

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE KÜR ORTAMI VE AGREGA TİPİNİN ETKİSİ

Tahir GÖNEN* ve **Salih YAZICIOĞLU****

*Tunceli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli

** Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Ankara

tahirgonen@gmail.com, yazicioglus@gmail.com

(Geliş/Received: 03.06.2009 ; Kabul/Accepted: 14.06.2010)

ÖZET

Hafif beton, özellikle deprem açısından bakıldığında önemli avantajlara sahip bir beton türüdür. Bunun yanında, üretim aşamasında işlenebilirlik özelliklerinin zor olmasından dolayı problemler yaşanabilmektedir. Bu beton türüne kendiliğinden yerleşebilir özelliğinin kazandırılmasıyla bu olumsuzluklar ortadan kalkabilir. Bu çalışmada bazaltik pomza ve genişletilmiş perlit agregası ile üretilen kendiliğinden yerleşen hafif betonların (KYHB) mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada üretilen KYHB'lerin toz fazı CEM I 42,5 N tipi çimento ve C sınıfı uçucu külden oluşmaktadır. Agregada ise bazaltik pomza ve genişletilmiş perlit agregası farklı oranlarda yer değiştirilerek kullanılmıştır. Üretilen KYHB'lerin dere agregalı normal ağırlıklı kendiliğinden yerleşen betonların ve vibrasyonla sıkıştırılan hafif betonların mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Farklı kür ortamlarında bakımı yapılan numunelerin 7, 28 ve 90 günlük basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçları; hafif agregada ile 28 günde 50 MPa basınç dayanımına sahip KYHB'lerin üretilebildiğini ve bu betonların kür ortamından fazla etkilenmediğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton, bazaltik pomza, genişletilmiş perlit, mekanik özellikler.

INFLUENCE OF CURING CONDITIONS AND AGGREGATE TYPE ON MECHANICAL PROPERTIES OF SELF COMPACTING LIGHTWEIGHT CONCRETE

ABSTRACT

Lightweight concrete has important advantages, especially in terms of earthquakes. Besides, the production of lightweight concrete with lightweight aggregate is a problem, because workability of lightweight concrete is difficult. If self compaction property can be added to the lightweight concrete, this negativity can be removed. In this study, mechanical properties of self compacting lightweight concrete (SCLWC) containing expanded perlite and pumice aggregates were investigated. Moreover, mechanical properties of self compacting (SCC) and lightweight (LC) concrete were investigated by being compared with SCLWC. Powder phase of self compacting lightweight concrete consisted of CEM I 42.5 N cement type and C class fly ash. Pumice and expanded perlite aggregates were used in aggregate phase. Compressive strength and flexural tensile strength at 7, 28 and 90 days were determined on specimens were cured in water and air at the same ages. Obtained test results showed that SCLWC of 50 MPa compressive strength at 28 days can be produced by the use of lightweight aggregate and this concrete was not effect to curing condition as much as conventional concrete.

Key words: Self compacting concrete, scoria, expanded perlite, mechanical properties

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye'nin büyük bir bölümü 1. ve 2. derece deprem bölgesi üzerindedir. Stratejik öneme sahip birçok yapı bu riskli bölgelerdedir. Depremler esnasında, yapılara gelen yükler yapının ağırlığı ile doğru orantılıdır. Yapılarda hafif beton kullanılması durumunda yapının zemine aktardığı yük azalır. Zati ağırlığı fazla olan bir

yapı, deprem sırasında daha fazla salınım yapmaktadır. Binalarda hafif agregadan yapılmış beton kullanıldığında yapının toplam kütlesi azalmakta, dolayısıyla da binanın iskeletini taşıyan temele daha az yük binmektedir. Bir başka deyişle, hafif malzemelerle yapılan binalarda deprem sırasında oluşan eylemsizlik kuvvetleri de azalacağından sarsıntıların bina üzerindeki yıkıcı etkileri zayıflar [1-

3]. Hafif beton kullanımının, bina ölü yükünü azaltmasının ve ısı yalıtımı sağlaması gibi avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Hafif betonun başlıca bilinen dezavantajları; işlenebilirlik gücü ve basınç dayanımlarının nispeten az olmasıdır.

İnşaat sektöründe en fazla kullanım alanına sahip olan kompozit malzemelerden biri betondur. Bu kompozit malzemenin özelliklerini iyileştirme yönünde birçok araştırma mevcuttur. Son yıllarda beton teknolojisinde önemli gelişmelerden biri de kendiliğinden yerleşen betondur (KYB). İlk kez 1990 yılında Japonya'da geliştirilen KYB, herhangi bir sıkıştırılmaya gerek kalmadan kendi ağırlığıyla kalıbına yerleşebilen ve sıkışabilen bir beton türüdür. KYB'nin malzeme maliyetinin yüksekliği, su geçirimsizliklerinden dolayı iç bölgelerde kür problemi, hedeflenen dayanımdan yüksek çıkması ve daha gevrek olması gibi problemleri bulunmaktadır.

Hafif betonun kendiliğinden yerleşebilmesi ya da KYB'de hafif agregası kullanılması ile hem KYB'nin hem de hafif betonun dezavantajları ortadan kalkabilir [4]. KYB'nin düşük su/çimento oranı ve yüksek toz malzemeler ile üretilmeleri sonucu daha fazla kür gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Bu betonların yüksek performanslı olmaları nedeniyle geçirimsiz olmaları da ayrıca kür suyunun iç bölgelere geçişini zorlaştırmaktadır.

Hafif beton üretmek için bilinen en temel kural beton içerisinde çeşitli yollarla boşluk oluşturmaktır. Boşluk oluşturma; harç içinde veya iri agregası taneleri arasında ya da agregasının içinde yapılır [5]. Bunlar içerisinde en yaygın olanı boşluklu agregasının kullanılmasıdır. Bu yolla yapılan hafif betonlar bazen kullanılan agregaya göre de isimlendirilirler. Sonuç olarak; her ne şekilde üretilirse üretilsin, TS EN 206-1 [6] birim ağırlığı 2000 kg/m³'ten az olan betonları hafif beton olarak sınıflandırmaktadır.

Hafif beton yapımında kullanılan agregalar doğal ya da suni olabilmektedir. Doğal hafif agregalar; genelde bir volkanizma ürünü olarak oluşmuş gözenekli ve geniş kütleli dağılımlar gösteren endüstriyel hammaddelerdir. Pomza, diatomit, perlit, vermikülit, tuf ve volkanik cürufur bu kapsamda değerlendirilen doğal hafif agregası türleri olarak sayılabilir [7].

Hafif agregası kaynağı açısından Türkiye'nin zengin olması ve her iki betonun birbirinin dezavantajlarını kapatabilecek nitelikte olması nedeniyle bu çalışmada kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) üretilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla bazaltik pomza ve

genleştirilmiş perlit agregaları ile KYHB üretilmiş ve dere agregası KYB ile kür ortamı da dikkate alınarak mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

2. MALZEMELER VE METOT (MATERIALS AND METHOD)

2.1. Malzemeler (Materials)

Deneysel çalışmalarda CEM I 42.5 N tipi çimento, viskozite artırıcı toz malzeme olarak ise Sivas Kangal termik santralinden temin edilen uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Kullanılan çimento ve UK'nin fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimento ve UK'nin kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri (Chemical and physical properties of cement and UK)

Kimyasal bileşim (%)	PÇ	Uçucu kül
SiO ₂	21.12	38.34
Al ₂ O ₃	5.62	16.69
Fe ₂ O ₃	3.24	5.11
CaO	62.94	27.62
MgO	2.73	1.60
SO ₃	2.30	4.44
Na ₂ O	-	-
K ₂ O	-	-
Cl	-	-
Kızdırma Kaybı	1.78	0.79
Fiziksel Özellikler		
Yoğunluk, (g/cm ³)	3.10	2.3
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3370	2343

Deneylerde kimyasal katkı olarak Sika Yapı Kimyasalları A.Ş'den temin edilen üçüncü nesil süper akışkanlaştırıcı (SA) kullanılmıştır. Kullanılan katkının pH değeri 3-7 ve yoğunluğu 20 °C'de 1.03-1.07 kg/l'tir.

Deneylerde 3 farklı kökenli agregası kullanılmıştır. Bunlar; dere, bazaltik pomza ve genleştirilmiş perlit agregasıdır. Dere agregası normal ağırlıklı KYB üretiminde, bazaltik pomza ve genleştirilmiş perlit agregası ise KYHB üretiminde kullanılmıştır. Dere ve bazaltik pomza agregası sırasıyla Elazığ'ın Palu ve Yeniköy yörelerine aittir. Genleştirilmiş perlit ise Etiper marka olarak piyasadan temin edilmiştir. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Dere ve bazaltik pomza agregaları 0-4, 4-8 ve 8-16 tane sınıflarına ayrılarak kullanılmıştır. Genleştirilmiş perlit agregası ise sadece 0-4 mm olarak kullanılmıştır.

Tablo 2. Agregaların fiziksel özellikleri (Physical properties of aggregate)

	Bazaltik pomza		Dere		Genleştirilmiş perlit
	İri	İnce	İri	İnce	İnce
Özgül ağırlık	1.91	2.07	2.67	2.73	0.19
Su emme (%)	8.3	17.7	2.0	2.0	140
Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)	789	836	1470	1580	0.022
500 devir aşınma (%)	42		5.6		

Tablo 3. Farklı agregalar ile üretilen KYB ve KYHB'lerin karışım oranları (Mixing rates of SCC and SCLWC made different aggregates)

Beton tipi	Toplam toz (kg/m ³)	PÇ (%)	UK (%)	SA (kg/m ³)	Su/toz (hacimce)	Genleştirilmiş perlit ince (%)	İri agregat (hacimce tüm karışımın %)
KYHB0	550	80	20	6	0.95	0	31
KYHB10	550	80	20	6	0.95	10	31
KYHB20	550	80	20	6	0.95	20	31
KYBH30	550	80	20	6	0.95	30	31
KYB1	420	80	20	6	0.95	-	31
KYB2	500	80	20	6	0.95	-	31
HB	440	100	-	2	0.95	-	31

Tablo 4. Kendiliğinden yerleşen betonların kabul kriterleri (Acceptance criteria for self compacting concrete)

Ölçülen özellik	Deney metodu	Sınır Değerler [8,9]		
Viskozite	V Hunisi akış süresi (sn)	≤8		≤25
Akışkanlık	Slump yayılma (mm)	550-650	660-750	760-850
Geçiş yeteneği	L kutusu deneyi (mm/mm)	≥ 0.8		
Ayrışma direnci	V hunisi 5 dk gecikmeli akış süresi (+sn)	0-3sn		
Ayrışma direnci	Elek testi (%)	≤ 20		

2.2. Deney Karışımları (Mix proportions)

Üretilen serilerin karışım oranları Tablo 3'de verilmiştir. Bazaltik pomza agregası ile üretilen KYHB'lerde birim ağırlığı biraz daha düşürebilmek için karışımın ince agregası farklı oranlarda genleştirilmiş perlit agregası ile yer değiştirilmiştir. Genleştirilmiş ince (0-4 mm) perlit agregası ince (0-4 mm) bazaltik pomza agregasının %30'una kadar yer değiştirilerek kullanılmıştır. Hazırlanan KYHB'leri kıyaslamak için iki farklı dozaja sahip dere agregalı KYB üretilmiştir. Bu karışımların rumuzları düşük dozajlı KYB1 ve yüksek dozajlı KYB2 serisidir. Tüm karışımları kıyaslamak için ayrıca KYB özelliği olmayan, vibrasyon ile sıkıştırılmış geleneksel hafif beton (HB) karışımı hazırlanmıştır.

Karışıma ilk önce kuru malzemeler katılmıştır. 2 dakika karıştırılan karışıma karışım suyunun 10/9 ilave edilip 10 dakika daha karıştırılmıştır. Kalan su ve akışkanlaştırıcı katkı karışıma ilave edildikten sonra 2 dakika daha karıştırılarak karıştırma işlemi bitirilmiştir. Numune dökümünde harç kalıplara KYB özelliği olan serilerde herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmadan KYB özelliği olmayan serilerde ise vibrasyon masasında sıkıştırmak suretiyle iki aşamada doldurulmuştur.

Bütün numuneler standart kirece doygun suda kür edilmiştir. Kür ortamının etkisini incelemek için KYHB, KYB1, KYB2 ve HB numunelerine ayrıca hava kürü uygulanmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler karanlık bir odaya alınmış ve bu ortamın günlük olarak sıcaklık ve nem durumu takip edilmiştir. Bu ortamın bağıl nemi ortalama %40-50 arasında, sıcaklığı ise 18-23 °C arasında gözlenmiştir. Bu şekilde deney zamanına kadar bekletilen numuneler çalışmada hava kürü olarak bahsedilmiştir. Üretilen beton numunelerinin üzerine kür ortamının etkisi, basınç dayanımı için 7, 28 ve 90 günde, eğilmede çekme dayanımı için ise sadece 28 incelenmiştir.

2.3. Uygulanan Deneyler (Applied tests)

Üretilen KHYB'lerin işlenebilirlikleri EFNARC'a [8] göre belirlenmiştir. Karışımlar 56 dm³ kapasiteli pan tipi mikserde hazırlanmıştır. Tablo 4'de belirtilen taze beton deneylerine yetecek miktarda KYHB karışımı hazırlandıktan sonra, aynı mikserden çıkan harç ile sırasıyla EFNARC'a [8] göre slump yayılma, V hunisi, L kutusu, V hunisi 5 dk gecikmeli akış süresi ve son olarak elek ayrışma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 4'de verilen sınır değerler ile kıyaslanmıştır.



Şekil 1. Slump yayılma deneyi (Experiment of slump flow)

Slump yayılma deneylerinde KYHB ve KYB karışımları herhangi bir sıkıştırma işlemine tabi tutulmaksızın abrams konisine doldurulmuş ve koninin kaldırılması sonrasında taze betonun toplam yayılma çapı birbirine dik iki yönde ölçülerek ortalamaları alınmıştır. Şekil 1’de yapılan bir ölçüm sonrası yayılmış harcın görüntüsü verilmiştir.

KYB ve KYHB’lerin viskozite özelliklerini belirlemek için V hunisi kullanılmıştır. V hunisi taze harç ile doldurulduğunda hemen alt tarafta bulunan kapağı açılarak boşalma süresi ölçülmüştür. Bu sürenin EFNARC’da [8] 8-25 saniye arasında olması gerektiği belirtilmektedir.

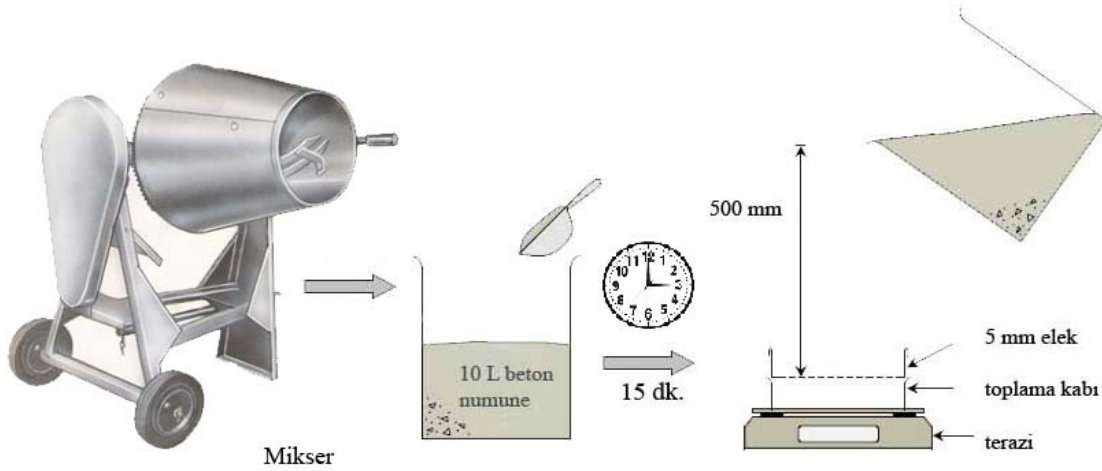
Numunelerin geçiş yeteneğini ölçmede standart L kutusu aparatı kullanılmıştır. L kutusu deneyi EFNARC’a [8] göre yapılmıştır. Harcın karılma işlemi biter bitmez bekletilmeden L kutusunun kapalı bölümüne herhangi bir sıkıştırılma işlemi yapılmadan doldurulmuştur. Doldurmanın hemen ardından alt tarafta bulunan kapak açılmış ve harcın demir çubuklar arasından geçiş yeteneği iki uç noktadaki kotun birbirine oranı ile tespit edilmiştir.

KYB ve KYHB’lerin ayrışma direncini belirlemek amacıyla iki farklı deney yapılmıştır. V hunisinde taze harç 5 dakika bekletilmiş ve bu süre sonrasında boşalma süresi ölçülmüştür. Ayrışmanın olmadığını söyleyebilmek için bu sürenin ilk boşalma süresine

göre en fazla 3 saniye gecikme olması gerektiği EFNARC 2002’de [9] belirtilmiştir. KYB ve KYHB’lerin ayrışma direnci için ayrıca elek ayrışma deneyi yapılmıştır (Şekil 2). Bu deneyde mikserden alınan taze harç ilk önce bir kaptaki 15 dakika bekletilmiştir. Bu süre zarfında ayrışma veya kuma olup olmadığı gözlenmiştir. Bu beklemenin ardından kaptaki taze harç 5 mm kare göz açıklıklı eleğe 50 cm yükseklikten boşaltılmıştır. Deney sonucunda elek altına geçen malzemenin tüm malzemeye oranı kaydedilmiştir. Bu oranın %20’e kadar olabileceği belirtilmiştir [8].

Basınç dayanımlarını belirlemek için 100 mm’lik PVC(polivinilklorür) küp numune kalıpları kullanılmıştır. Kalıplara taze KYB ve KYHB harçları herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmadan doldurulmuştur. HB serisinde ise vibrasyon masası kullanılarak sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Basınç dayanımı, 7, 28 ve 90 gün yaşlarındaki tüm numunelere TS EN 12390-3’e [10] göre uygulanmıştır. Basınç dayanımı deneylerinde 3000 kN kapasiteli hidrolik yük kontrollü dijital göstergeli pres kullanılmıştır. Basınç dayanımı testlerinin her bir yaşı için 3’er adet 10 cm’lik küp numune kırılmış ve bu üç numunenin aritmetik ortalaması dayanım değeri olarak alınmıştır.

Eğilmede çekme dayanımı deneylerinde 10×10×50 cm kiriş numuneler kullanılmıştır. Eğilmede çekme



Şekil 2. Elek ayırma deneyi (Sieve segregation resistance test)

Tablo 5. Karışımların taze beton özellikleri ve Birim Ağırlıkları (Properties of fresh concrete and unit weights)

Beton tipi	Slump (mm)	V hunisi İlk (s)	V hunisi 5 dk (s)	L kutusu (mm/mm)	Elek ayırma (%)	Taze br.ağr. (gr/dm ³)	Etüv br. Ağr. (gr/dm ³)
KYHB0	630	10	+3	0.87	7.9	1920	1785
KYHB10	660	11	+4	0.82	6.4	1900	1748
KYHB20	690	13	+2	0.80	7.0	1880	1722
KYHB30	660	11	+6	0.80	12.1	1860	1706
KYB1	670	5	+0	0.90	2.5	2385	2292
KYB2	710	4	+1	0.94	14	2395	2336

dayanımına, standart su kürü yapılan tüm serilerde 7, 28 ve 90 günde, hava kürü yapılanlarda ise sadece 28 günde bakılmıştır. Deney sonuçları 3 numunenin aritmetik ortalaması şeklinde verilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

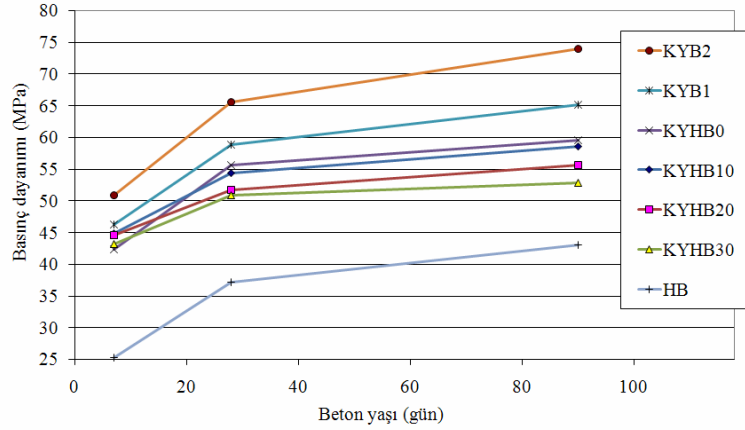
3.1. Taze Beton Özellikleri (Properties of Fresh Concrete)

Kendiliğinden yerleşen taze betonlara ait özellikler Tablo 5’te verilmiştir. KYB ve KYHB’ler üzerinde yapılan kendiliğinden yerleşebilirlik deneyleri sonucunda, geliştirilmiş perlit agregası takviyesinde en fazla %30 oranında yer değiştirmeye kadar kendiliğinden yerleşebilir özellikleri sağlanabilmektedir. Kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği göstermeyen numunelerin sonuçlarına bu çalışmada yer verilmemiştir. Geliştirilmiş perlit agregasının yüzey özellikleri bazaltik pomza agregasının yüzey özelliklerine benzerdir. Ancak bu iki hafif agreganın birim ağırlıkları arasında oldukça fark vardır. Bu farklılık V hunisi 5 dk gecikmeli akış süresinin biraz artmasına neden olmuştur. Bu artış en fazla KYHB30 serisinden elde edilmiştir. Tablo 5’de görüldüğü gibi elek ayırma testi de bu serinin ayırma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

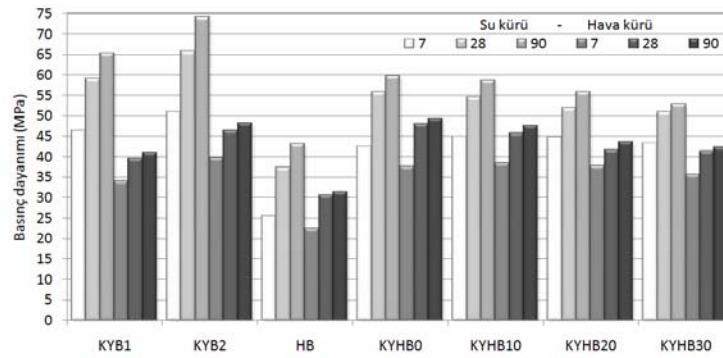
Tablo 5’de verilen taze beton özellikleri Tablo 4’deki EFNARC sınır değerleri ile kıyaslandığında tüm karışımların akışkanlık özelliğini sağladıkları görülmüştür. Ayrıca bloklanma oranı 0.80’nin

üstünde olmasıyla geçiş yeteneği açısından da tüm serilerin sınır değerleri içinde kaldıkları görülmüştür. Ayırma direnci parametresi ise iki bağımsız deney ile ölçülmüştür. Bu deneylerden elek ayırma testi ile yapılan ayırma direnci sınır değerlerini tüm karışımlar sağladığı halde, V hunisi 5 dakika gecikmeli testine göre ayırma direncini KYHB10 ve KYHB30 serileri sağlamamıştır. EFNARC 2002 ‘de [9] segrasyon direncini belirlemede 5 dakika gecikmeli V hunisi deneyi önerilmiştir. EFNARC 2005’de [8] ise 5 dakika gecikmeli V hunisi testinin yerine elek ayırma testi önerilmiştir. Bu bağlamda geçerliliği kalmamış olmakla birlikte 5 dakika gecikmeli V hunisi testine bu çalışmada yer verilmiş ve elek ayırma testi ile bulunan viskozite ölçümleri arasından anlamlı bir ilişkinin olmadığı görülmüştür.

Genleştirilmiş perlit agregasının bazaltik pomza agregasına göre hafif olmasından dolayı bu agregalar yukarıya doğru çıkma eğilimindedir. Karışımda herhangi bir değişiklik (genleştirilmiş perlit-pomza ikamesi hariç) olmadığından dolayı geliştirilmiş perlit agregası miktarındaki artışla birlikte segrasyon direncinde azalma olmuştur. Kendiliğinden yerleşebilir özellikleri açısından dere agregalı seriler KYB1 ve KYB2 betonları incelendiğinde slump yayılma çaplarının diğer seriler ile benzer olmasına karşın V hunisi sürelerinin kısalığı dikkat çekmektedir. Dere agregası birim ağırlığının bazaltik pomza ve geliştirilmiş perlit agregasına göre daha büyük olmasının, V hunisinden boşalmayı hızlandırmada etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. HB, KYB ve farklı agregalı KYHB'lerin basınç dayanımları (Compressive strength of LC, SCLWC and SCC)



Şekil 4. Su ve hava kürlü numunelerin karşılaştırmalı basınç dayanımları (Comparative compressive strengths of specimens with water and air cured)

3.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri (Properties of Hardened Concrete)

Tüm numunelerin 7, 28 ve 90 günde basınç dayanımları tespit edilmiştir. KYHB10, KYHB20 ve KYHB30 serilerinin 7 günlük dayanımları KYHB0 serisinden yüksektir. Genleştirilmiş perlitin yüksek silis içeriğine sahip olması bu durumu açıklayabilir. İleri yaşlarda sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte genel olarak Şekil 3'den de görüldüğü gibi birim ağırlık azaldıkça basınç dayanımı da düşmektedir.

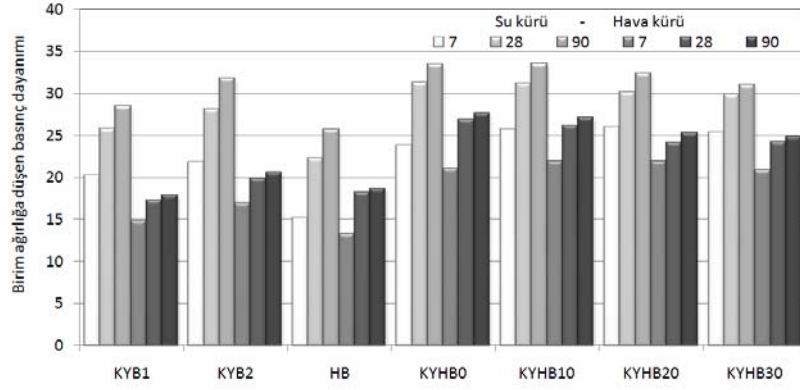
Kendiliğinden yerleşebilme özelliği olan KYHB serileri HB'nin basınç dayanımını tüm yaşlarda geçmiştir. Kendiliğinden yerleşebilme basınç dayanımında etkin bir değişken olarak gözükmemektedir. Agregası tipi de basınç dayanımını belirleyen faktörlerden biri olmuştur. Beklendiği gibi dere agregası kullanılan KYB1 ve KYB2 en yüksek dayanımı vermiştir.

KYB karışımları içerisinde çimento dozajı yüksek olduğu için KYB2'nin basınç dayanımı yüksek dozlu olmasından dolayı beklediği gibi KYB1'e göre daha yüksek çıkmıştır. Hafif agregalı KYHB'ler arasında ise en yüksek basınç dayanımı KYHB0 serisinden elde edilmiştir. KYHB0 serisinin basınç dayanımı çimento dozajınca kendisine yakın olan KYB2

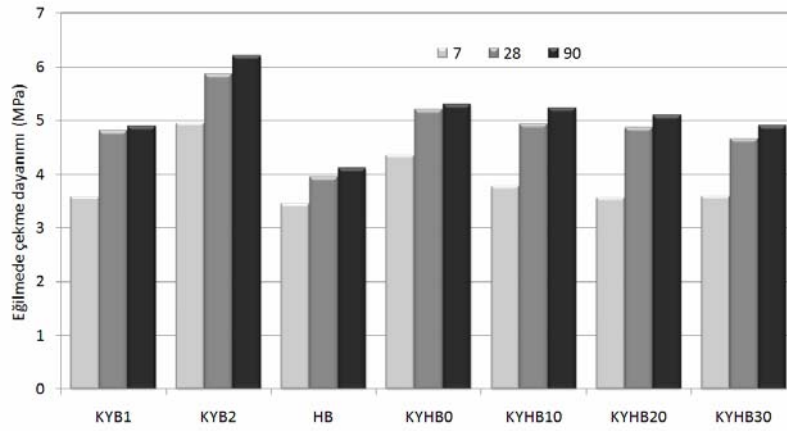
serisinin yaklaşık olarak %80'i kadardır. Etüv kuru birim ağırlığı yönünden kıyaslandığında ise KYHB0 serisinin etüv kuru birim ağırlığı KYB2 serisinin etüv kuru birim ağırlığının %75'i kadardır. Yani %20'lik basınç dayanımı kaybına karşılık %25'lik bir hafifleme gerçekleşmiştir. Geleneksel olarak sıkıştırılmış HB ile KYHB0 kıyaslandığında ise KYHB0'da HB'ye göre %51'lik basınç dayanımındaki artışa karşılık etüv kuru ağırlığında sadece %6'lık bir artış meydana gelmiştir. Genleştirilmiş perlit agregası KYHB karışımı içinde bazaltik pomza ile yer değiştirdikçe az da olsa dayanımı düşürdüğü, bununla birlikte birim hacim ağırlığı azalttığı görülmüştür.

Kür ortamı basınç dayanımında Şekil 4'te de görüldüğü gibi etkili bir parametre olmuştur. Genel olarak hava kürlü numunelerin basınç dayanımı kaybı 28 gün için %14 ile %33 arasında değişmiştir. Kuru ortamda kalmaları durumunda bile buldukları ortamın %45±5 bağıl nemli olması dayanım kaybının az miktarda kalmasına neden olmuştur. Güneşli veya rüzgârlı bir ortamda olmaması da, hava kürlü ortamındaki numunelerin basınç dayanımı kaybını azaltmıştır.

Hava kürlü uygulanan beton numunelerin 28 günde mevcut nem durumlarına bakılmıştır.



Şekil 5. Su ve hava kürü numunelerde birim ağırlığa karşılık gelen basınç dayanımları (Compressive strength corresponds unit weight of specimens with water and air cured)



Şekil 6. HB, KYB ve farklı agregalı KYHB'lerin 7, 28 ve 90 günlük eğilmede çekme dayanımları (Flexural tensile strength of LC, SCLWC and SCC at 7, 28 and 90 days)

Bazaltik pomza agregalı numunelerde nem oranı %6–8 arasında iken dere agregalı KYB ise %3 civarlarında olduğunu tespit edilmiştir. Bu durum bazaltik pomza agregasının dere agregasına oranla fazla miktarda su tutabilmesi ile açıklanabilir. Diğer taraftan gözenekli yapısından dolayı fazla miktarda su tutabilen pomzanın bu kabiliyeti ile hava kürü durumunda hidrasyon için gerekli olan suyu sağlamıştır. Sonuç olarak basınç dayanım kaybı doğal agregalı olanlarda bazaltik pomza agregalılarına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Lura ve arkadaşlarının yaptığı [11] çalışmada pomza agregasının iç kürlenme yaptığını belirtilmektedir. Pomzanın iç kürlenmesi sayesinde dere agregasına kıyasla naylon kürü durumunda; daha az rötre, daha iyi hidrasyon derecesi ve daha fazla dayanım kazandıği çalışmalarında belirtilmiştir.

Hafif agregaların beton içersinde su rezervuarı olarak kullanılması fikri ilk olarak Philleo [12] tarafından önerilmiştir. Bu teknik ile ilgili gelişmeler birçok araştırmacı tarafından da tartışılmıştır [13-20]. Pomza agregalı KYHB'lerde basınç dayanımındaki kayıp 28 gün için %14–20 arasında iken, dere agregalılarına ise %29–33 arasında değişmektedir. Doğal agreganın

nem tutamaması hava kürü durumunda basınç dayanımını düşürmüştür.

Şekil 5'te birim ağırlığa düşen basınç dayanımları verilmiştir. Her ne kadar birim ağırlık azaldıkça basınç dayanımı azalsa da birim ağırlığa karşılık gelen basınç dayanımı açısından bakıldığında KYHB'lerin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bazaltik pomza agregası ile üretilen KYHB'lerde birim ağırlığa karşılık gelen basınç dayanımındaki artışı Türkel ve Kadiroğlu [21] ile Topçu [22] çalışmalarında belirtmişlerdir.

KYB'lerde agrega tipi eğilmede çekme dayanımında belirleyici bir etken olmuştur. En yüksek eğilmede çekme dayanımı dere agregalı karışımlardan KYB2 serisinden elde edilmiştir (Şekil 6). En düşük eğilmede çekme dayanımı ise bazaltik pomza ve genişletilmiş perlitin birlikte kullanıldığı KYHB30 serisinden elde edilmiştir. Kendiliğinden yerleşip yerleşememe durumu da eğilmede çekme dayanımında önemli bir değişken olmuştur. HB en düşük eğilmede çekme dayanımını göstermiştir. Genel eğilim birim ağırlık düştükçe ve porozite arttıkça eğilmede çekme dayanımının azaldığı yönündedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada bazaltik pomza agregası ile KYHB üretilebilmiştir. Çalışmada ayrıca bazaltik pomza agregası %30 oranına kadar genişletilmiş perlit agregası ile yer değiştirilerek daha hafif KYHB'lerin üretilebildiği görülmüştür.

Çalışmada üretilmiş olan tüm seriler kendiliğinden yerleşebilme özelliğini göstermiştir. EFNARC 2002'ye göre 5 dakika gecikmeli V hunisi deneyi sonuçlarına göre bazı serilerin ayrışma direnci açısından kendiliğinden yerleşebilme kriterini sağlamadıkları görülmüştür. Ancak aynı seriler EFNARC 2005'de önerilen elek ayrışma testi uygulandığında ayrışma direnci açısından tüm serilerin uygun olduğu görülmüştür.

Basınç dayanımları açısından, tüm numuneler ele alındığında, en düşük dayanımlar vibratör ile sıkıştırılmış ve kendiliğinden yerleşme özelliği olmayan HB'lerden elde edilmiştir. Genleştirilmiş perlit agregalı serilerin basınç dayanımları incelendiğinde KYHB10 serisi ile KYHB0 serisi birbirine yakın değerler sağladığı görülmüştür. En yüksek dayanım dere agregası ile üretilmiş KYB'lerde görülmüştür. KYHB'lerin dayanımları ise 50 ile 65 MPa arasında çıkmıştır. Birim ağırlık düştükçe basınç dayanımları genel olarak düşmüştür. KYHB'ler dayanım olarak KYB'lere göre düşük görünmelerine rağmen birim ağırlıklara oranlandığında birim ağırlığa karşılık daha yüksek dayanım değerleri vermişlerdir.

Numunelerin buldukları kür ortamı basınç dayanımlarını etkilemiştir. Tüm serilerde hava kürü durumunda basınç dayanımında standart su kürüne göre azalmalar olmuştur. Ancak basınç dayanımlarındaki azalma dere agregalı karışımlarda daha fazla olmuştur. Hava kürü, bazaltik pomza agregalılarda %12–20, dere agregalılarda ise %29–33 oranında dayanım kaybına neden olmuştur. Pomzanın yüksek nem tutabilme kabiliyeti kuru ortamda bekleme durumunda hidrasyonun devamını sağlamıştır. Özellikle sıcak havalarda beton dökümünde veya kütle beton imalinde pomza agregasının tamamen ya da kısmen kullanılması durumunda iç kürlenme yaparak beton dayanımına katkı sağlayacağı açık bir şekilde görülebilir.

Sonuç olarak Türkiye'de zengin yatakları bulunan pomza agregası ile KYHB üretilebilir. KYB'de hafif agregası kullanımı ile elde edilen KYHB'nin birim ağırlığı %25 azalırken buna mukabil mukavemette azalma %15 kadardır. Ancak bunun yanında, iç kürlenme yapması ve hafif betonların bilinen diğer özelliklerinden dolayı KYHB'yi tercih edilebilir bir beton türü yapmaktadır. KYHB kullanılması ile yetersiz sıkıştırmadan ve yetersiz kürden kaynaklanan dayanım ve dayanıklılık kayıpları en aza indirgenmiş olacaktır. Bu betonun hafiflik ve

kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği, deprem bölgelerindeki yapılar ve ayrıca prefabrikasyon için tercih sebebi olabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi (FÜBAB) tarafından 1376 no'lu proje ile desteklenmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Topçu, İ. B., **Beton Teknolojisi**, Uğur Ofset, Eskişehir, 2006.
2. Gündüz, L. ve diğ., "Genleşmiş Kilin Hafif agregası olarak kullanılabilirliği", **Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi**, 1(2) 43 – 49, 2006.
3. Yazıcıoğlu, S. ve Bozkurt, N., 2006, "Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 21 (4), 675-680, 2006.
4. Gönen, T., "**Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekaniksel ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması**" Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
5. Sancak, E., "**Hafif Agregalı Beton Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Çelik Lif Kullanımının Etkisi**", Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü., Fen Bil. Ens., Isparta. 1999.
6. TS EN 206-1, Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2002.
7. Aruntaş, H.Y., "Diatomit, Özellikleri, Kullanım Alanları ve İnşaat Sektöründeki Yeri", **Çimento ve Beton Dünyası**, 1 (4) 27-32, 1996.
8. EFNARC 2005, **Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete**, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
9. EFNARC 2002, "**Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete**", The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
10. TS EN 12390-2, "Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2002.
11. Lura, P., Bentz, D.P., Lange, D.A., Kovler, K. and Bentur, A., "Pumice Aggregates for Internal Water Curing", **International RILEM Conference on the Advances in Concrete Through Science and Engineering**, Evanston, IL, pp. 137–151, 2004.
12. Philleo, R., **Concrete Science and Reality, Materials Science of Concrete II**, American Ceramic Society, Westerville, 1–8, 1991.
13. Bentz, D.P. and Snyder, K.A., "Protected Paste Volume in Concrete Extension to Internal Curing Using Saturated Lightweight Fine

- Aggregate”, **Cement and Concrete Research**, Vol. 29, pp. 1863–1867, 1999.
14. Kohno, K., Okamoto, T., Isikawa, Y., Sibata, T. and Mori, H., “Effects of artificial lightweight aggregate on autogenous shrinkage of concrete”, **Cement and Concrete Research**, Vol. 29, pp. 611–614, 1999.
 15. Takada, K. Van Bruegel, K. Koenders, E.A.B. and Kaptijn, N., “Experimental evaluation of autogenous shrinkage of lightweight aggregate concrete” **International Workshop Autoshrink’98**. In: Tazawa, E-I. Ed., Hiroshima, Japan, pp. 229–239, 1999.
 16. Bentur, A., Igarashib, S-I. and Kovler, K., “Prevention of autogenous shrinkage in high-strength concrete by internal curing using wet lightweight aggregates”, **Cement and Concrete Research**, Vol. 31, pp. 1587–1591, 2001.
 17. Lura, P., Bentz, D.P., Lange, D.A., Kovler, K. and Bentur, A., “ Pumice aggregates for internal water curing”. **International RILEM Conference on the Advances in Concrete Through Science and Engineering**, Evanston, IL, pp. 137–151, 2004.
 18. Akçay, B. ve Taşdemir, M.A., “Effects of Lightweight Aggregates on Autogenous Deformation in Concrete”, **16th European Conference of Fracture (ECF16), Measuring, Monitoring, and Modeling Concrete Properties: MMMCP in Honor of Surendra**, Greece, pp.163–170, 2006.
 19. Akçay, B. ve Taşdemir, M.A., “Influence of Lightweight Aggregates on Internal Curing and Fracture of Concrete”, **International RILEM Conference, Volume Changes of Hardening Concrete: Testing and Mitigation**, Denmark, PRO 52, pp. 31–40, 2006.
 20. Türkmen, İ. And Kantarcı, A., “Effects of expanded perlite aggregate and different curing conditions on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete” **Building and Environment**, Volume 42, Issue 6, June 2007, Pages 2378-2383, 2007.
 21. Türkel, S. ve Kadiroğlu, B., “Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 13 (3), 353-359, 2007.
 22. Topcu, İ.B., “Semi-Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slags”, **Cement And Concrete Research**, No. 27, 15-21, 1997.

