



ISSN:1306-3111  
e-Journal of New World Sciences Academy  
2009, Volume: 4, Number: 1, Article Number: 2A0005

**TECHNOLOGICAL APPLIED SCIENCES**

Received: June 2008  
Accepted: January 2009  
Series : 2A  
ISSN : 1308-7223  
© 2009 www.newwsa.com

**Serkan Subaşı**  
**Tuncay Kap**  
University of Düzce  
serkansubasi@duzce.edu.tr  
Ankara-Turkiye

**GENLEŞTİRİLMİŞ KİL AGREGALI HAFİF BETONUN YAPI DAVRANIŞI VE KABA YAPI MALİYETİNE ETKİSİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada, genleştiril kil agregası kullanılarak elde edilen hafif betonun yapı davranışı ve kaba yapı maliyetine etkisi araştırılmıştır. Analiz sonucunda betonarme eleman kesitleri, yapı zati ağırlığı, yapı deprem davranışı ile donatı, beton ve kalıp miktarları ile kaba yapı maliyetleri normal beton ve GKB için ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, yapıda normal beton yerine GKB kullanılması durumunda; yapının zati ağırlığının %42 oranında azaldığı, böylece zemine gelen yükün yaklaşık 1,9 ton/m<sup>2</sup>, yapı eleman kesitlerinin %15, yapı temel kalınlığının %33, yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin %15 oranında azaldığı, kaba yapı maliyetlerinin de normal betona göre %0,3 oranında azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Genleştirilmiş Kil Agregalı Beton,  
Yapı Davranışı, Kaba Yapı, Maliyet, Beton

**THE EFFECTS OF EXPANDED CLAY AGGREGATE CONCRETE ON STRUCTURAL BEHAVIOUR AND BASIC STRUCTURE COST**

**ABSTRACT**

In this study, the effect of lightweight concrete obtained with expanded clay aggregate on structural behavior and basic structure costs of the structure have been investigated. In the present study, a building having four-storey was designed, and then mechanical properties of expanded clay aggregate concrete (ECAC) and traditional concrete were respectively used for analyzing reinforced concrete design. Cross section of reinforced concrete member, dead weight of structure, structure earthquake response and reinforcing bar and the amount of the total concrete and formwork were investigated after the results of the research analysis. Basic structure costs of the designed structure used both ECAC and traditional concrete were calculated. As a result; it is seen that, compared with the traditional concrete, the dead weight of the structure made with ECAC was reduced by %42, so that the total structure loads were decreased approximately 1,9 ton per square meter and also cross section of reinforced concrete members, foundation thickness and the earthquake loads on the structure were decreased. Consequently, basic structure costs of structure made with ECAC was reduced compared with the structure made with traditional concrete.

**Keywords:** Expanded Clay Aggregate Concrete, Structural Behavior, Basic Structure, costs, Concrete



## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Üstün teknolojik özellikleri sayesinde birçok endüstriyel hammaddeye nazaran önemli avantajlar sergileyen hafif agregalar, son yıllarda artan bir eğilimle farklı endüstri dallarında geniş bir kullanım sahası bulmaktadır. Endüstriyel olarak elde edilen hafif agregaların başında genleşmiş kil agregalar gelmektedir. Genleştirilmiş killer, basınç mukavemeti en yüksek olan hafif yapı malzemelerinden birisidir ve Avrupa ve diğer ülkelerde hafif agrega olarak en yaygın kullanılan malzemedir [1].

Farklı karakteristik özellikleri sayesinde birçok endüstri dalında farklı amaçlar için kullanılan hafif agregalar, son yıllarda artan bir eğilimle inşaat sektöründe hafif yapı elemanı olarak değerlendirilmektedir. Hafif yapı elemanları üretiminde kullanılan hafif agregaların dağılım aralığı oldukça geniştir. Agregalar; doğal agregalar, endüstriyel olarak üretilen suni agregalar ve endüstriyel ürünlerin atıklarından elde edilen suni agregalar olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır [3 ve 4].

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 kullanılabilir. Son yıllarda düşük özgül ağırlığa sahip hafif agregalardan yapılan hafif betonların yapı sektöründe kullanımı hızla artmaktadır. Isı ve ses yalıtımı gibi üstün özelliklere de sahip olan hafif betonlar sağladıkları enerji tasarrufu ve konfor nedeniyle normal betonlara nazaran önemli avantajlara sahiptir [6 ve 7]. Bu bakımdan, hafif beton elde edilmesinde veya diğer hafif yapı elemanlarının geliştirilmesinde hammadde olarak kullanılan malzemelerin teknik özelliklerinin detaylı olarak bilinmesi gerekmektedir [5 ve 8].

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremlerde, yapılarda oluşan hasarların ve yıkımların asıl nedenlerinden birinin de düşük basınç dayanımlı beton kullanımı olduğu görülmüştür. Beton üretim teknolojisinin gelişmesiyle birlikte depreme dayanıklı yapı tasarımı modellemek daha da kolaylaşmıştır. Ülkemizde çoğunlukla betonarme yapılar tercih edilmektedir. Bu durum beton üzerine yapılan ve yapılacak araştırmaların ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Genleştirilmiş kil agregası ile yapının taşıyıcı sisteminde kullanılacak dayanıma sahip yüksek dayanımlı hafif beton üretilmektedir [1 ve 2].

Yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımın ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır (2). Depreme dayanıklı betonarme yapı tasarımındaki amaç depreme dayanıklı taşıyıcı sistem tasarımının yapılması ve depreme dayanıklı malzeme seçilmesi olarak iki grupta toplanabilir [4 ve 5].

Depremlerde yapıya gelen yükler yapının ağırlığı ile doğru orantılıdır. Yapı ne kadar hafif olursa, depremde daha az bir yüklerle zorlanacaktır. Betonarme bir yapının hafif olabilmesi için, dolgu ve bölme duvarlarının ve döşemelerinin olabildiğince hafif malzemelerden yapılması gerekir [8 ve 9].

Yapılardaki ana yüklerin statik değerlere bağlı kalınarak hafifletilmesi deprem sırasında meydana gelecek hasar riskini azaltır. Bilindiği gibi ölü yükleri fazla olan bir yapı, deprem sırasında daha fazla salınım yapmaktadır. Yapılan deneyler, düşük şiddetli depremlerde, yapıların taşıyıcı sisteminde önemli bir hasar oluşmasa

bile hafif malzemeden yapılan duvarların zarar görebileceğini ortaya çıkarmıştır. Şiddeti yüksek olan depremlerde ise, bunların basınç dayanımları az olduğundan kolonlar çökerken ve duvarlara yük aktarılmaya başlarken sorun çıkmaktadır. Bu dezavantajlarına rağmen, binalarda hafif agregalardan yapılmış yapı malzemeleri kullanıldığında yapının toplam kütlesi azalmakta, dolayısıyla da binanın iskeletini oluşturan temele daha az yük binmektedir. Bir başka deyişle, hafif malzemelerle yapılan binalarda deprem sırasında oluşan eylemsizlik kuvvetleri de azalacağından sarsıntılıların bina üzerindeki yıkıcı etkileri zayıflar [4].

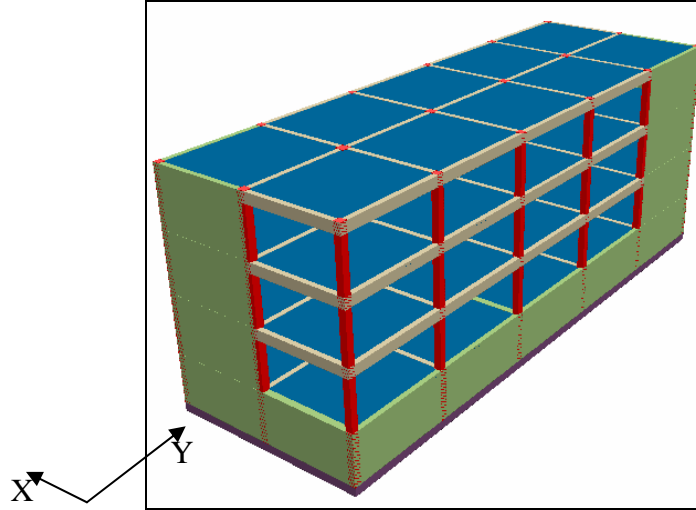
## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

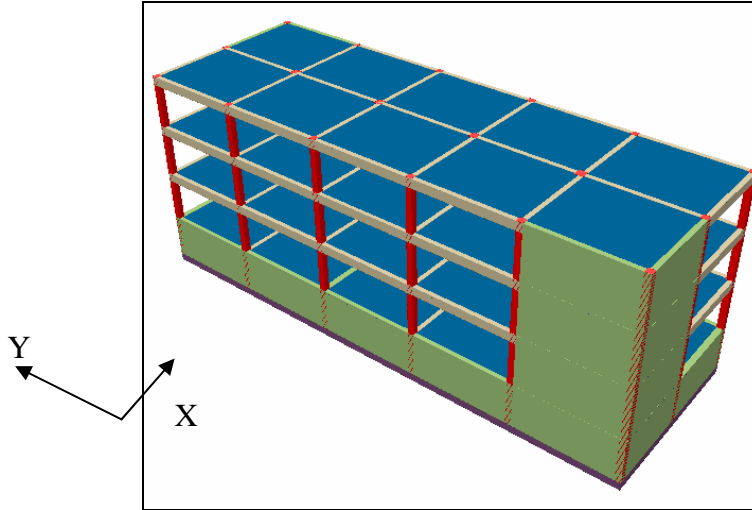
Bu çalışmada, geliştiril kil agregası ile elde edilen hafif betonun yapı davranışı ve kaba yapı maliyetine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, çalışmada 4 katlı betonarme bir bina tasarlanmış ve tasarlanan binanın betonarme hesapları hem normal beton hem de geliştirilmiş kil agregası ile üretilen betonun (GKB) karakteristik değerlerine göre yapılmıştır. Analizler sonucunda betonarme eleman kesitleri, yapı zati ağırlığı, yapı deprem davranışı, donatı miktarı, beton ve kalıp miktarları ile kaba yapı maliyetleri normal beton ve GKB için ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

## 3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 3.1. Materyal (Material)

Genleştiril kil agregası ile elde edilen hafif betonun yapı davranışı ve kaba yapı maliyetine etkisinin araştırılması amacıyla birinci derece deprem bölgesinde bodrum kat, zemin kat ve 2 normal kattan oluşan 4 katlı bir yapı tasarlanmış ve yapı 2007 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak projelendirilmiştir (Şekil 1) (10).





Şekil 1. Analizi gerçekleştirilen yapının perspektif görünüşleri  
(Figure 1. Figures of the structure used for analysis)

## 2.2. Metot (Method)

Yapının analizleri STA4CAD V12 paket programı kullanılarak yapılmış olup analizde kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yapının analizinde kullanılan parametreler  
(Table 1. Parameters used for structural analysis)

Sıra No	Hesaplama Kullanan Parametreler
1.	Çelik S-420
2.	$F_{cd}=133 \text{ kgf/cm}^2$ ( $200 / 1.5 = 133$ )
3.	$f_{yd} = 3650 \text{ kgf/cm}^2$ ( $4200/1.15 = 3650$ )
4.	Deprem Bölgesi = I.bölge
5.	Zemin Emniyet Gerilmesi = $1,3 \text{ kgf/cm}^2$
6.	Max. Kiriş açıklığı = 7 metre
7.	Hareketli yük = $350 \text{ kg/m}^2$
8.	Çatı döşemesi hareketli yükü = $150 \text{ kg/m}^2$
9.	Yapı davranış katsayısı $R=6$
10.	Bina önem katsayısı $I=1,2$
11.	Spektrum karakteristikleri: $Z_4 = (TA)/TB = 0.2/0.90$
12.	Hareketli Yük Katılım Katsayısı $n=0,30$

Analizler, tasarlanan yapı üzerinde C20 normal betonu ve C35 Genleştirilmiş Kil Agregası ile yapılan beton (GKB) için ayrı ayrı yapılmıştır. Analizler sonucunda yapı eleman kesitleri, zati ağırlıkları, beton miktarı, donatı miktarı, kalıp yüzey alanı değerleri hesaplanmıştır. Analizlerde kullanılan beton özellikleri Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Analizlerde kullanılan beton özellikleri  
(Table 2. Concrete properties used for analysis)

Beton Sınıfı	Türü	Birim ağırlığı ( $\text{t/m}^3$ )	Elastisite modülü (GPa)
C20	Normal ağırlıklı beton	2,5	28,5
C35	Genleştirilmiş kil agregası ile yapılan beton	1,7	28,7

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

##### 4.1. Yapı Zati Ağırlığı (Dead Weight of Structure)

Gerçekleştirilen yapı analizi sonucunda C20 normal betonu kullanılması durumunda Bina Zati Ağırlığı  $W = 772,8m^3 \cdot 2,5t/m^3 = 1932$  ton, C35 GKB betonu kullanılması durumunda ise Bina Zati Ağırlığı  $W = 655m^3 \cdot 1,7t/m^3 = 1113,5$  ton bulunmuştur. Buna göre GKB betonu kullanılan yapıda 818,5 ton'luk %42 oranında zati yükte azalma meydana geldiği görülmüştür. Yapının temele oturma alanı  $420 m^2$ 'dir. Yapının zati ağırlığındaki azalmadan dolayı zemine aktarılan yükte  $818,5ton/420m^2 = 1,948$  ton/ $m^2$ 'lik bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca bina zati ağırlığında meydana gelen %42 oranındaki azalma yapı taşıyıcı sistemindeki elemanların kesitlerinin azalmasına neden olmuştur. Kesitlerdeki azalma yaklaşık olarak kolonlarda %15, temelde ise %33 oranında olduğu görülmüştür.

##### 4.2. Eşdeğer Deprem Yüğü (Equivalent Earthquake Load)

Analiz sonucunda her iki beton türü için göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda binanın her iki yönünde oluşan deprem kuvvetleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Binada oluşan deprem kuvvetleri (tonf)  
(Table 3. Earthquake forces occurred on the structure (tonf) )

Kat No	C20 Normal Betonu		C35 GKB Betonu	
	X-Yönü	Y-Yönü	X-Yönü	Y-Yönü
2. kat	177,308	176,108	143,321	142,929
1. kat	108,007	99,220	93,124	84,780
Zemin kat	72,055	68,044	62,406	58,747
Bodrum kat	43,696	37,208	40,394	34,862
Toplam	401,066	380,580	339,245	321,317

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde C35 GKB ile yapılan binada Normal betona göre ortalama %15 oranında daha az deprem kuvveti meydana geldiği görülmüştür.

##### 4.3. Kaba Yapı Maliyeti (Basic Structure Cost)

Yapı analizleri sonucunda her iki beton türü için gerekli olan beton miktarı ( $m^3$ ), kalıp miktarı ( $m^2$ ) ve donatı miktarı (ton) hesaplanmıştır. Hesaplamalar neticesinde ortaya çıkan sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Analiz sonucunda hesaplanan malzeme metrajları  
(Table 4. Calculated material quantities after the analysis)

Kat no	C20 Normal Betonu			C35 GKB Betonu		
	Beton ( $m^3$ )	Kalıp ( $m^2$ )	Donatı (kg)	Beton ( $m^3$ )	Kalıp ( $m^2$ )	Donatı (kg)
Temel	210	47	26500	168	37	25200
Bodrum kat	197,54	1188,06	14157,6	197,02	1186,42	11675,8
Zemin Kat	124,24	800,10	11510,9	121,89	789,88	8212,2
1. kat	124,10	800,16	11343,3	120,77	785,27	7882
2. kat	113,79	806,10	9889,3	110,45	791,35	7670,3
Toplam	769,67	3641,42	73401,1	718,13	3589,92	60640,3

Elde edilen sonuçlara göre, C35 GKB betonu kullanılması durumunda normal betona göre beton miktarında %7, kalıp miktarında %2 ve donatı miktarında %18 oranında bir azalma meydana geldiği görülmektedir.



Analizi gerçekleştirilen yapıya ait malzeme metrajları Bayındırlık Bakanlığı 2007 Birim fiyatlarına göre hesaplanmıştır. Normal betonla yapılacak olan yapıya ait kaba yapı maliyeti Tablo 5 te, GKB betonu ile yapılacak olan yapıya ait kaba yapı maliyeti ise Tablo 6 da verilmiştir.

Tablo 5 Normal betonla yapılan yapıya ait kaba yapı maliyeti  
(Table 5. Basic structure cost of the structure made with traditional concrete)

Poz no	Birim Fiyat Tarifi	Birim Fiyat (YTL)	Miktar	Birim	Tutarı (YTL)
16.058/1	C20 Hazır Beton	100,66	772,79	m <sup>3</sup>	77.789,04
21.011	Düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı	13,6	3687	m <sup>2</sup>	50.143,20
23.014	8-12 mm beton çelik çubukların bükülmesi ve yerine takılması	1451,56	67,984	ton	98.682,86
Nakliye %10					22.661,51
KDV %18					44.869,79
Genel Toplam					294.146,40

Tablo 6 GKB betonu ile yapılan yapıya ait kaba yapı maliyeti  
(Table 6. Basic structure cost of the structure made with ECAC)

Poz no	Birim Fiyat Tarifi	Birim Fiyat (YTL)	Miktar	Birim	Tutarı (YTL)
-	C35 GKB Hazır Beton	140	655,82	m <sup>3</sup>	91.814,80
21.011	Düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı	13,6	3646,5	m <sup>2</sup>	49,592,40
23.014	Beton çelik çubukların bükülmesi ve yerine takılması	1451,56	58,323	ton	84.659,33
Nakliye %10					22.606,65
KDV %18					44.761,17
Genel Toplam					293.434,36

Tasarlanan yapıya ait kaba yapı maliyetleri incelendiğinde GKB betonu ile yapılan yapı maliyetinin normal betonla yapılan yapı maliyetinden %0,3 oranında daha düşük olduğu görülmüştür.

##### 5. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Gerçekleştirilen yapı analizi sonucunda C35 GKB betonu kullanılması durumunda Bina zati ağırlığında % 42 oranında azalma meydana geldiği görülmüştür. Buna bağlı olarak zemine aktarılan yapı yükü m<sup>2</sup> de yaklaşık 1,948 ton azalmıştır. Ayrıca bina zati ağırlığında meydana gelen % 42 oranındaki azalma yapı taşıyıcı sistemindeki elemanların kesitlerinin azalmasına neden olmuştur. Kesitlerdeki azalma yaklaşık olarak kolonlarda % 15, temelde ise %33 oranında olduğu görülmüştür.

Diğer taraftan GKB betonu ile yapılan binada normal betona göre ortalama %15 oranında daha az deprem kuvveti meydana geldiği görülmüştür.



Yapı imalatında kullanılacak malzeme miktarlarında ise; C35 GKB betonu kullanılması durumunda normal betona göre beton miktarında %7, kalıp miktarında %2 ve donatı miktarında %18 oranında bir azalma meydana geldiği görülmektedir.

Tasarlanan yapıya ait kaba yapı maliyetleri incelendiğinde GKB betonu ile yapılan yapı maliyetinin normal betonla yapılan yapı maliyetinden %0,3 oranında düşük olduğu görülmüştür. Diğer taraftan GKB betonu kullanılarak yapılması durumunda eleman kesitlerindeki azalmadan dolayı meydana gelecek mimari kazanımlar ve normal betona göre çok daha yüksek olan ısı yalıtım özelliği ve buna bağlı olarak azalacak yalıtım maliyetleri düşünüldüğünde GKB betonu çok daha avantajlı olmaktadır.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- Gündüz, L., Şapçı, N. ve Bekar, M., (2006). Genleşmiş Kilin Hafif Agrega Olarak Kullanılabilirliği, Kibited, 1 (2), 43s.
- Gündüz, L., Yılmaz, İ. ve Hüseyin, A., (2001). Hafif Agrega Olarak genleşmiş Kil ve Pomza Taşının Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, 19-22 Eylül, 446-456, Konya.
- DPT, (2005). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Yapı malzemeleri-Genleşen Kiler,s:69-73,  
<http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik628.pdf>
- Bayülke, N., (1998), "Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No=27,245 s.
- Haque, M.N., Al-Khaiat, H., and Kayali, O., (2004). Strength and Durability of Lightweight Concrete, Cement and Concrete Composites, No. 26, 307-314.
- Eriç, M., (1994). Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul, Antalya, s 257.
- Özer, M., (1982). Yapılarda Isı-Su Yalıtımları 2, İstanbul, Özer Yayınları:4, s: 230.
- Topcu, İ.B., (1997). Semi-Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slags, Cement And Concrete Research, No. 27, 15-21.
- Yasar, E., Atis, C.D., Kilic, A., Gulsen, H., (2003). Strength Properties of Lightweight Concrete Made with Basaltic Pumice and Fly Ash, Materials Letters, No. 57, 2267-2270.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007, Bölüm 1.2.1.