2100	1656	1767.61	8.25
2102	1696	1821.68	8.11

BB'larda SD, birim ağırlığı ve yoğunluğu azaltırken, su emme oranında bir artış sağlamaktadır. SA katkı kullanıldığında ise betonda su emme oranında bir azalma ve yoğunlukta SD'lı betonlara göre artış söz konusudur. Buna neden olarak; SA katkının betonun sıkışmasında olumlu etkisi olduğu söylenebilir. Betonların BA'ları birbirleri ile karşılaştırıldığında; NB'lardan, en düşük birim ağırlık değerine sahip olan 1100 kodlu numunelerin, 2248 kg /m<sup>3</sup> olduğu göz önüne alındığında, taşıyıcı BB'lardan en yüksek birim ağırlığa sahip olan 2002 kodlu numunelerde (1722 kg /m<sup>3</sup>) bile ~% 23 hafiflik sağladığı söylenebilir. Hüsem [16], benzer sonuçlara, % 33 oranında azalma ile ulaşmıştır.

### Basınç dayanımı

Basınç dayanımı deneyi sonunda, her seride en az 5 numuneden alınan NB ve BB'lara ait ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 6'da verilmiştir [15]. Genel olarak; bütün yaşlarda SD ve SA katkının birlikte kullanıldığı numunelerde, SD kullanım oranının artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında bir artış eğilimi vardır. SD'nın belirli oranlarda portland çimentosu ile değiştirilmesinin, betondaki boşlukları doldurması ve puzolanik aktivitesi sayesinde beton basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği söylenebilir [17].

**Tablo 6. Betonlarda basınç dayanımlarının ortalama ve standart sapma değerleri**

Beton Yaşı (Gün)	Beton Tipi	N	$f_{c\bar{x}}$ (MPa)	*)	Std. S. (MPa)	1)	Beton Tipi	N	$f_{c\bar{x}}$ (MPa)	‡)	Std. S. (MPa)	1)
7	1000	4	31,79	81	0,73	100	2000	5	18,80	77	0,98	100
	1002	5	45,49	116	0,60	143	2002	5	20,58	84	1,09	109
	1050	5	29,23	75	0,60	92	2050	5	18,93	77	0,47	101
	1052	5	42,96	110	0,87	135	2052	5	20,18	83	0,81	107
	1100	5	23,66	60	0,53	74	2100	5	18,69	77	0,74	99
	1102	5	43,93	112	1,29	138	2102	5	22,22	91	0,68	118
28	1000	4	39,18	100	2,01	100	2000	5	24,43	100	1,04	100
	1002	5	47,08	120	1,80	120	2002	5	25,60	105	2,07	105
	1050	5	41,12	105	2,03	105	2050	5	23,50	96	1,54	96
	1052	5	55,01	140	3,52	140	2052	5	26,21	107	3,35	107
	1100	5	34,09	87	1,74	87	2100	5	22,26	91	0,95	91
	1102	5	58,62	150	2,14	150	2102	5	28,26	116	2,62	116
90	1000	4	40,34	103	2,09	100	2000	5	25,40	104	1,24	100
	1002	5	51,70	132	5,97	128	2002	5	25,28	103	3,24	100
	1050	5	45,74	117	5,54	113	2050	5	24,31	100	0,70	96
	1052	5	61,01	156	5,24	151	2052	5	26,23	107	2,44	103
	1100	5	36,78	94	7,92	91	2100	5	24,42	100	2,36	96
	1102	5	66,47	170	6,54	165	2102	5	28,58	117	3,02	113

\*) : Parantez içindeki değerler; basınç dayanımı değerlerinin 28 günlük katkısız NB basınç dayanımına göre yüzdeleridir.

‡) : Parantez içindeki değerler; basınç dayanımı değerlerinin 28 günlük katkısız BB basınç dayanımına göre yüzdeleridir.

1) : Betonlarda her yaş için 1000 ve 2000 numunelerin yüzdesi olarak basınç dayanımı değişimi

BB'larda basınç dayanımı değerleri için 7. günde en yüksek basınç dayanımı 2102 kodlu numunelerde elde edilmiştir. Burada elde edilen dayanım, 28 günlük şahit 2000 kodlu numunenin % 91'ine ulaşmıştır. En düşük

dayanımı, 2100 / 2000 / 2050 kodlu numuneler vermişlerdir.

28 günlük dayanımlarda ise; 2102 kodlu numune bütün numuneler içinde en yüksek değeri vermiştir. Buradaki

artış oranı 2000 kodlu numuneye göre % 16 olmuştur. 2052 kodlu BB'lar ise 2000 numunelerine göre % 7'lik bir artış sağlamışlardır. Bu numuneler arasında, SD'nin yalnız başına kullanım oranı artarken, basınç dayanımı azalmaktadır. 90 günlük dayanımlarda; 7 ve 28 günlük dayanımlara benzer bir şekilde en yüksek sonuç; 2102 kodlu numunelerde elde edilmiştir. Artış oranı 2000 kodlu numuneye göre % 17 olmuştur. 2052 kodlu numunelerde ise % 7 artış görülmüştür. Diğer beton serileri arasında, belirgin bir değişim olmamıştır.

BB'lerde, bütün yaşlarda en iyi basınç dayanımını 2102 kodlu numune vermektedir. Kesin bir yargı olmamakla birlikte, yapılan analizler sonucunda; SD'nin tek başına kullanımının basınç dayanımını azalttığı söylenebilir. Bunun sebebi; SD kullanılarak üretilen betonların yüksek miktarda karışım suyuna ihtiyaç duymasıdır. SD'nin su gereksiniminin karşılanmasında SA katkı kullanılması önerilmektedir [17]. Çünkü beton dayanımını etkileyen en önemli etkenlerden birisi s/b oranıdır ve bu oran; dayanım ile ters orantılıdır [18].

SD katkı kullanılarak üretilen betonların 28 günden sonraki dayanımlarında artış oranı azalmaktadır. 90 günlük dayanımları, 28 günlük dayanımlarından çok az miktarda yüksektir. Sonuçlar, Zhang and Gjörv [19]'un elde ettikleri sonuçlarla paralellik göstermektedir.

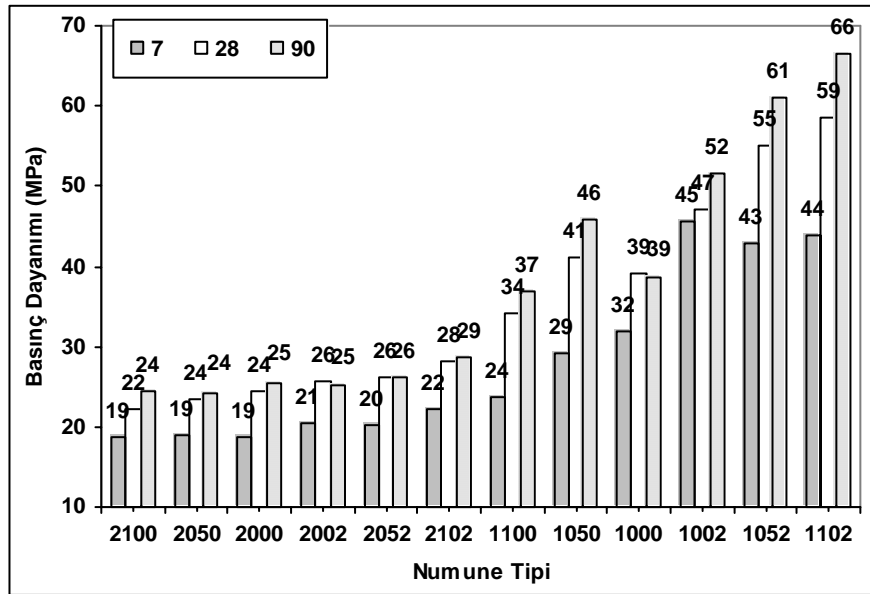
BB numunelerin basınç dayanımlarına ait değerlendirmede, BB tipleri arasında rakamsal olarak önemli bir değişimden bahsedilmese de istatistiksel değerlendirmede  $\alpha=0,05$  düzeyinde anlamlı fark görülmüştür. [ $F_{(5,24)}=9,101$ ;  $p<0,05$ ]. Farklı yaşlarda elde edilen basınç dayanımı değerleri arasında da  $\alpha=0,05$  düzeyinde anlamlı fark vardır [ $F_{(2,48)}=73,281$ ;  $p<0,05$ ]. Ancak iki faktörün ortak etkisi anlamlı değildir [ $F_{(10,48)}=0,716$ ;  $p<0,05$ ]. BB'lerde anlamlı fark olan beton tiplerini belirlemek amacı ile çoklu karşılaştırma için,

Scheffe testi uygulanmıştır. Çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre 2102 kodlu BB'lar (28,26 MPa) diğerlerine göre  $\alpha=0,05$  düzeyinde anlamlı olarak farklıdır. 2052 ve 2002; 2002 ve 2000; 2000, 2050 ve 2100 kodlu numuneler ise birbirlerine göre anlamlı olarak fark göstermemişlerdir.

Şekil 1 incelendiğinde; BB'lerde 7 günlük basınç dayanımlarına SD katkının tek başına kullanılmasının etkisi olmadığı gözlenirken, SA katkı ile birlikte kullanıldığında da aynı durum söz konusudur. 28 ve 90 günlük betonlarda ise SD'nin tek başına kullanımında, dayanımlar az da olsa olumsuz etkilenmiştir. SD ve SA'nın birlikte kullanımında ise % 5 SD için bir değişiklik görülmezken, % 10 SD için az da olsa bir artış olmuştur.

NB ve BB'lar birlikte göz önüne alındığında, 2000 kodlu BB'ların çimento dozajının;  $430 \text{ kg/m}^3$  (Tablo 4) 1000 kodlu NB'un  $386 \text{ kg/m}^3$  (Tablo 3) olmasına rağmen, 2000 kodlu BB'lar ile 1000 kodlu NB'lar arasında, bütün serilerde, NB'un açık üstünlüğü söz konusudur. Bunun sebebi, BB'un ürettiği bims agregasının tabii olarak gözenekli olan yapısından kaynaklanan basınç dayanımlarının, kalker agregasına göre çok düşük olmasıdır [8,20]. Çimento dozajının bir dereceye kadar artışı ile BB'ların basınç dayanımları artırılabilir ancak, harç fazının göçmesi ile agregaya aktarılan gerilmeler, yetersiz agrega tepkisi nedeni ile karşılanamamaktadır [21].

Cengizkan ve Ersoy'un [7] çalışmalarında;  $430 \text{ kg/m}^3$  çimento dozajı ile 16 MPa silindirik basınç dayanımına ulaşıldığı belirtilmiştir. Hüsem'in çalışmasında, katkısız BB numunelerden (S/Ç=0,50 için) elde edilen, standart silindirik basınç dayanımlarının; NB'ların, ~%51'i olduğu bildirilmiştir [16].



Şekil 1. Beton yaşına bağlı basınç dayanımı-numune tipi ilişkisi

## SONUÇ

Bu bildiriye, BB'larda SD ve SA katkı kullanımının,

- Birim ağırlıklarına,
- Basınç dayanımlarına,

NB'la karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde sıralanmaktadır:

### Birim Ağırlık

Bu çalışmadaki, en ağır BB olan; % 2 SA katkılı BB'ların birim ağırlıkları dahi, en hafif NB olan; % 10 SD katkılı NB'lardan, ortalama % 23'e varan oranlarda daha düşüktür.

### Basınç Dayanımı

NB'lardan aynı işlenebilirlikteki betonlarda, SD kullanım oranının % 10 olması durumunda, basınç dayanımı düşmüştür. SD ve SA katkının birlikte kullanıldığı numunelerde ise SD kullanım oranının artışına bağlı olarak basınç dayanımları da % 50'ye varan oranlarda artmıştır. Şahit BB'larda, 430 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajı ile 28. günde; 24 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. BB'larda, katkı olarak yalnızca, SD kullanıldığında, kullanım oranının artışına bağlı olarak, NB'larda olduğu gibi basınç dayanımında bir azalma meydana gelmiştir. SD ve SA katkının birlikte kullanımı; SD kullanım oranına bağlı olarak belirgin olmamakla birlikte, bir artışa neden olmuştur.

NB'lar ve BB'ların 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında; katkısız numunelerde; BB'ların dayanımlarının, NB'ların; % 62'si kadar olduğu görülmüştür. BB ve NB'lardan, en yüksek dayanıma ulaşılan, % 10 SD- % 2 SA katkılı numunelerde; BB dayanımları, NB'ların dayanımlarının, % 48'i kadar olmuştur.

## KAYNAKLAR

1. Şimşek, O, Yapı Malzemeleri Cilt 2, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 33-47, 2000.
2. Ersoy, U ve Özcebe, G, Betonarme, Evrim Yayınevi, 50-51, 721-728, 2001.
3. Tuna, M, E, Betonarme, Cilt:I, Gazi Üniversitesi İletişim Fakültesi Matbaası, Ankara, 24-25, 1993.
4. Postacioğlu, B., Beton Cilt 2 (Agregalar ve Beton), Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 233-234, 344-345, 397-401, 1987.
5. Neville, A M, Properties of Concrete, Fourth and Final Edition Standards, Pearson, Prentice Hall, 18-119, 670-674, 2002.
6. Şimşek, O ve Kılıç, R., "Madensehri (Karaman) doğusundaki ponza taşı ile üretilen hafif beton dayanımına uçucu kül oranının etkisinin incelenmesi" Tr. J. Of Engineering and Enviromental Sciences TÜBİTAK, Ankara, 1991; 15:283-295.

7. Cengizkan, K. ve Ersoy, U. "Betonarmede Bims Kullanımı, İMO İzmir Şubesi, İzmir, 5, 14-21, 25-29, 1999.
8. Taşdemir, M. A., "Taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları" Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1982;2-14.
9. Gündüz, L, Sarıışık, A, Tozaçan, B, Davraz, M, Uğur, İ ve Çankıran, O, Pomza Teknolojisi, Cilt I, s.288, Isparta, 1998.
10. Yıldız, N., Madenciligimize bakış: 2003 3, 7 [http://www.maden.org.tr/yeni3/yayinlar/kitaplar/Maden\\_ciligimizebakis2003/Madenciligebakis2003.pdf](http://www.maden.org.tr/yeni3/yayinlar/kitaplar/Maden_ciligimizebakis2003/Madenciligebakis2003.pdf)
11. Yeğınobalı, A., "Hafif ve yüksek dayanımlı hafif beton" Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 1997; 2, 8: 20-30.
12. Yaşar, E, et al., "Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash" Materials Letters, 2003;53: 2267-2270.
13. Halilov, S., "Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkılı lifli betonların özellikleri" Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1, 2003.
14. Yeğınobalı, A., Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, TÇMB, 2. Baskı, Ankara, 18-19, 28-34, 45-46, 2002.
15. Sancak, E, "Silis dumanı katkılı bimsbetonların özellikleri" Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
16. Hüsem, M., "Doğu Karadeniz Bölgesi doğal hafif agregalarından biriyle yapılan hafif betonun geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelenmesi" Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1-12, 1995.
17. Erdoğan, T Y, Beton, METU Press, I. Baskı, Ankara, 66-67, 191-198, 652-677, 2003.
18. Aruntaş, H Y, "Süper akışkanlaştırıcı bir katkının betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi" Çimento ve Beton Dünyası, 1997; 2,9, 33-38.
19. Zhang, M.H, Gjörv, O. E., "Characteristics of lightweight aggregates for high strength concretes" ACI Materials J., 1991;88, 2: 150-158.
20. Topçu, İ. B, "Semi-lightweight concretes produced by volcanic slags" Cement and Concrete Research, 1997; 27: 15-21.
21. Tokyay, M, ve Şatana, O, A, "Hafif beton özelliklerine çimento miktarının etkileri" Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 1997; 2,8: 31-39.