



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2007, Volume: 2, Number: 4
Article Number: A0039

NATURAL AND APPLIED SCIENCES
CIVIL ENGINEERING

Received: February 2007
Accepted: October 2007
© 2007 www.newwsa.com

Osman Şimşek
Emre Sancak
Mürsel Erdal
Hakan Bolat

University of Gazi
merdal@gazi.edu.tr
Ankara-Türkiye

**BİMS AGREGASI İLE ÜRETİLEN SİLİS DUMANI KATKILI TAŞIYICI HAFİF
BETONLARIN KONUT ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

ÖZET

Ülkemizde, geniş rezervleri bulunan bims, ikinci bir işleme tâbi tutulmaksızın hafif beton üretiminde kullanılabilir. Bu çalışmada; birim ağırlığı düşük olan bimsbetonların Türkiye'nin artan konut ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bims agregası ile 150x150x150 mm boyutunda üretilen taşıyıcı bimsbeton (BB) ve normal yoğun agrega ile üretilen normal betonların (NB), birim ağırlık ile 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Sonuç olarak; BB'lerin birim ağırlıkları, NB'lere göre %23 daha düşük çıkmıştır. 430 kg/m³ çimento dozajlı BB'lerin 28. gündeki basınç dayanımları ortalama 24 MPa'dır. Konut üretiminde, taşıyıcı beton olarak bims agregası ile üretilen BB'ler, basınç dayanımları arttırılarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Taşıyıcı Hafif Beton, Bims Agregası,
Bimsbeton, Silis Dumanı

**INVESTIGATION OF USING THE SILICA FUME ADDED STRUCTURAL LIGHTWEIGHT
CONCRETE PRODUCED WITH PUMICE AGGREGATE IN BUILDING CONSTRUCTIONS**

ABSTRACT

Pumice, having large deposits in our country, can be used in producing of the lightweight concrete without any additional process. In this study, usability of the pumcrete which has low unit weight in order to meet increasing housing requirement of Turkey has been investigated. Unit weight and 7, 28 and 90 days compressive strengths of structural light weight concrete produced with pumice aggregate (PC) and normal concrete produced with normal density aggregate (NC) are investigated by using 150x150x150 mm cube specimens. As a result, unit weights of PC are found as 23% lower than unit weights of NC. With the 430 kg/m³ cement dosage, lightweight concrete produced with Pumice has reached 24 MPa compressive strengths for 28 days. In producing residence, PC could be used as structural concrete if strength of it is improved.

Keywords: Structural Lightweight Concrete, Pumice Aggregate,
Pumcrete, Silica Fume



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye’de yoğun agrega kullanılarak üretilen betonlar, maliyetinin ucuz olması, yüksek dayanımı, kolay işlenebilme özelliği ve monolitik yapısı gibi özelliklerinden dolayı diğer yapı malzemelerine göre daha fazla kullanılmaktadır [1].

Hesaplarda, normal agregadan yapılmış betonun birim ağırlığı genel olarak 2400 veya 2500 kg/m³ olarak alınmaktadır [2]. Betonların basınç dayanımları birim ağırlıklarıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Ancak, deprem esnasında oluşan zemin titreşimi, yapının ağırlığı ile doğru orantılı olarak yapıya etki ettiğinden bina toplam ağırlığının azaltılması binanın yıkılmadan ayakta kalmasına yardımcı olacak bir unsurdur [3]. Bundan dolayı NB’nin yerine aynı işlevi sağlayan taşıyıcı hafif beton (HB) kullanılması yapıların depremden daha az etkilenmesine yardımcı olacaktır [4 ve 5].

HB’nin birim ağırlığı, gözenekli yapısından kaynaklanan ses yutuculuğu ve ısı yalıtım özellikleri yanında termik özelliklerinin de yüksek olması, yüksek sıcaklıklara karşı dirençli olmalarına ve bundan dolayı da yangın riski olan yapılarda tercih edilmelerine imkân vermektedir [6, 7 ve 8].

HB’lerin iyi özellikleri yanında sakıncaları da mevcuttur. Boşluklu olmaları nedeni ile yüksek mukavemetli beton üretmek zordur. Aşınmaya karşı dayanıksızdırlar. Rutubete karşı yalıtılmaları gerekir. Ayrıca, HB’nin rötresi NB’ye göre daha fazladır [5].

Taşıyıcı özelliğe sahip olan HB’ler genellikle genleştirilmiş kil, volkan tüfü, bims ve benzeri agregalarla üretilebilmektedir [1]. Bu agregaların içinde en yaygın ve en ekonomik olanı bimsdir. Bims agregası; sünger görümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1000 kg/m³’ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir maddedir. Kimyasal olarak %75’e varan silis içeriği bulunabilmektedir [9]. Bims rezervlerinin; 1,93x10⁹ tonunun Türkiye’de bulunduğuna belirtilmektedir [10].

Genel olarak bims agregası ile üretilen betonların birim ağırlığı 1800 kg/m³’den küçüktür [4]. Değişik standartlara göre BB’lerin basınç dayanım ve en yüksek birim ağırlıkları sırasıyla; ASTM C 330’a [11] göre 17 MPa ve 1850 kg/m³, DIN 1045’e [12] göre 15 MPa ve 1900 kg/m³, TS 2511’e [13] göre 16 MPa ve 1900 kg/m³’dür.

Yeğınobalı [14], doğal hafif agregalarla %15 silis dumanı katkısı ile birim ağırlığı 2000 kg/m³, basınç dayanımı yaklaşık 50 MPa olan BB’ler üretilebileceğini belirtmiştir. Yaşar [15], bazaltik bims kullanılarak taşıyıcı BB üretilebileceğini belirtmiştir.

2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICATION)

Bu çalışmada bims agregası ve silis dumanı katkılı taşıyıcı hafif beton üretilmesi amaçlanmıştır. Üretilen hafif betonun, normal beton ile karşılaştırılması yapılarak, katkı maddelerinin beton özelliklerine etkisi üzerinde durulmuştur. Bundan dolayı benzer konularda yapılacak yeni çalışmalara ışık tutabilmesi bakımından önem arz etmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

3.1. Materyal (Material)

Normal betonların üretiminde, Ankara-Elmadağ taş ocağından getirilen, d_{maks.}=16 mm olan kırma agrega kullanılmıştır. Agregalardan, 0-4 mm tane sınıfının yoğunluğu 2.57 kg/dm³, su emme oranı (SEO); %2.73 iken, 4-16 mm tane sınıfı için aynı değerler sırası ile 2.70 kg/dm³ ve %0.55’dir [16]. Beton karışımlarında toplam agrega hacminin %55’i kum (0-4 mm), %45’i çakıl (4-16 mm)’dir.

Hafif betonların üretiminde Isparta-Gölcük yöresinden temin edilen bims agregası; 0-4, 4-8 ve 8-16 mm sınıflara ayrılarak



kullanılmıştır. Özgül ağırlık faktörleri sırası ile; 2.09, 1.75, 1.50 kg/dm³'tür [13]. Bims agregasının elek analizi eğrisi, ASTM C 330'a [11] göre sınır değerler arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Çalışmada bağlayıcı olarak kullanılan Portland Çimentosu (PÇ 42,5R)'nun yoğunluğu; 3.15 kg/dm³, SD'nın ve bims agregasının kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Beton üretiminde kullanılan SD, Antalya Eti Elektrometalurji İşletmesi'nden temin edilmiştir.

Tablo 1. PÇ 42.5R, silis dumanı ve bims agregasının kimyasal bileşenleri
(Table 1. Chemical components of PÇ 42.5R, silica fume and pumice aggregate)

Bileşenler (%)	PÇ 42.5R	SD	Bims
CaO	63,98	0.44	4.60
SiO ₂	20.64	80.90	59.00
Al ₂ O ₃	5.06	0.34	16.6
Fe ₂ O ₃	3.14	0.55	4.80
MgO	1.20	5.23	1.80
SO ₃	2.38	---	0.40
K ₂ O	0.80	4.50	5.40
Na ₂ O	0.31	0.35	5.20
Cl	0.035	0.13	---
Kızdırma kaybı	1.72	2.70	1.60
Çözünmeyen kalıntı	0.46	---	---

Karışım suyu olarak, şehir içme suyu kullanılmıştır. Karışımlarda, istenilen işlenebilirliği sağlamak amacıyla yüksek oranda su azaltıcı ve erken mukavemet sağlayan, ASTM C 494 [17] Tip F'ye uygun süper akışkanlaştırıcı (SA) katkı malzemesi kullanılmıştır.

3.2. Yöntem (Method)

NB karışım hesabı, C20 betonu hedeflenerek su/bağlayıcı oranı (s/b) 0.53 seçilerek yapılmıştır [18]. BB'lerin üretiminde TS 2511 [13] esas alınmış ve bims agregası yüksek su emme özelliğinden dolayı ön nemlendirmeye tabi tutulmuştur. Betonların üretiminde çökme değerinin sabit tutulması hedeflenmiştir. Numuneler, kirece doymuş su dolu kür havuzunda 28 gün kür edilmiştir [19]. 28 günden sonra kür havuzundan çıkarılarak, deneyin yapılacağı 90. güne kadar 20±2°C sıcaklık ve %60±5 bağıl neme sahip laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Numuneler kısaltma kullanılarak kodlandırılmıştır. (NB10SD2SA Kodlu beton; %10 silis dumanı ve %2 süper akışkanlaştırıcı ile üretilen NB'yi ifade ederken, NB katkısız normal betonu, BB katkısız bimsbetonu, BB5SD; %5 silis dumanı katkılı bimsbetonu ifade etmektedir).

Karışımların kıvamının belirlenmesinde çökme deneyi kullanılmıştır [20]. Taze beton birim hacim ağırlık değerleri TS 2941'e [21] uygun olarak saptanmıştır.

Basınç dayanımı değerleri, 150x150x150 mm'lik küp numuneler üzerinde, 7, 28 ve 90 günde TS EN 12390-3'e [22] göre belirlenmiştir. Araştırmada sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesinde her seriden 5 numune kullanılmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

4.1. Taze Beton Özellikleri (Properties of Fresh Concrete)

NB üretiminde kullanılan malzeme miktarları ve taze beton özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. %2 SA ilave edildiğinde çökme 7 ± 2 cm sabit tutulmaya çalışılmıştır. %2 SA katıldığında çökme 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 katkıdır.

Tablo 2. Taze NB’yi oluşturan malzeme miktarları ($1m^3$) ve bazı karışım özellikleri

(Table 2. Material quantities of fresh NC ($1m^3$) and some mixture properties)

Numune Kod No	Çimento (kg)	Su (lt)	Agrega (kg)		SA (kg)	SD (kg)	Çökme (cm)	Taze Beton Birim Ağırlığı (kg/m^3)
			0-4 mm	4-16 mm				
NB	386	205	788	962	---	---	5.50	2367
NB2SA	386	174	788	962	7.72	---	7.70	2385
NB5SD	367	214	783	957	---	19.32	10.9	2347
NB5SD2SA	367	164	788	962	7.72	19.30	9.80	2365
NB10SD	347	224	782	957	---	38.67	10.2	2325
NB10SD2SA	348	164	788	962	7.73	38.62	9.20	2342

NB ve BB’lerde, 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 iyileştirirken serbest su miktarını da artırdığı bilinmektedir. 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 [5, 24 ve 25].

SA katkı kullanılan karışımlarda ise Tablo 3’ten de görüldüğü gibi istenilen çökme değeri, SD kullanılan karışımlar da dâhil olmak üzere kolaylıkla sağlanılabilmektedir. Taze beton birim hacim ağırlığı (TBBHA) 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 TBBHA değerleri, yapılan 5 ölçümün aritmetik ortalamasıdır.

BB üretiminde kullanılan malzeme miktarları ve bazı taze beton özellikleri, Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Taze BB’yi oluşturan malzeme miktarları ($1m^3$) ve bazı karışım özellikleri

(Table 3. Material quantities of fresh PC ($1m^3$) and some mixture properties)

Numune Kod No	Çimento (kg)	Su (lt)	Agrega (kg)			SA (kg)	SD (kg)	Çökme (cm)	Taze Beton Birim Ağırlığı (kg/m^3)
			0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm				
BB	430.0	199	730	550	52	---	---	8.4	1809
BB2SA	430.0	187	730	550	52	8.6	---	6.4	1840
BB5SD	408.5	202	729	549	52	---	21.50	7.2	1792
BB5SD2SA	408.5	189	729	549	52	8.6	21.51	7.1	1811
BB10SD	387.0	202	729	549	52	---	43.00	6.8	1772
BB10SD2SA	387.0	188	730	550	52	8.6	43.00	6.2	1787



4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri (Properties of Hardened Concrete)

4.2.1. Bazı fiziksel özellikler (Some Physical Properties)

Betonlarda, 28 günlük numuneler üzerinde elde edilen bazı fiziksel özelliklerin aritmetik ortalamaları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Sertleşmiş betonlara ait bazı fiziksel özellikler
(Table 4. Some physical properties of hardened concrete)

Beton Tipi	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Yoğunluk (kg/m ³)	Su Emme Oranı (%)
NB	2297	2445.11	5.82
NB2SA	2325	2448.89	5.13
NB5SD	2273	2370.43	4.63
NB5SD2SA	2302	2445.36	4.27
NB10SD	2248	2333.74	5.06
NB10SD2SA	2277	2380.24	2.84
BB	1678	1782.16	5.90
BB2SA	1722	1872.28	5.83
BB5SD	1665	1781.00	6.42
BB5SD2SA	1711	1861.73	5.97
BB10SD	1656	1767.61	8.25
BB10SD2SA	1696	1821.68	8.11

BA bakımından en yüksek değerleri; SA katkılı numuneler vermişlerdir. Birim ağırlık (BA) değerlerinde, SD oranına bağlı olarak zayıf bir azalma eğilimi vardır. Sertleşmiş betonlarda, katkı oranı-BA ilişkisinde, TBBHA değerleri ile bir paralellik görülmüştür. En yüksek BA, NB'lerden; NB2SA kodlu numunelerde 2325 kg/m³ iken, BB'lerden; BB2SA kodlu serilerde 1722 kg/m³ olduğu görülmüştür. Su emme oranlarına (SEO) bakıldığında ise; NB'lerde; SA katkı kullanılan ve SA ile SD'nin birlikte kullanıldığı karışımlarda, NB kodlu numunelere göre bir azalma gözlenmiştir. Bunların içinde, en düşük SEO %2.84 olarak; NB10SD2SA kodlu numunelerde görülmüştür. BB'lerde ise; en yüksek SEO değeri, BB10SD kodlu numunelerde rastlanırken, BB kodlu numunelerle bir karşılaştırma yapıldığında, kesin bir yargı olmamakla birlikte SD ve SA katkı kullanımının SEO'yu olumsuz etkilediği söylenebilir.

BB'lerde SD, birim ağırlığı ve yoğunluğu azaltırken, SEO'da bir artış sağlamaktadır. SA katkı kullanıldığında ise SEO'da bir azalma ve yoğunlukta da SD'li betonlara göre bir artış söz konusudur. Buna neden olarak; SA katkının betonun sıkışmasında olumlu etkisi olduğu söylenebilir. Betonların BA'ları birbirleri ile karşılaştırıldığında; NB'lerden, en düşük birim BA değerine sahip olan NB10SD kodlu numunelerin, 2248 kg/m³ olduğu göz önüne alındığında, taşıyıcı BB'lerden en yüksek birim ağırlığa sahip olan BB2SA kodlu numunelerden (1722 kg/m³) bile yaklaşık %23 hafiflik sağladığı söylenebilir. Hüsem [23], benzer sonuçlara %33 oranında azalma ile ulaşmıştır.

4.2.2. Basınç dayanımı (Compressive strength)

NB ve BB'lere ait basınç dayanımı aritmetik ortalaması ve standart sapma değerleri Tablo 5'te verilmiştir.



Tablo 5. Farklı beton tiplerinin basınç dayanımlarının ortalama ve standart sapma değerleri
 Table 5. Mean values and standard deviations of compressive strength of different concrete types

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	NB	5	31	81	0,73	100	BB	5	18	77	0,98	100
	NB2SA	5	44	116	0,60	143	BB2SA	5	20	84	1,09	109
	NB5SD	5	28	75	0,60	92	BB5SD	5	18	77	0,47	101
	NB5SD2SA	5	42	110	0,87	135	BB5SD2SA	5	20	83	0,81	107
	NB10SD	5	23	60	0,53	74	BB10SD	5	18	77	0,74	99
	NB10SD2SA	5	43	112	1,29	138	BB10SD2SA	5	22	91	0,68	118
28	NB	5	38	100	2,01	100	BB	5	24	100	1,04	100
	NB2SA	5	46	120	1,80	120	BB2SA	5	25	105	2,07	105
	NB5SD	5	40	105	2,03	105	BB5SD	5	23	96	1,54	96
	NB5SD2SA	5	53	140	3,52	140	BB5SD2SA	5	25	107	3,35	107
	NB10SD	5	33	87	1,74	87	BB10SD	5	22	91	0,95	91
	NB10SD2SA	5	57	150	2,14	150	BB10SD2SA	5	27	116	2,62	116
90	NB	5	38	103	2,09	100	BB	5	25	104	1,24	100
	NB2SA	5	50	132	5,97	128	BB2SA	5	25	103	3,24	100
	NB5SD	5	44	117	5,54	113	BB5SD	5	24	100	0,70	96
	NB5SD2SA	5	59	156	5,24	151	BB5SD2SA	5	25	107	2,44	103
	NB10SD	5	36	94	7,92	91	BB10SD	5	24	100	2,36	96
	NB10SD2SA	5	64	170	6,54	165	BB10SD2SA	5	28	117	3,02	113

*) : Basınç dayanımı değerlerinin 28 günlük katkısız NB basınç dayanımına göre yüzdelerdir.
 †) : Basınç dayanımı değerlerinin 28 günlük katkısız BB basınç dayanımına göre yüzdelerdir.
 1) : Katkısız NB ve BB numunelerin yüzdesi olarak basınç dayanımı değişimi

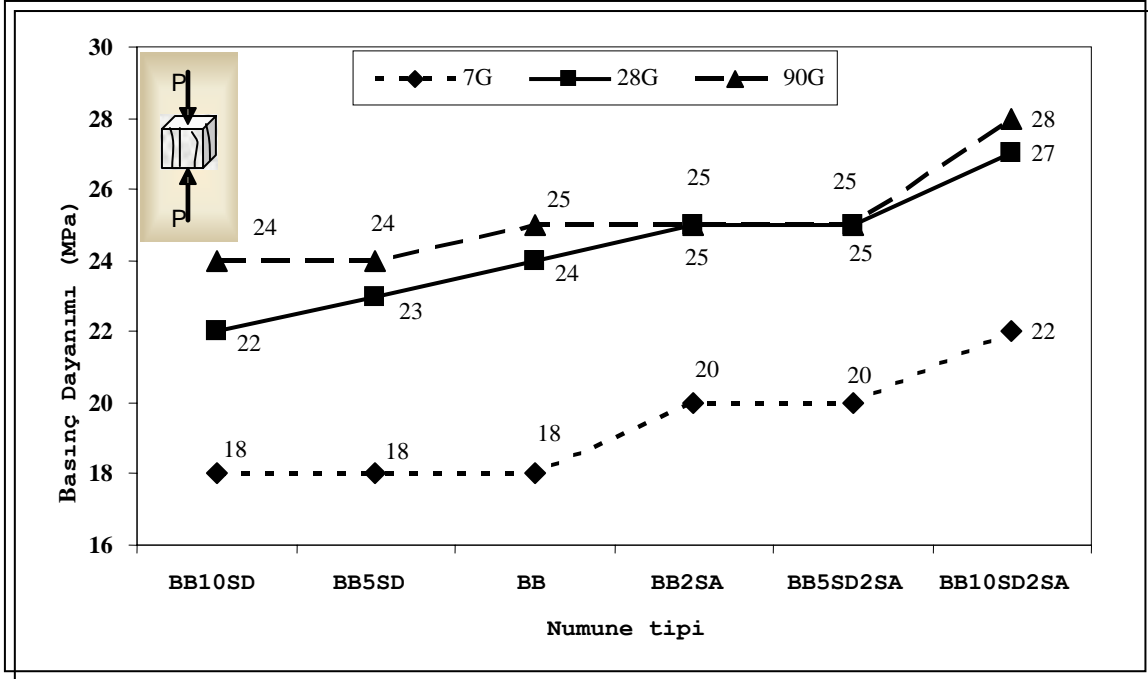
Genel olarak; bütün yaşlarda SD ve SA katkının birlikte kullanıldığı numunelerde, SD kullanım oranının artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında bir artış eğilimi vardır. SD'nin belirli oranlarda portland çimentosu ile değiştirilmesinin, betondaki boşluklarını doldurduğu ve puzolanik aktivitesi sayesinde beton basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür [25].

BB'lerde basınç dayanımı değerleri için 7. günde en yüksek basınç dayanımı BB10SD2SA kodlu numunelerden elde edilmiştir. Burada elde edilen dayanım, 28 günlük şahit BB kodlu numunenin % 91'ine ulaşmıştır. En düşük dayanımı BB10SD, BB ve BB5SD kodlu numuneler vermişlerdir.

28 günlük dayanımlarda ise; BB10SD2SA kodlu numune bütün numuneler içinde en yüksek değeri vermiştir. Buradaki artış oranı BB kodlu numuneye göre %16 olmuştur. BB5SD2SA kodlu numuneler ise BB 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; BB10SD2SA kodlu numunelerde elde edilmiştir. Artış oranı BB kodlu numuneye göre % 13 olmuştur. Diğer beton serileri arasında, belirgin bir değişim olmamıştır.

BB'lerde, bütün yaşlarda en iyi basınç dayanımını BB10SD2SA kodlu numuneler vermiştir. 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 [25]. Çünkü beton dayanımını etkileyen en önemli etkenlerden birisi s/b oranıdır ve bu oran; dayanım ile ters orantılıdır [26].

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 [27]'un elde ettikleri sonuçlarla paralellik göstermektedir.

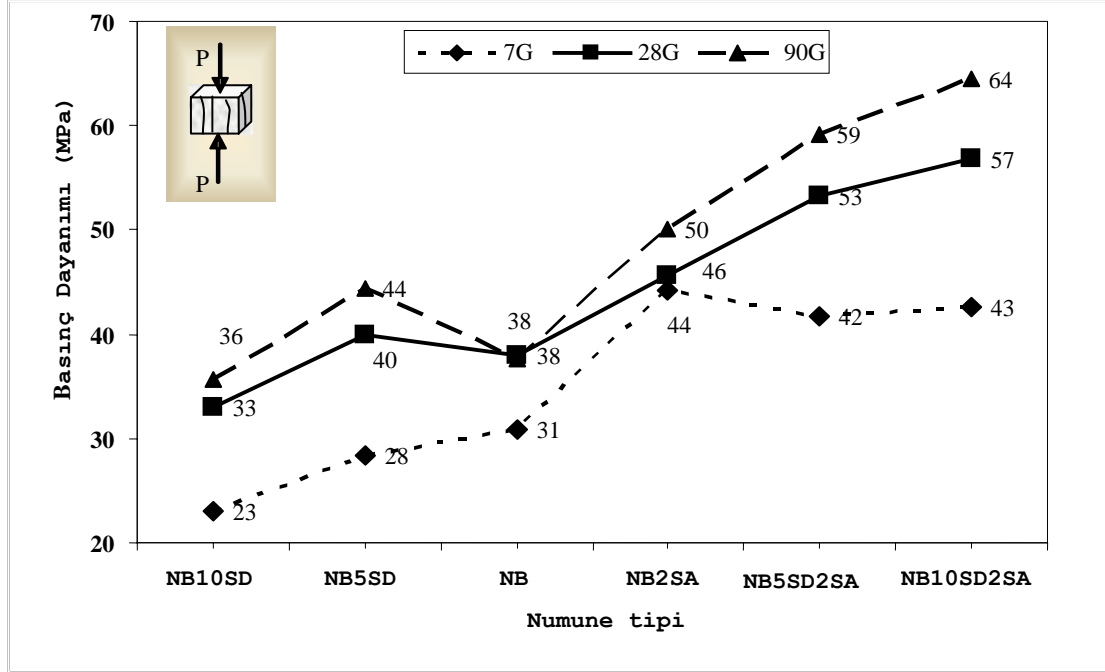


Şekil 1. BB'lerde beton yaşına bağlı basınç dayanımı-numune tipi ilişkisi
(Figure 1. Compressive strength-specimen type relationship in PC's depending on the age of concrete)

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 konusu değildir. Bu durumda dayanım az da olsa artmıştır. 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 artış olmuştur.

Şekil 2'ye göre, sadece SD kullanılarak üretilen NB'lerde, 7 günlük basınç dayanımlarında bir azalma eğilimi olduğu söylenebilir. Ancak, 28 ve 90 günlük dayanımlar %5 SD katkı oranı için artmış, % 10 SD katkı oranı için azalmıştır. NB'lerde; 7 günlük en yüksek basınç dayanımını NB2SA kodlu numune vermiştir. Burada, 7 günlük NB kodlu numuneye göre %43'lük bir artış söz konusudur. En düşük dayanım; NB10SD kodlu numunelerde görülmüştür. Burada 28 günlük NB kodlu numunelerin %60'ı oranında bir dayanım elde edilmiştir. 28 günlük dayanımlarda, en yüksek değere, NB10SD2SA kodlu numunelerde, şahit NB kodlu numunelere göre %50 artış oranı ile ulaşılmıştır. Neville [5]; SD'nin SA katkı ile birlikte kullanılması durumunda basınç dayanımının arttığını belirtmektedir. En düşük dayanım ise NB10SD kodlu numunelerde (%13 azalma) görülmüştür. Aynı durum, 90 günlük dayanımlarda da söz konusudur. Bu yaşta en yüksek dayanıma yine NB10SD2SA kodlu numunelerde ulaşılmıştır. Buradaki artış oranı 28 günlük şahit NB kodlu numuneye göre %70 olmuştur. Genel olarak; 28 ve 90 günlük numunelerde SD ve SA katkının birlikte kullanıldığı numunelerde, SD kullanım oranının artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında bir artış eğilimi vardır. SD'nin belirli oranlarda

çimento ile değiştirilmesinin, betondaki boşlukları doldurması ve puzolanik aktivitesi sayesinde beton basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği söylenebilir [13].



Şekil 2. NB'lerde beton yaşına bağlı basınç dayanımı-numune tipi ilişkisi

(Figure 2. Compressive strength-specimen type relationship in NC's depending on the age of concrete)

NB ve BB'ler birlikte göz önüne alındığında, BB kodlu örneklerin çimento dozajının; 430 kg/m^3 (Tablo 3) NB kodlu betonun 386 kg/m^3 (Tablo 2) olmasına rağmen, BB kodlu bimsbetonlar ile NB kodlu betonlar arasında, bütün serilerde NB'nin açık üstünlüğü söz konusudur. Bunun sebebi, BB'un üretildiği bims agregasının gözenekli olan yapısından kaynaklanan basınç dayanımlarının, kalker agregasına göre çok düşük olmasıdır [8 ve 28]. Çimento dozajının bir dereceye kadar artışı ile BB'lerin basınç dayanımları arttırılabilmekte ancak, harç fazının göçmesi ile agregaya aktarılan gerilmeler, yetersiz agregaya tepkisi nedeni ile karşılanamamaktadır [29].

Cengizkan ve Ersoy'un [7] çalışmalarında; 430 kg/m^3 çimento dozajı ile 16 MPa silindirik basınç dayanımına ulaşıldığı belirtilmiştir. Hüsem [23] çalışmasında, katkısız BB numunelerden ($S/\Ç=0,50$) elde edilen, standart silindirik basınç dayanımlarının; NB'lerin, yaklaşık %51'i olduğu bildirilmiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu araştırmada, SD ve SA katkı kullanımının, BB'lerin birim ağırlıklarına ve basınç dayanımlarına etkileri, NB ile karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve BB'lerin konut üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- En ağır BB olan; %2 SA katkılı BB'lerin birim ağırlıkları dahi, en hafif NB olan; %10 SD katkılı NB'lerden, ortalama %23 oranında daha düşüktür.
- NB'lerden 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 artış olmuştur.

- Şahit BB'lerde, 430 kg/m³ çimento dozajı ile 28. günde; 24 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. BB'lerde, katkı olarak yalnızca, SD kullanıldığında, kullanım oranının artışına bağlı olarak, NB'lerde 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'ler ve BB'lerin 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında; katkısız numunelerde; BB'lerin dayanımlarının, NB'lerin dayanımlarının %63'ü kadar olduğu görülmüştür. BB'lerden, en yüksek dayanıma ulaşılan, %10 SD ile %2 SA katkılı numunelerde; BB dayanımları, katkısız NB'lerin dayanımlarının, %71'i kadar olmuştur.
- BB'ler betonarme yapıların taşıyıcı elemanlarında kullanıldıklarında, yapıdaki ölü yükleri NB'lere göre azaltmaktadırlar. Çimento gereksiniminin fazla olması, maliyetleri yükselten bir dezavantaj gibi gözükse de, deprem gibi yatay kuvvetlerle doğru orantılı olarak değiştiği bilinen birim ağırlığın azalması uzun vadede avantaj sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazarlar, bu araştırmanın, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü tarafından, 07/2002-36 kodlu araştırma projesi olarak desteklenmesinden dolayı teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Şimşek, O., (2004). Beton Teknolojisi. Ankara: Seçkin Yayınevi.
2. Ersoy, U. ve Özcebe, G., (2001). Betonarme. Ankara: Evrim Yayınevi.
3. Tuna, M.E., (1993). Betonarme. Cilt I. Ankara: Gazi Üniversitesi İletişim Fakültesi Matbaası.
4. Postacıoğlu, B., (1987). Beton. Cilt 2. İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
5. Neville, A.M., (2002). Properties of Concrete. Fourth and Final Edition Standards. New York: Prentice Hall.
6. Şimşek, O. ve Kılıç, R., (1991). Madenşehri (Karaman) doğusundaki ponza taşı ile üretilen hafif beton dayanımına uçucu kül oranının etkisinin incelenmesi. Tr. Journal of Engineering and Environmental Sciences, TÜBİTAK: Cilt:15, ss.283-295.
7. Cengizkan, K. ve Ersoy, U., (1999). Betonarmede bims kullanımı. İMO İzmir Şubesi Cilt:5, ss.14-29.
8. Taşdemir, M.A., (1982). Taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fenn Bilimleri Enstitüsü.
9. Gündüz, L., Sarılışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ. ve Çankıran, O., (1998). Pomza Teknolojisi. Cilt I. Isparta.
10. Yıldız, N., (2003). Madencilliğimize Bakış. <http://www.maden.org.tr/yeni3/yayinlar/kitaplar/Madenciligimizebakis2003/Madenciligimizebakis2003.pdf>.
11. ASTM C 330-02a, (2003). Standard specification for lightweight aggregates for structural concrete. Annual Book of ASTM Standards.
12. DIN 1045, (1988). Structural use of concrete. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
13. TS 2511, (1977). Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.



14. Yeğınobalı, A., (1997). Hafif ve yüksek dayanımlı hafif beton. Çimento ve Beton Dünyası Dergisi. Cilt:2, Sayı:8, ss:20-30.
15. Yaşar, E, et al., (2003). Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash. Materials Letters. Volume:53, pp:2267-2270.
16. TS 3526, (1980). Beton agregalarında özgül ağırlık ve su emme oranı tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
17. ASTM C 494, (1994). Standard specification for chemical admixtures for concrete. Annual Book of ASTM Standards.
18. TS 802, (1985). Beton karışım hesapları. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
19. ASTM C 192, (2003). Practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory. Annual Book of ASTM Standards.
20. TS EN 12350-2, (2002). Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slamp) deneyi. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
21. TS 2941, (1978), Taze betonda birim ağırlık, verim ve hava miktarının ağırlık yöntemi ile tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
22. TS EN 12390-3, (2003). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
23. Hüsem, M., (1995). Doğu Karadeniz Bölgesi doğal hafif agregalarından biriyle yapılan hafif betonun geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
24. Sancak, E., (2005). Silis dumanı katkılı bimsbetonların özellikleri. Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
25. Erdoğan, T.Y., (2003). Beton. Ankara: METU Pres.
26. Aruntaş, H.Y., (1997). Süper akışkanlaştırıcı bir katkının betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. Çimento ve Beton Dünyası. Cilt:2, Sayı:9, ss:33-38.
27. Zhang, M.H. and Gjörv, O.E., (1991). Characteristics of lightweight aggregates for high strength concretes. ACI Materials J., Volume:88, No:2, pp:150-158.
28. Topçu, İ.B., (1997). Semi-lightweight concretes produced by volcanic slags. Cement and Concrete Research. Volum:27, pp:15-21.
29. Tokyay, M. ve Şatana, O.A., (1997). Hafif beton özelliklerine çimento miktarının etkileri. Çimento ve Beton Dünyası. Cilt:2, Sayı:8, ss:31-39.