

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAFİF BETONLARIN DAYANIM DAYANIKLILIK VE
EKONOMİK YÖNDEN ANALİZİ

Hüseyin Suha AKSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ELAZIĞ

1995

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAFİF BETONLARIN DAYANIM DAYANIKLILIK VE
EKONOMİK YÖNDEN ANALİZİ

Hüseyin Suha AKSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

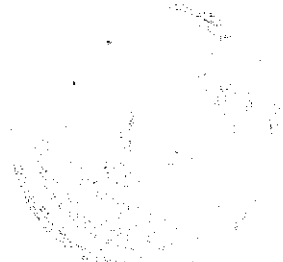
Bu tez, Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği / Oyçokluğu İle Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

(İmza)

(İmza)

Danışman
Yrd. Doc. Dr.
M. Şükrü YILDIRIM



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**HAFİF BETONLARIN DAYANIM DAYANIKLILIK VE
EKONOMİK YÖNDEN ANALİZİ**

Hüseyin Suha Aksoy

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

1995, Sayfa:55

Bu Çalışmada çeşitli hafif beton tipleri incelendi. Hafif betonlarla normal betonların özellikleri karşılaştırıldı. Hafif betonların mevcut literatürdeki sınıflandırılması hakkında bilgi verildi. Hafif beton agregası olarak Elazığ yöresinde oldukça fazla miktarda bulunan volkanik curuf agregasının mekanik özellikleri, fiziksel özellikleri ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Bu hafif agrega kullanılarak çeşitli yoğunluklarda hafif betonlar üretilmiştir. Üretilen hafif betonların mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Ayrıca ülkemizde yaygın olarak kullanılan veya kullanılmasında fayda görülen bims beton, gazbeton, perlit betonu, ferrokrom curuf betonu ve incelediğimiz volkanik curuf hafif betonları arasında ekonomik bir karşılaştırma yapılmıştır. Ekonomik olarak incelenen hafif betonların birim hacim ağırlıkları ve ısı iletkenlik hesap değerleri karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : hafif agrega, hafif beton, dayanım, dayanıklılık, ekonomik analiz

SUMMARY

Master Thesis

STRENGTH DURABILITY AND ECONOMICAL ANALYSIS OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

Hüseyin Suha Aksoy

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

1995, Page:55

In this study, various types of lightweight concrete were investigated. The properties of normal and lightweight concrete were compared. General information about the classifications of lightweight concrete were given from the existing literature. The mechanical, physical and chemical properties volcanic slag aggregates which are widely available in Elazığ region were investigated. Lightweight concrete in various densities were produced by using this lightweight aggregates. Additionally, the investigated lightweight concrete with volcanic slag and the others like; pumice concrete, gas-concrete, perlite concrete and ferrochrome slag which all have been widely used or suggested to be used were compared by considering economical reasons. The density and thermal conductivity values of lightweight concretes which were investigated by considering economy were compared within it.

KEYWORDS: lightweight aggregate, lightweight concrete, strength, durability,
economical analysis

TEŞEKKÜR

Bu tezin önerilmesi, yönlendirilmesi ve tamamlanmasında bana vakit ayırıp gerekli yardım ve ilgisini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Şükrü Yıldırım 'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmam esnasında, yaptığım deneylerde bana destek olan laboratuvar teknistenisi Sayın Seyfettin Çiçek 'e ve İnşaat Bölümünün tüm öğretim elemanlarına ve çalışanlarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iii
SUMMARY.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	viii
FOTOĞRAFLARIN LİSTESİ.....	ix
TABLoların LİSTESİ.....	x
SİMGELERİN LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Normal Betonlarla Hafif Betonların Karşılaştırılması.....	3
1.1.1. Hafif betonların normal betonlara göre üstünlükleri.....	3
1.1.2. Hafif betonların normal betonlara göre sakıncaları.....	4
1.2. Hafif Betonların Sınıflandırılması.....	4
2. HAFİF BETON ÜRETİMİNDE KULLANILAN AGREGALAR 7	7
2.1. Doğal Hafif Agregalar.....	7
2.1.1. Ülkemizin doğal hafif agrega bakımından durumu.....	8
2.2. Suni Hafif Agregalar.....	9
2.2.1. Ülkemizin suni hafif agrega bakımından durumu.....	14
2.3. Hafif Agregaların Beton Dayanımına Etkisi.....	14
3. DİĞER HAFİF BETON ÇEŞİTLERİ.....	16
3.1. Araştırmanın Konusu.....	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	22
4.1. Kullanılan Malzemeler.....	22
4.1.1. Palu kumu.....	22
4.1.2. Volkanik curuf.....	22
4.1.2.1. Özgül ağırlık.....	23
4.1.2.2. Birim hacim ağırlığı.....	23
4.1.2.3. Su emme değerleri.....	23

4.1.2.4. Volkanik curufun kimyasal özellikleri	24
4.1.2.5. Don dayanımı	24
4.1.2.6. Basınç dayanımı	25
4.1.2.7. Aşınma dayanımı.....	25
4.1.2.8. Yanıcı madde miktarı	26
4.1.2.9. Mikroskobik özellikler.....	26
4.1.3. Çimento özellikleri.....	27
4.2. Beton Bileşim Hesapları	28
4.2.1. Kabul edilen esaslar.....	28
4.2.2. Bileşim hesapları.....	29
4.2.3. Betonun üretimi karıştırma yerleştirme ve saklanması	31
4.2.4. Numune boyutları ve sayıları.....	31
4.2.5. Üretilen betonlar.....	32
4.3. Hafif Betonlar Üzerinde Yapılan Dayanım Deneyleri.....	34
4.4. Hafif Betonlar Üzerinde Yapılan Dayanıklılık Deneyleri.....	35
5. EKONOMİK ANALİZ	37
5.1. Yalıtım Betonlarının Ekonomik Analizi.....	38
5.1.1. Bimsbeton	38
5.1.2. Ferrokrom curufu ile üretilen yalıtım betonu	39
5.1.3. Perlit betonu	39
5.1.4. Gazbeton	40
5.2. Taşıyıcı Hafif Betonların Ekonomik Analizi.....	42
5.2.1. Taşıyıcı bimsbeton	42
5.2.2. Taşıyıcı ferrokrom curuf betonu	42
5.2.3. Taşıyıcı perlit betonu.....	43
5.2.4. Taşıyıcı volkanik curuf betonu.....	44
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR.....	52

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Hafif Beton Çeşitleri.....	3
Şekil 2.1 Nodülleşmenin diyagramik görünüşü.....	13
Şekil 2.2 Hafif agregalarla üretilen betonların birim ağırlık ve dayanım durumları.....	14
Şekil 2.3 Betonda yük taşıma mekanizması	15
Şekil 3.1 Gazbetonun basınç dayanımı - Kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi	18
Şekil 3.2 Gazbetonun basınç dayanımı - Malzeme nemi ilişkisi.....	19
Şekil 3.3 Gazbetonun kuru birim hacim ağırlığı - Isı iletkenliği ilişkisi .	20
Şekil 4.1 Aşınma deneyi aleti	26
Şekil 4.2 Kullanılan beton agregasının granülometrik bileşimi.....	30
Şekil 4.3 Volkanik curuf ile üretilen betonların 28 günlük dayanım - Kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi	33
Şekil 4.4 Volkanik curuf ile üretilen betonların etkin su / çimento oranı - 28 günlük dayanım ilişkisi.....	33
Şekil 4.5 Volkanik curuf ile üretilen betonların etkin su / çimento oranı - Kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi.....	34
Şekil 5.1 İncelenen yalıtım betonlarının fiyatları	40
Şekil 5.2 İncelenen yalıtım betonlarının ısı iletkenliği hesap değerinin birim hacim ağırlıkları ile bağıntısı.....	41
Şekil 5.3 İncelenen yalıtım betonlarının fiyat - Isı iletkenlik hesap değeri karşılaştırması.....	41
Şekil 5.4 İncelenen taşıyıcı hafif betonların fiyatları.....	45
Şekil 5.5 İncelenen taşıyıcı hafif betonların ısı iletkenliği hesap değerinin birim hacim ağırlıkları ile bağıntısı	45
Şekil 5.6 İncelenen taşıyıcı hafif betonların fiyat - Isı iletkenlik hesap değeri karşılaştırması.....	46

FOTOĞRAFLARIN LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.6 Deney düzeninin genel görünüşü.....	35

TABLULARIN LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1 Palu kumunun kullanılan bölümlerinin birim hacim ağırlıkları.....	22
Tablo 4.2 Volkanik curuf dane bölümlerinin birim hacim ağırlıkları.....	23
Tablo 4.3 Volkanik curuf hafif agregalarının 30 dakika süresindeki su emme yüzdeleri.....	24
Tablo 4.4 Böhme aşınma dayanımı deneyi sonuçları	25
Tablo 4.5 Çimentonun mekanik özellikleri	27
Tablo 4.6 Üretilen betonların gerçek bileşimleri taze beton özellikleri ve 28 günlük deney sonuçları	32

SİMGELERİN LİSTESİ

- C : 1.0 m³ yerleşmiş betondaki çimentonun ağırlığı
δ_{ai} : (i) agregasının birim hacim ağırlığı
δ_c : Çimentonun özgül ağırlığı
δ_k : Betonun birim hacim ağırlığı
E : 1.0 m³ yerleşmiş betondaki suyun hacmi
G_i : (i) agregasının ağırlığı
h : 1.0 m³ yerleşmiş betondaki hava hacmi
λ_h : Isı iletkenlik hesap değeri
P_i : (i) agregasının karışım yüzdesi
V_a : Toplam agrega hacmi
w : Etkin su /çimento oranı

KISALTMALAR

- EBF : Eş deger beton fiyatı
HB : Hafif beton

1. GİRİŞ

Bulunuşundan günümüze gelinceye kadar uygulama alanı çok yaygınlaşan beton, yüksek dayanımın istendiği yerlerde özellikle yük taşıyan yapı elemanlarında kullanılmaktadır. Geleneksel betonarme inşaatlarda kullanılan klasik betonun, birim hacim ağırlığının yüksek oluşu çoğu zaman bu malzemenin sakıncalı bir özelliği olmaktadır. Bu yapılar ya da yapı elemanlarının birim hacim ağırlıkları fazla olduğundan yüksek yapılarda önemli sorunlar oluşturmakta, hatta normale göre büyük açıklıkların bulunması halinde bu elemanlar kendi öz ağırlıklarını bile taşıyamaz hale gelebilmektedirler. Ağırlıklarının fazlalığı sebebiyle bu yapıların depremden de olumsuz yönde etkilendikleri bilinen bir gerçektir.

Normal beton iyi bir taşıyıcı olmasına karşın, birim ağırlığı büyük, bu nedenle de ısı iletkenlik değeri yüksektir. Normal betonun bu sakıncalı yönlerini ortadan kaldırmak ve bazı olumlu özellikler kazandırma amacıyla bugün sanayi ülkelerinin bir çoğunda hafif betonlar kullanılmaktadır. Normal betonun bu sakıncaları belli bir dayanımı sağlamak kaydıyla birim ağırlığın düşürülmesini zorunlu hale getirmektedir. Betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle betonarme elemanların kendi ağırlıkları azaltılıp, yapı hafifletilebilir. Böylece elemanların kesitleri küçültülebilir. Bu hem estetik hem de ekonomik açıdan yararlıdır. Ayrıca betonda birim ağırlığın azaltılmasıyla ısı iletkenlik katsayısı küçülür, ses absorbluğu artar. Isı yalıtımı bakımından normal betondan üstün olan hafif betonlar günümüzdeki enerji sorunu nedeniyle de konut yapımında kullanılması önem kazanmıştır.

Taşıyıcı hafif betonların betonarme yapılarda kullanılmasıyla yapılardaki daimi yükün azalmasının sağlamış olduğu faydaların önemi son senelerde çok açık bir şekilde anlaşılmıştır. Bundan dolayı betonarme yapı tekniğinde hafif taşıyıcı beton kullanma eğilimi gittikçe artmaktadır. Önce bu tür betonlar ile binaların betonarme sistemlerinin uygulanmasına başlanmıştır. Bunu taşıyıcı hafif betonla betonarme köprülerin, açıklığı 140 m 'ye varan köprülerin yapılması izlemiştir. Bu konuda son bir aşama da hafif betonların öngerilmeli yapılarda kullanılabilme olanağının ortaya koyulmasıdır. (Postacıoğlu ve Bora, 1984)

Günümüzde hafif betonların üretimi çeşitli malzeme ve yapım yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla doğal veya yapay agregalar kullanılmaktadır. Hafif beton adı altında oldukça çeşitli cins malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemeler ülkemizde arzu edilen ölçüde kullanılmamakla birlikte yine de uygulama alanı bulmaktadır. Bu çalışmada bu malzemelerin birbirlerine göre dayanım dayanıklılık ve ekonomik yönden karşılaştırılmasının yapılması amaçlanmıştır.

Halen yapılarda, kullanılacak hafif beton seçilirken genelde sadece herhangi bir salt amaç ön planda tutulmakta, bu konuda başka alternatif malzeme çeşidi olup olmadığı ekonomik analiz ve diğer özelliklerin karşılaştırılmasını içeren bir araştırma yapılmamaktadır. Bu çalışmada halen kullanılmakta olan veya kullanılabilir olanağı bulunabilecek hafif betonların; dayanım, dayanıklılık ve ekonomik yönden analizleri yapılarak en uygun malzemenin seçimine ışık tutacak çözüm önerileri verilecektir. Ayrıca yörenizde oldukça fazla bulunan volkanik curuf kullanılarak üretilen hafif betonlarda incelenecektir.

Hafif betonların kullanılmalarının başlıca sebepleri arasında hafiflikleri, ateşe dayanıklılıkları, ses ve ısıya karşı yalıtkan olmaları sayılabilir. Üstelik bazı bölgelerde kaliteli normal agreganın olmayışı yada çok az oluşu; kil gibi çok yaygın bulunan malzemelerden yada şist ve uçucu kül gibi sanayinin kullanılmayan yan ürünlerinden de hafif agrega yapımını zorunlu kılmaktadır. Hafif betonların ilk uygulamalarında kullanım amaçları birim hacim ağırlıklarının ve ısı iletkenlik katsayılarının küçüklüğünden faydalanmaktı.

Ancak, dolgu ve/veya yalıtım elemanı olarak kullanılmasından başarılı sonuçlar elde edilince, bugün artık yalıtım görevine ilaveten taşıyıcı özelliği olan elemanlarda da kullanılmaya başlanmıştır Dolayısı ile mühendisler artık bu malzemenin mekanik karakteristiklerini de öğrenmek zorunda kalmıştır.

Betonun birim ağırlığının azaltılması başlıca üç yolla yapılır.(Neville, 1975)

- i) Normal agregaların yerine boşluklu olan doğal veya yapay hafif agregaların kullanılmasıyla üretilen *hafif agregalı betonlar*.
- ii) Beton içinde fiziksel veya kimyasal yolla büyük miktarda boşluk oluşturarak üretilen *gaz ve köpük betonlar*.
- iii) Betonun ince agregasını çıkarmak yoluyla üretilen *kumsuz betonlar*.

Görüldüğü gibi günümüzde çok kullanılmakta olan hafif betonları üretmek için beton içinde çeşitli yollarla boşluk oluşturmak genel kuraldır. (Neville, 1975) Bu hafif beton çeşitlerinin genel görünüşleri Şekil 1.1 de görülmektedir.

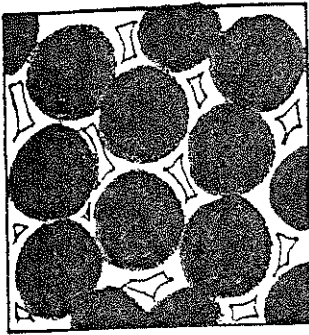
1.1. Normal Betonlarla Hafif Betonların Karşılaştırılması

1.1.1. Hafif betonların normal betonlara göre üstünlükleri

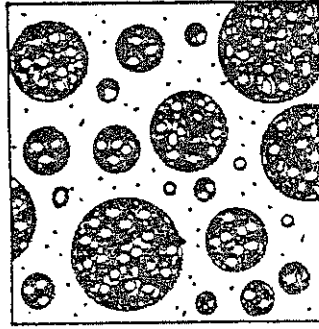
Hafif betonların normal betonlara göre üstünlükleri iki ana gruba ayrılabilir; (Taşdemir, 1982)

a) Daha küçük ölü yük nedeniyle elde edilen üstünlükler:

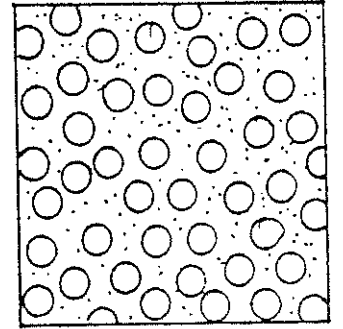
- i) Betonarme elemanların donatısının azalması.
- ii) Betonarme elemanların kesitlerinin küçülmesi.
- iii) Kalıp ve iskele maliyetlerinin azalması.
- iv) Temel maliyetinin azalması.
- v) Taşıma ve yerleştirme masraflarının azalması.
- vi) Hafif betonların kullanıldığı yapılar deprem etkisinden daha az etkilenirler.



a) Kumsuz Beton



b) Hafif Agregalı Beton



c) Gazbeton

Şekil 1.1 Hafif beton çeşitleri

b) Diğer üstünlükler

i) Isı iletkenlik katsayısının normal betonun yaklaşık yarısı kadar olması.

ii) Sıcaklık genişleme katsayısı yaklaşık olarak normal betondan %25 daha düşüktür.

iii) Yangına dayanıklılıkları normal betondan çok yüksektir.

iv) Dona dayanıklılıkları normal betondan daha iyidir.

1.1.2. Hafif betonların normal betonlara göre sakıncaları

Hafif betonların normal betonlara göre sakıncaları da şunlardır:

i) Hafif agregaların fiyatı normal agregalardan genellikle yüksektir.

ii) Hafif betonları karıştırma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri daha fazla özen ister.

iii) Hafif agregalı betonlarda ön emdirme işlemi için özel silolar gerekir.

iv) Boşluklu olmaları nedeniyle dayanımları düşüktür. Agreganın tipine bağlı olmakla birlikte, normal betonlarla benzer dayanımlar elde etmek için daha fazla çimento kullanmak gerekir.

v) Aşınmaya karşı dayanıksızdırlar.

vi) İyi ısı yalıtımı sağlamakla birlikte, bu özelliklerini koruyabilmeleri için neme karşı yalıtılmaları gereklidir.

vii) Hafif betonların elastisite modülü düşük değerler alır.

viii) Sünme ve rötre değerleri normal betondan daha yüksektir.

ix) Düşük çekme dayanımına sahip oldukları için daha fazla kayma donatısı gerektirir.

1.2. Hafif Betonların Sınıflandırılması

Hafif betonların sınıflandırılması genellikle hem birim ağırlık hemde dayanım koşullarına göre yapılmaktadır. Yalıtım betonlarından taşıyıcı olanlara kadar bütün hafif betonların özellikle birim ağırlık bakımından sınıflandırılmasında değişik kabüller vardır.

Birim ağırlıkları 1840 kg/m^3 ü geçmeyen ve 28 günlük basınç dayanımı 17 kN/mm^2 aşan betonlar hafif beton sınıfına girerler. (ASTM C 330-69) Ancak ülkemizin ve diğer bazı ülkelerin standartlarında hafif beton birim ağırlığının 1900 kg/m^3 'e çıkmasına izin verilir. (TS 2511, 1977) Genel olarak hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı $300\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ dür. (Neville, 1975) Taşıyıcı hafif betonların birim ağırlığı $1450\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmekte, çoğunlukla birim ağırlık $1600\text{-}1700 \text{ kg/m}^3$ arasında kalmaktadır. Dayanımları $7\text{-}17 \text{ kN/mm}^2$ arasında olan betonlar yalıtım betonu ile orta dayanımlı beton sınıfına girerler.

Hafif betonları fonksiyonlarına göre üç ayrı gruba ayırmak mümkündür. (Neville, 1975)

- i) Yalıtım betonları
- ii) Orta dayanımlı betonlar
- iii) Taşıyıcı hafif betonlar

Çetmeli 'de (1974) verildiği üzere betonlar birim ağırlıklarına göre şöyle sınıflandırılırlar.

- i) Hafif betonlar : $300 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim ağırlık} < 2000 \text{ kg/m}^3$
- ii) Normal betonlar : $2000 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim ağırlık} < 2800 \text{ kg/m}^3$
- iii) Ağır betonlar : $\text{Birim ağırlık} > 2800 \text{ kg/m}^3$

Diğer taraftan yine birim ağırlıklarına göre bütün betonların sınıflandırılması şu şekilde yapılır. (ACI 213, 1970)

i) Birim ağırlığı $400\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlar hafif betondur TS 2823 'de (1977) alt sınır 1000 kg/m^3 ve üst sınır 1300 kg/m^3 olarak verildiği görülmektedir.

ii) Birim ağırlığı $1800\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlar ne hafif nede normal betonlardır. Bazı yayınlarda bu aralıktaki betonlara *yarı hafif beton* adı verilmektedir. (Taşdemir, 1982) Alman literatüründe çoğunlukla *hafif normal beton* diye geçen taşıyıcı yarı hafif betonların, birim ağırlığı $2000\text{-}2100 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Bu değerler, yukarıda görüldüğü gibi Çetmeli'deki (1974) normal betonun alt sınırınıdır.

iii) Birim ağırlığı $2200\text{-}2500 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlar da normal beton sınıfına girerler.

Bu çalışmada betonların birim ağırlıkları bakımından kabul edilen sınıflandırılması şöyledir.

i) Hafif betonlar : Birim ağırlık $< 1900 \text{ kg/m}^3$

ii) Yarı Hafif betonlar : $1900 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim ağırlık} < 2100 \text{ kg/m}^3$

iii) Hafif agregalı normal betonlar : $2100 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim ağırlık} < 2300 \text{ kg/m}^3$

iv) Normal betonlar : Birim ağırlık $> 2300 \text{ kg/m}^3$

Bu çalışmanın birinci bölümünde hafif beton konusuna genel bir giriş yapılmış, hafif betonların sınıflandırılması hakkında genel bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde ise Hafif beton üretiminde kullanılan agregalar, bu agregaların ülkemizdeki dağılımı, hafif betonların dayanım ve dayanıklılık durumları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde diğer hafif beton çeşitleri ele alınmıştır. Özellikle gazbeton malzemesinin üretimi, kür şartları ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Kullanılan ince agrega ve hafif agrega incelenmiş, üretilen değişik su / çimento oranına sahip hafif betonların mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Beşinci bölümde ise yaygın olarak kullanılan veya kullanılmasında fayda görülen hafif betonlar ekonomik olarak incelenmiştir.

Altıncı bölümde ise konu hakkında sonuçlar verilmiş, hafif betonların seçiminde dikkat edilecek hususlar belirtilmiştir.

2. HAFİF BETON ÜRETİMİNDE KULLANILAN AGREGALAR

Hafif agrega (beton için) su, çimento ve gerektiğinde katkı maddeleriyle karıştırılarak hafif beton imalinde kullanılan gevşek birim ağırlığının en büyük değeri 1200 kg/m^3 'ü aşmayan kırılmış veya kırılmamış gözenekli inorganik agregadır. (TS 1114, 1986)

Bazı hafif agregalar doğal olarak bulunur diğerleri üretilir.

2.1. Doğal Hafif Agregalar

Bu kategorideki başlıca agregalar diatomit, ponza taşı, volkanik curuf dur. diatomit dışında bunların hepsi volkanik kökenlidir.

Sadece bazı yerlerde bulunmaları nedeniyle doğal hafif agregalar yaygın bir şekilde kullanılmazlar.

Diatomit, Diatom adı verilen silisli bir kabuğa sahip olan deniz bitkisinin ve silisli artıkların birikmesiyle oluşmuş bir kayaç çeşitidir. Çok yüksek poroziteye sahiptir. Açık renkli ve taneli bir yapısı vardır.

Ponza (Bims), açık renkli köpük benzeri volkanik bir camdır. Ponza volkanik olaylar sırasında doğal olarak genişmiş perlit olarak kabul edilebilir. Granülometrik dağılımının düzensizliği ve genişmeyen artık madde bakımından zengin oluşu gibi sakıncalarına rağmen tüm dünyada tüketimi 15 milyon ton/yıl düzeyindedir. Türkiyede ponza yatak ve işletmeleri Niğde, Nevşehir, Van (Erciş) ve Bitlis (Tatvan) 'da bulunmaktadır. Ayrıca Trabzon 'da özellikle İran 'dan boş dönen kamyonların Iğdır ve Aşkale 'den getirip kullanıcılara sattıkları ponza agregasında biriket ve diğer yapı taşları imal edilmektedir.

Birim hacim ağırlığı $500-900 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Ponza taşı ile yapılan betonlar $700-1400 \text{ kg/m}^3$ arasında yoğunluklara sahiptir. Ponza taşı ile tatminkar derecede dayanıklı betonlar elde edilebilir. Bu betonlar çok iyi yalıtkan yüksek su emme kabiliyetine sahip ve fazla rötre yapan betonlardır.

Ponza taşının Romalılar zamanından beri kullanıldığı bilinmektedir.

Ergimiş lavın volkandan fişkırması sırasında açığa çıkan gazların

hapolmasıyla amorf yapılı ponza taşı parçacıkları oluşur. Bu nedenle agrega boşluklu ve hafiftir. boşluklar yassı ve birbirine paraleldir. Boşluk miktarı %75 kadardır. (Yıldırım, 1989)

Volkanik Curuf, kabarcıklı ve camsı bir kayadır. Volkanik curuf kullanılarak yapılan hafif betonlar endüstriyel curuflarla yapılan betonlarla benzer özelliklere sahiptir. (Neville, 1975)

2.1.1. Ülkemizin doğal hafif agrega bakımından durumu

Ülkemizin doğal hafif agrega bakımından durumunu anlamak için Bayındırlık Bakanlığı - Yapı ve İmar İşleri Reisliğince 1970-75 yılları arasında çeşitli illerimizde yaptırılan incelemelere başvurduk. Bu incelemeler jeolog, topograf, mimar ve metereolog 'dan oluşan ekipler tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu ekipler gittikleri yörelerde malzemeyi incelemişler, taş ocaklarından numuneler almışlar, bunlar üzerinde laboratuvarında deneyler yaparak bunların özelliklerini saptamışlardır. Ayrıca jeologlar çeşitli karinelere dayanarak doğal malzemenin rezervlerini tahmin etmişlerdir. Bu incelemeler Aydın, Amasya, Afyon, Balıkesir, Bitlis, Bilecik, Bolu, Burdur, Çanakkale, Çankırı, Çorum, Denizli, Eskişehir, Isparta, Kastamonu, Kayseri, Kocaeli, Konya, Kütahya, Manisa, Muğla, Niğde, Samsun, Siirt olmak üzere 26 ilimizde yapılmıştır. Bu illerden genellikle orta ve doğu Anadolu da yer alan 10 ilde (Amasya, Afyon, Bitlis, Çankırı, Eskişehir, Isparta, Kayseri, Konya, Kütahya, Niğde) toplam 40 adet doğal hafif taş ocağının bulunduğu bu incelemede anlaşılmıştır. Ayrıca bu 10 ilde toplam rezerv miktarının 580.000.000 m³ gibi çok yüksek bir değere ulaştığı saptanmıştır. Bu yaklaşık olarak 200 yıl konut gereksinimini karşılayabilecek agrega miktarı demektir. Bu durum doğal hafif agrega bakımından ülkemizin büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Doğanın verdiği bu nimetten mümkün olduğu kadar faydalanma yoluna gidilmelidir. Ayrıca hafif betonlara yapılarda yer verilmesiyle ısı kayıpları da büyük ölçüde azalacağı ve deprem dayanıklılığının da artacağı daha evvel belirtilmişti.

2.2. Suni Hafif Agregalar

Suni hafif agregalar, genellikle ticari adlarıyla anılırlar. Fakat en iyi sınıflandırma üretim matoduna göre yapılan sınıflandırmadır.

Birinci grup ısı uygulamasıyla üretilmiş agregaları içerir. Sırasıyla genişmiş kil, genişmiş şist, perlit, vermikülit gibi... İkinci grup yüksek fırın curufunun özel bir soğutma işlemi ile genişletilmesiyle elde edilir. Endüstriyel kül ve curuflar üçüncü gruptadır.

Genleşmiş kil, şist ve curuf, uygun bir döner fırında ergimeye başlayınca kadar ısıtılan ham madde açığa çıkan gazlardan dolayı, boşluklu bir yapı haline gelir. Bu boşluklu yapı, birim hacim ağırlığının düşmesi için soğumaya bırakılır. Soğuyan kütle ya sonradan kırılır yada önceden kırılmış malzeme kullanılır. Genleştirme işlemi sinterleme ile de yapılabilir. Burada nemlendirilmiş malzeme sıcaklık artışı yavaş yavaş içine işlemesi için gezici ızgaralarla ocağın üzerinde gezdirilir.

Kırılmış malzemenin kullanılmasıyla parçacıkların üzerinde kabuk veya manto adı verilen bir tabaka oluşur. Bu, yarı geçirimsiz bir tabaka ile kaplanmış küreye benzer parçacıklar, mantosuz parçacıklara göre daha düşük su emme kapasitesine sahiptir. Mantolu parçacıkların taşınması, karıştırılması daha kolaydır ve üretilen betonların işlenebilirliği yüksektir. Fakat, genellikle, mantosuz agregalara göre daha yüksek fiyatlara sahiptirler.

Genleşmiş kil ve şist agregaları, sinterleme metodu ile $650-900 \text{ kg/m}^3$ arasında yoğunluklarda elde edilebilir. Döner fırında ise $300-650 \text{ kg/m}^3$ arası yoğunluklarda elde etmek mümkündür. bu malzemelerin kullanılmasıyla üretilen betonlar $1400-1800 \text{ kg/m}^3$ arası yoğunluğa sahiptirler. genişmiş kil ve silt ile yapılan betonlar genellikle diğer hafif agregalar kullanılarak yapılan betonlara göre yüksek dayanıma sahiptir.

Perlit, tabiatta bulunan silisli volkanik bir camdır. Perlitin diğer volkanik camlardan ayıran en önemli özelliği, yumuşama noktasına kadar ısıtıldığı zaman orjinal hacminin 4-20 misli genişmesidir. Bu genişme ham perlit kayasındaki %4-6 oranındaki kombine sudan kaynaklanır. $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ civarında ısıtıldığı zaman içinde bulunan suyun buharlaşmasından dolayı mısır gibi patlar, böylece içinde hava kabarcıkları mevcut olan, hafif, beyaz, ince bir agrega meydana gelir. Türkiye 'de üretilen tek suni agrega olan perlit ile üretilen hafif betonlar, genellikle düşük dayanımlıdır. Salt perlit ile yapılacak prefabrike taşıyıcı döşeme ve çatı plakları sınırdaki yük taşıyabilirler.

Üretimde yetersiz bir kontrol, kullanımda aşırı bir yükleme göçmelere yol açabilir. Taşıyıcı elemanları bu bakımdan şantiyelerde yerinde dökerek perlit betonu üretmek bu bakımdan olanaksızdır.

Perlit betonların da sünme deformasyonları yüksektir. Bu özellik de taşıyıcı eleman yapımını kısıtlar, zorlaştırır.

Perlit betonlarında su emme ve kılcallık yüksektir. Gerek ısı yalıtımından gereğince yararlanmak, gerek taşıyıcılardaki donatının korozyonunu önlemek için bu betonların su ve neme karşı yalıtımı şarttır.

Perlite sağlam normal iri agrega katarak nitelikler düzeltilabilir. elde edilen beton tam anlamıyla bir taşıyıcı hafif beton değildir. İç yapı nedeniyle dayanımı daha da yükseltmek olanağı kısıtlıdır. Bu betonun ısı yalıtımı salt perlit ile üretilen betona oranla çok azalmıştır. Bu betonu da şantiyede dökme beton olarak üretmek sakıncalıdır, prefabrikasyon olarak üretmek daha güvenlidir (Akman ve Taşdemir, 1977).

Perlit betonunun en önemli malzemesi olan genişletilmiş perlit agregasının fiziksel özellikleri karışımın başarısının en çok etkileyen faktördür. Perlit agregası tanelerinin taşıma ve boşaltma sırasında ufalanması oldukça kolaydır. Ufalanma nedeniyle agreganın " Su isteği " pek çok yükselebilmekte, gevşek birim ağırlığı artmakta ve sonuçta belirlenmiş üretim formülüne karşılık gelen betonbirim ağırlığının çok üstüne çıkılmaktadır. Bu tür problemlerin yaşanmaması için alınan perlit torbalarının ağırlıklarını ölçmek yeterli olacaktır olması gerekenden ağır torbaların red kriteri olarak en çok $+5 \text{ kg/m}^3$ 'e müsaade etmek uygundur. Perlit agregasının yoğunluğu $30-240 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Perlit ile yapılan betonlar düşük dayanımlı, fazla rötre yapan ve esas olarak yalıtım amacıyla kullanılan betonlardır.

Vermikülit, Amerika ve Afrikada bulunan, mika benzeri, tabakalı bir malzemedir. $650-1000 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında ısıtıldığı zaman vermikülitin ince tabakalarının pul pul dökülmesiyle (eksfolidasyon) hacmi birkaç, hatta bazen 30, kat artar. Sonuç olarak ekxfolidasyona uğramış vermikülitin birim hacim ağırlığı $60-130 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Ve vermikülit ile yapılan betonlar çok düşük dayanımlı, fazla rötre yapan fakat mükemmel yalıtkan olan betonlardır.

Genleşmiş yüksek fırın curufu, yüksek fırından çıktığında yaklaşık $1400 - 1600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de eriyik durumda bulunan curuf havada, yavaş soğumaya bırakıldığında gri, kristal yapılı, taş gibi bir malzeme haline dönüşmektedir. Genleştirilmiş yüksek fırın curufu ise iki yolla üretilir. Birinci metodda

fırından yeni çıkmış ergimiş curufun içine belirli bir miktar su püskürtülür. Sonuç olarak buhar açığa çıkar ve hala plastik kıvamda olan curuf kabarcıklanır ve boşluklu bir yapıda sertleşir. Ponza taşına benzer bir görünüm alır. Bu Su jeti işlemidir. Makina işleminde ise ergimiş curuf kontrollu bir miktar su ile çabucak karıştırılır, kızgın su buharı ile curuf bileşenlerinin bazılarının kimyasal bileşimi sonucu çeşitli gazlar açığa çıkar bu gazlar elde edilen yapının boşluklu olmasını sağlarlar.

Yüksek fırın curufları kireç, silis, alümin, demir, magnezi, manganoksit ve kükürt gibi maddelerden oluşmaktadır. Görüldüğü gibi, yüksek fırın curuflarını oluşturan oksitler portlant çimentosunu oluşturan oksitlerle benzerlik göstermekte fakat ayrı yüzdelerle sahiptir. Bu maddelerin curuf içerisindeki yüzdeleri kullanılan hammaddenin özelliklerine göre değişiklikler gösterir.

Genleşmiş curuf soğutma işleminin detaylarına ve parçacıkların boyut ve granülometrisine bağlı olarak yoğunluğu $300-1100 \text{ kg/m}^3$ civarında olur. Genleşmiş curuf ile yapılan betonların yoğunlukları $950-1750 \text{ kg/m}^3$ arasındadır.

Ayrıca yüksek fırından çıkan curuf suda ani olarak soğutulma işlemine tabi tutulursa elde edilen ürüne *Granüle yüksek fırın curufu* denir. İleriki bölümlerde ekonomik analizini yapacağımız ferrokrom curufu bu tip bir curuftur. Ferrokrom curufu kullanılarak üretilen betonların birim hacim ağırlıklarında %17 - 20 civarında bir azalma oluşmaktadır. Ayrıca kullanılan çimento ve kullanılan granüle curuf ve kum miktarları değiştirilerek yalıtım, yarı taşıyıcı ve taşıyıcı hafif betonlar elde edilebilir. Elde edilen hafif betonlar $1900 - 1300 \text{ kg/m}^3$ civarında yoğunluğa sahiptir. (Gül ve Geçten, 1993)

Klinker agregası, iyi yanmış edüstriyel yüksek sıcaklıklı fırın artıklarından elde edilir. Klinker agregasının betonun içinde genleşip dayanıksızlığa sebep olan yanmamış kömür çeşitlerinden ayrılmış olması çok önemlidir. Araştırmacılar klinker agregasının, betonarme betonunda veya yüksek dayanıklılık gerektiren betonlarda kullanılmasını tavsiye etmezler.

Klinker agregası ince ve kaba dane olarak kullanıldığında elde edilen betonlar $1100-1400 \text{ kg/m}^3$ arasında yoğunluğa sahiptir. Fakat sık sık karışımın işlenebilirliğini artırabilmek için doğal kum kullanılır. Bu şekilde üretilen betonlar $1750-1850 \text{ kg/m}^3$ arasında yoğunluğa sahiptir. (Neville, 1975)

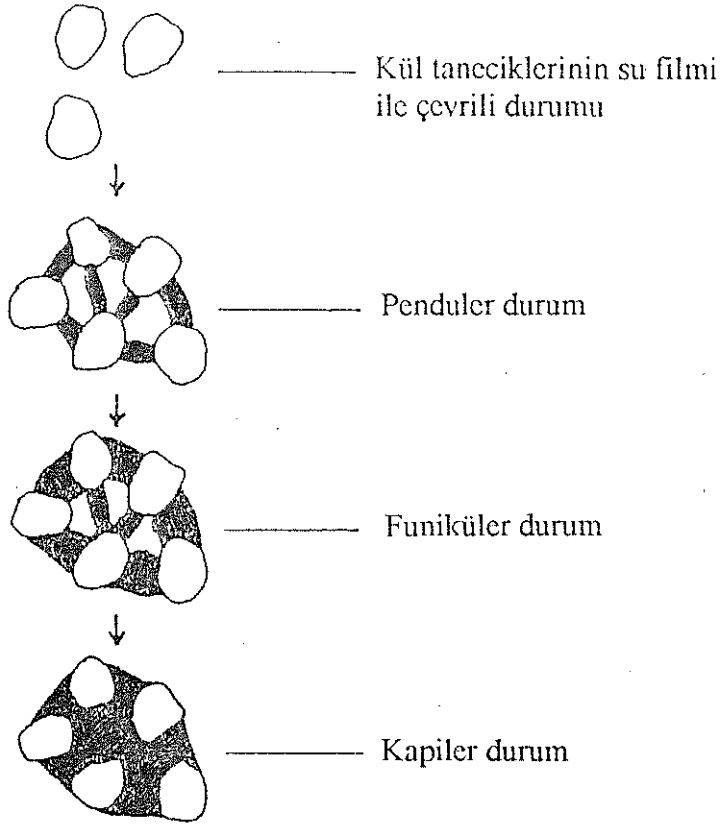
Uçucu kül, günden güne pratikteki değeri artan hafif beton imalinde en önemli etken kullanılan agreganın hafif olmasıdır. Yıllardır hafif agrega denilince akla fırın klinkeri geliyordu. Daha sonra doğal pomza ve yüksek fırın curufu son yıllarda ise geliştirilmiş kilden yapılmış hafif agregalar kullanılmaya başlanmıştır. Sinterleştirilmiş uçucu külden hafif agregalar 1950 lerde geliştirilmeğe başlanmış ve beton yapımında en çok kullanılan agrega tipi olarak ortaya çıkmıştır. Sinterleşmiş uçucu külden hafif agrega ilk defa İngiltere 'de " Lytag " firması tarafından yapılmış ve kullanılmıştır. kapasitesi 350000 ton/yıl olan bu fabrikadan sonra diğer bir çok ülkede buna benzer fabrikalar kurmuşlardır. Düşük kalorili olmaları nedeniyle endüstride yakıt olarak kullanılamayan kömür artıkları, toz halde yakılarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Bu kömürlerin tane çapları 0.2-0.5 mm dolaylarındadır. Ve kül oranları oldukça yüksektir. Bu kömürler, termik santrallarda su ile fırın içine püskürtülerek yakılırlar. Termik santralın tipine göre 1100-1600 °C sıcaklıkta yakılan bu kömürlerin %10-20 'si kazan altına düşerek su ile uzaklaştırılır. Buna kazan altı curufu denir. Geri kalan daha ince partiküller baca çekimi ile taşınarak siklon veya elektrofiltrelerde toplanırlar. Baca gazlarıyla sürüklenen ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzzolanik özellik kazanan bu küllere uçucu kül denir. Bu kül parçacıklarının çapları 1-10 mikron arasındadır. Hafif olmaları nedeniyle bu isim verilmiştir. Uçucu kül ile hafif agrega üretiminin ana hatları şöyle özetlenebilir; uçucu küller 1100-1200 °C arası sıcaklıkta yakıldığı zaman tanecikler ergiyerek birbirine yapışır, yuvarlak biçimde olan olan bu tanecikler hafif olmakta ve iyi bir mekanik dayanım göstermektedir. Ergiyerek yapışma olayına sinterleşme denir. Elde edilen agregalar yuvarlak biçimdedir ve hafif agrega olarak kullanılırlar.

Hafif agrega elde etmek için kullanılan yöntem başlıca iki bölümden oluşmaktadır:

- a) Taneciklerin oluşumu
- b) Sinterleşme

Taneciklerin oluşturulmasında döner tanbur, uçucu kül, su toz yakıt ve yeterli katkı kullanılır. Tanecikler 3 aşamadan geçerek nodül haline gelirler.

Uçucu kül tanecikleri eğik döner tanburda ıslanarak birbirlerine yapışırlar. Uçucu kül içine nodülleşmeyi kolaylaştırmak için bazı katkılar katılmışsa da su ile nodülleşmenin en uygun şekil olduğu tesbit edilmiş, çok az miktarda alkali katkısının mekanik ve termal etkilere dayanımı artırdığı

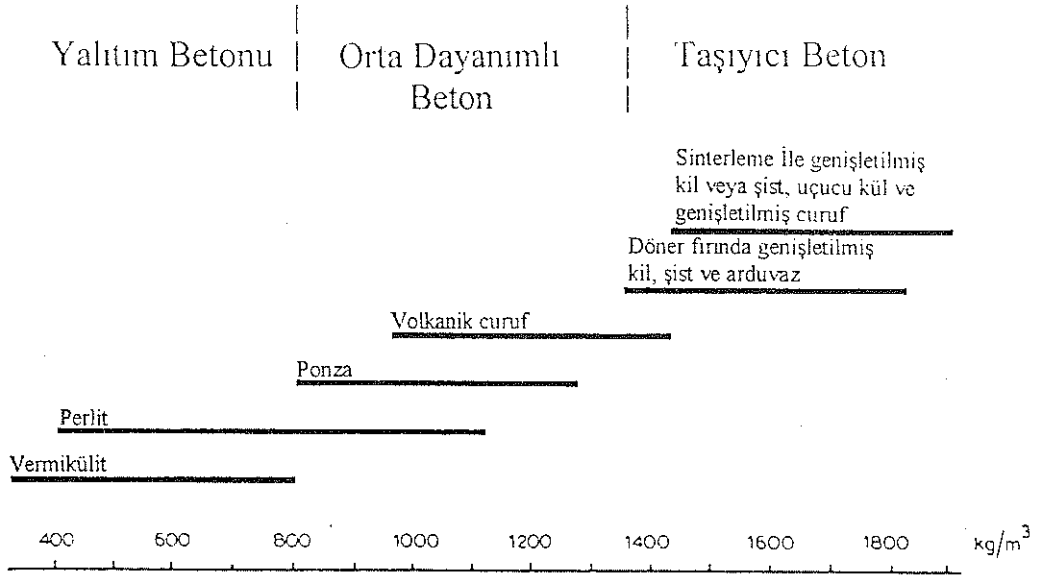


Şekil 2.1 Nodülleşmenin diyagramik görünüşü

ayrıca sinterleşme kapasitesini artırdığı ve maliyeti düşürdüğü saptanmış ve %1 kirecin de iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu aşamalar Şekil 2.1 'de görülmektedir.

Uçucu külden üretilmiş hafif agregaların birim hacim ağırlığı 1000 kg/m³ civarındadır. İnce hafif agregalarda bu değer 1200 kg/m³ değerine kadar çıkmaktadır. Elde edilen betonlar 1500-1900 kg/m³ arası yoğunluğa sahiptir. (Bayazıt, 1980)

Çeşitli hafif agregalarla üretilen betonların birim ağırlık ve dayanım durumları. Şekil 2.2 de görülmektedir.



Şekil 2.2 Hafif agregalarla üretilen betonların birim ağırlık ve dayanım durumları

2.2.1. Ülkemizin suni hafif agregaların bakımından durumu

Taşıyıcı hafif beton için gerekli suni hafif agregalardan olan genişletilmiş kil, genişletilmiş şist, uçucu küllü hafif agregalar, genişletilmiş curuf gibi özel işlemlerle elde edilmiş suni hafif agregalarla ilgili sanayi kolu ülkemizde henüz kurulmamıştır. Ancak bazı sanayi kollarının artıkları hafif agregalar olarak ikinci bir işlem yapılmadan kullanılmaktadır. Bununla birlikte Etibank'ın İzmir Cumaovası'nda kurduğu perlit işletmeleri bu konudaki tek istisnadır.

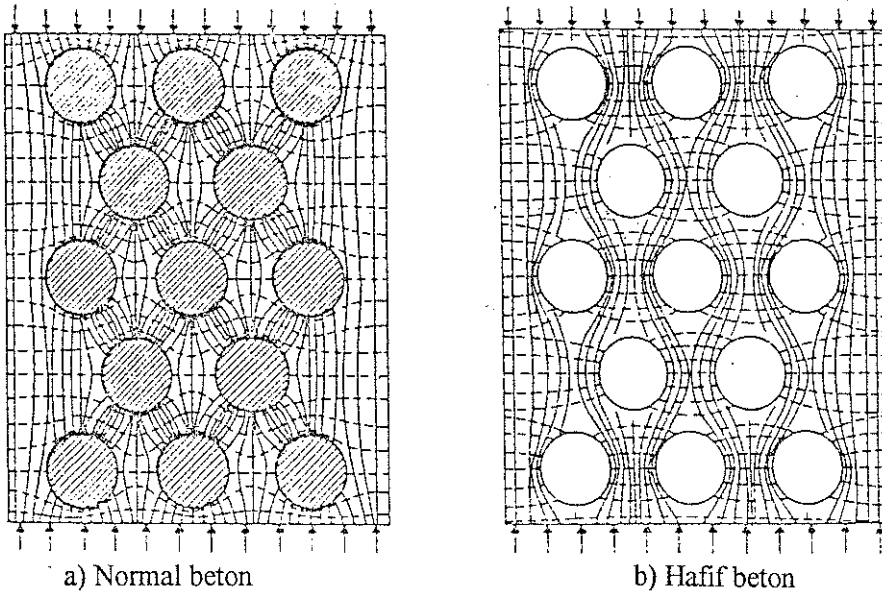
2.3. Hafif Agregaların Beton Dayanımına Etkisi

Agrega dayanımının bilinmesinin beton dayanımının saptanmasında önemi vardır. Öte yandan hafif agregaların üretiminin denetlenebilmesi bakımından dayanımların bilinmesi yararlıdır.

Hafif agregalı danelerinin dayanımının, bunların kökenlerine ve tiplerine göre değişiklik gösterdiği, agreganın dayanımının belirlenmesi için niteliksel bir ölçünün olmadığı, beton dayanımı ile dane dayanımı arasında net bir korrealasyon bulunmadığı ACI 213 'de (1970) belirtilmiştir.

Beton dayanımı en yüksek değerine, büyük boyutlu agregaların aralarındaki boşlukların, gittikçe dahada küçülen ve yükü birbirine doğrudan aktaracak şekilde dizilmiş agregalar tarafından doldurulduğu karışımlarda ulaşır. Geri kalan daha küçük boşlukları dolduran çimento hamuru hem dayanıma katkıda bulunur. Hemde taşıyıcı yapının kararlılığını ve geçirimsizliğini sağlar.

Hafif agregalı betonda, boşluk doldurma bakımından benzerlik varsada çimento hamurunun dayanımı agreganın dayanımına göre yüksek olduğu için yük, agregalı dokusu içerisinde bir daneden diğerine geçmek yerine çimento hamuru ile taşınır. (Akpınar, 1988) Bu durum Şekil 2.3 'de görülebilir.



Sekil 2.3 Betonda yük taşıma mekanizması (Fritz, 1975)

3. DİĞER HAFİF BETON ÇEŞİTLERİ

Bu bölümde özellikle, inşaat sektöründe, yaygın kullanım alanına sahip gazbeton incelenecektir.

Gazbeton, gözenekli bir beton çeşitidir. İnsan oğlunun elde ettiği suni taşların ağırlıklarını azaltma düşüncesiyle, betona gaz oluşturan bir katkı maddesi ilavesi ile gözenekli harç imali için ilk patentin 1889 'da verildiği görülür.

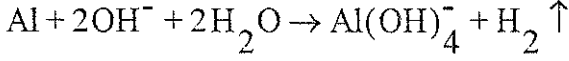
Aylsworth ve Dyer çimento harca kabartıcı katkı maddesi olarak alüminyum tozu, çinko tozu veya diğer madeni tozların katılması sureti ile hafif beton üretilebileceği görüşünü 1914 'de ortaya atmışlardır. Aynı tarihlerde Adolf ve Pohl 'un Perhydrol katkı maddesi, Vass 'ın basınçlı hava kullanmak sureti ile hafif beton imaline muaffak oldukları görülür. 1918 - 1920 yılları arasında İsveç 'te kimtager A. Eriksson beton harcına kabartıcı madde olarak alüminyum tozu katmış ve basınçlı buhar sertleştirmesinin müsbet tesirlerini tesbit ederek bugünkü gazbeton üretim teknolojisinin temelini atmıştır.

Bu gelişmelerden sonra 1924 'de ilk defa Durox patent adı altında İsveç 'de hafif gazbeton üretimine başlanmıştır.

Gazbetonun ham maddeleri; yüksek silisli havi bir dolgu maddesi, kum, kum taşı, baca külü, yüksek fırın curufu gibi, ile bağlayıcısı kireç ve çimentodur.

Gayet ince toz kıvamında öğütülen bu malzemeler su ve alüminyum tozu ilavesi ile karıştırılarak döküm arabalarına dökülür. Yanmış kirecin su ile reaksiyona girmesi sonucu yüksek ısı açığa çıkar. Kabartıcı katkı maddesi olarak karışıma katılmış bulunan alüminyum tozu bunun sonucunda

reaksiyona girerek hidrojen gazı açığa çıkarır. İnce toz taneleri halindeki alüminyum tozunun açığa çıkardığı gaz habbeleri Gazbeton döküm hamurunun kabarmasına ve mikro gözenekli bir yapıya sahip olmasını sağlar. Gazbetonun üretilirken meydana gelen kimyasal tepkime aşağıda görülmektedir.

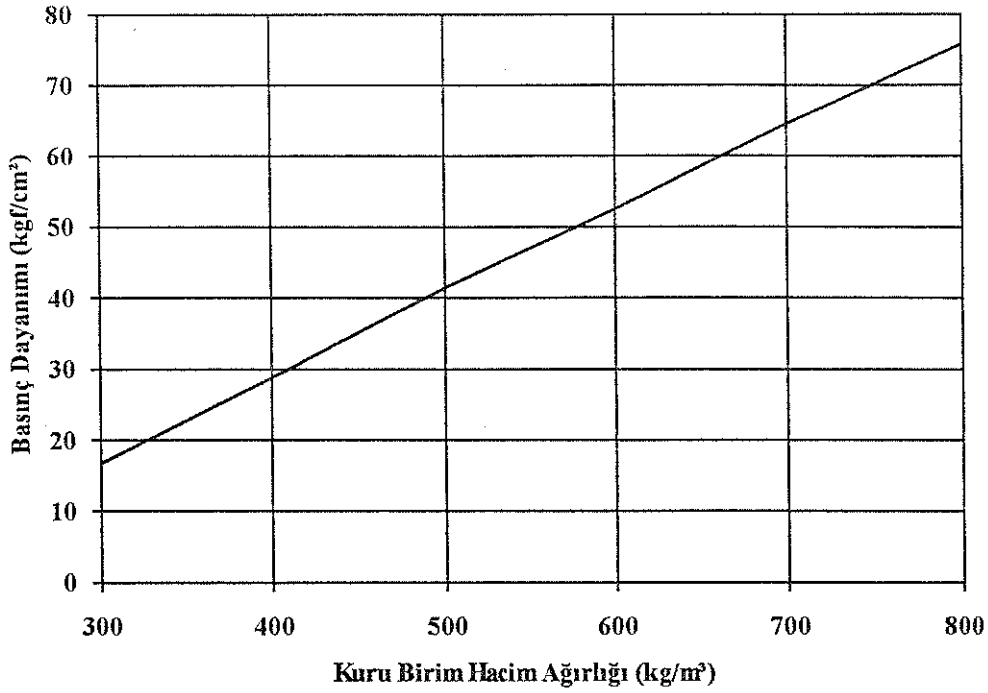


Gazbeton malzemesi üretiminde kullanılan silisli ham maddenin cinsine bağlı olarak beyaz, gri veya pembe olabilir.

Gazbeton malzeme yapısında 0.5 mm ile 1.5 mm arasında yuvarlak makro gözenekler vardır. Bu gözenekler ayrıca mikro gözenekler ile çevrelenmiştir. 400 kg/m³ kuru birim hacim ağırlıktaki malzemenin içerdiği boşluk miktarı hacminin yaklaşık %84 dür. Bu boşluk oranı malzemenin yoğunluğunu ve tüm fiziksel özelliklerini belirler. Alüminyum tozu miktarını ayarlamak suretiyle istenen fiziksel özelliklerde gazbeton üretmek mümkün olmaktadır.

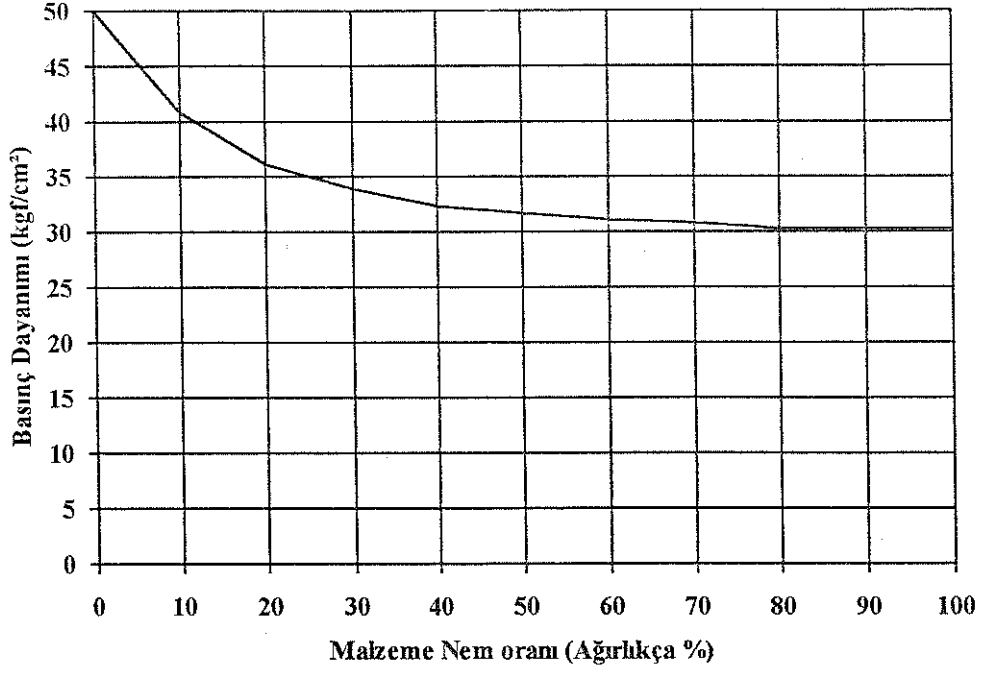
Gazbeton malzemesinin özgül ağırlığı yaklaşık olarak 2.60 kg/dm³ dür.

TS 453 (1988) standartına göre gazbeton malzemesi sahip olduğu küp basınç dayanımına göre sınıflandırılmaktadır. Malzeme kuru birim hacim ağırlığı malzemenin 105°C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulması ve bilahare tartılması ile bulunur. Malzeme basınç dayanımı 15x15x15 cm boyutlarındaki küplerin kırılmasıyla tespit edilir. Gazbeton malzemesinin basınç dayanımı ile kuru birim hacim ağırlığı arasındaki bağıntı Şekil 3.1 de görülmektedir.



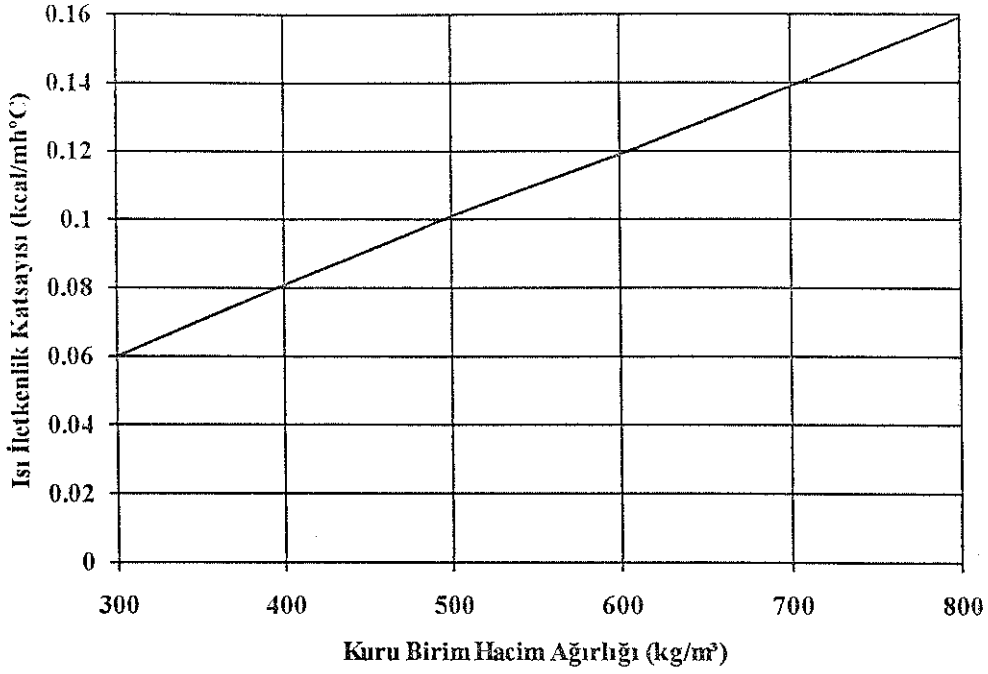
Şekil 3.1 Gazbetonun basınç dayanımı - Kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi

Gazbeton malzemesi tüm suni yapı taşları gibi, içerdiği neme bağlı olarak basınç dayanımı değişikliğe uğrar. Bu değişim tam kuru malzeme ile suya doymuş malzeme arasında %35 kadardır. Malzeme nemi ile basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 3.2 'de görülmektedir.



Şekil 3.2 Gazbetonun basınç dayanımı - Malzeme nemi ilişkisi.

Malzemenin %80 'ini oluşturan mikro ve makro gözenekler gazbeton 'a çok küçük bir ısı iletkenlik katsayısı sağlamaktadır. Isı iletkenlik katsayısı malzeme kuru birim hacim ağırlığına ve nem içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim Şekil 3.3 de görülmektedir.



Şekil 3.3 Gazbetonun kuru birim hacim ağırlığı - Isı iletkenliği ilişkisi

Gazbetonun ilginç bir özelliği de normal beton gibi yüksek sıcaklıklarda dağılmayıp, 1000°C 'de sinterleşmeye başlayıp 1100-1200°C civarında ergimeye başlamasıdır.(Borhan, 1986)

Gazbeton çok çeşitli yoğunluklarda elde edilebilir. Ancak genellikle yoğunlukları 300-800 kg/m³ arasındadır.

Gazbetonun basınç dayanımı 15-50 kgf/cm² arasındadır.

3.1. Araştırmanın Konusu

Bu çalışmada çeşitli hafif beton tipleri arasında ekonomik, dayanım ve diğer özellikler açısından karşılaştırma yapıp en uygun hafif beton tipinin seçimi için önerilerde bulunulacaktır.

Daha evvel yapılmış çeşitli araştırmalarda genellikle elde edilen hafif betonun mekanik özellikleri araştırılmış ve sadece hafif betonun normal betondan pahalı olduğu söylenmiştir. Hafif beton tipleri arasında bir

ekonomik karşılaştırma yapılmamıştır. İncelenen çalışmalarda kullanılan karışım serilerinin ekonomik analizinde ayrıca yapılmıştır.

Ayrıca Elazığ ili merkez ilçesine bağlı, 7 km uzaklıktaki Yeniköy civarında bulunan bazalt kökenli volkanik curuf kullanılarak elde edilen beton mekanik ve ekonomik açıdan incelenmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Palu kumu

Tüm betonlarda dane çapı 2mm 'nin altındaki Palu kumu kullanılmıştır. Bu kumun kullanılan granülometrik bölümleri üzerinde yapılan özgül ağırlık ve gevşek birim ağırlık deney sonuçları Tablo 4.1 'de görülmektedir.

Tablo 4.1 Palu kumunun kullanılan bölümlerinin birim hacim ağırlıkları

Palu Kumu Bölümü (mm)	Özgül Ağırlığı Hava Kuru Durumunda (kg/m ³)	Gevşek Birim Ağırlık Hava Kuru Durumunda (kg/m ³)
2/1	2700	1544
1/0.5	2550	1458
0.5/0.25	2420	1380

Palu kumu üzerinde TS 3673 'e (1982) uygun olarak yapılan deney sonucunda kumda mevcut olan organik madde miktarının betona zarar vermeyeceği (açık sarı), TS 3527 'ye (1980) uygun olarak yapılan deney sonucunda ise ağırlıkça %1.0 oranında çamurlu madde bulunduğu saptanmıştır.

4.1.2. Volkanik curuf

Elazığ ili merkezine 7 km uzaklıktaki Yeniköy civarından elde edilen volkanik curuf hafif agregalarının ağır kısımları göz kararıyla ayıklandı. Volkanik curuf hafif agregası kırılıp elenerek 25/16, 16/8, 8/4, 4/2 mm 'lik

dane gruplarına ayrıldı. Aşağıdaki tablolardaki değerler ve deney sonuçları bu elenmiş agregalara ait değerlerdir.

4.1.2.1. Özgül ağırlık

Volkanik curuf öğütülüp toz haline getirilerek 90 μ 'luk elekten elenmiş ve 105 °C 'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Sıvısı benzin olan piknometre ile yapılan üç ölçümün sonucu olarak özgül ağırlık 2720 kg/m³ olarak bulunmuştur. (TS 699, 1969)

4.1.2.2. Birim hacim ağırlığı

Her dane grubu için birim ağırlık ve gevşek birim ağırlık değerleri TS 3526 'ya (1980) uygun olarak bulunmuş ve Tablo 4.2 'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Volkanik curuf dane bölümlerinin birim hacim ağırlıkları

Hafif Agregada Bölümü(mm)	Birim Hacim Ağırlığı Hava Kuru Durumunda (kg/m ³)	Gevşek Birim Ağırlığı Hava Kuru Durumunda (kg/m ³)
25/16	790	465
16/8	875	513
8/4	1090	628
4/2	1420	795

4.1.2.3. Su emme değerleri

Volkanik curuf hafif agregalarının 30 dakika süresindeki su emme yüzdeleri hava kuru durumdaki ağırlıklarına göre hesaplanarak Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3 Volkanik curuf hafif agregalarının 30 dakika süresindeki su emme yüzdeleri

Hafif Agregası Bölümü(mm)	Su Emme yüzdesi (30 dak)
25/16	%18
16/8	%16
8/4	%14
4/2	%13

4.1.2.4. Volkanik curufun kimyasal özellikleri

Volkanik curuf hafif agregalarının kimyasal özellikleri Elazığ Altınova Çimento Sanayii T.A.Ş. Fabrika Müdürlüğü laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir.

SiO ₂ (Çözünen)	: —
SiO ₂ (Çözünmeyen)	: % 46.02
Al ₂ O ₃	: % 19.60
Fe ₂ O ₃	: % 11.80
CaO	: % 10.02
SO ₃	: —
Kızdırma kaybı (1000°C)	: % 1.45
Tespit edilemeyen	: % 1.29

Bu sonuçlara göre saptanamayanların tamamı SO₃ olsa bile bunun önemli olmadığı açıktır. TS 1114 'e (1986) göre SO₃ 'ün %1.50 değerini aşmaması uygun görülmüştür.

4.1.2.5. Don dayanımı

Volkanik curuf agregasının 25 mm lik elek üzerinde kalan kısmını kullanarak, TS 2513 'e (1977) uygun olarak NaSO₄ ile yapılan don dayanımı deneyi sonucunda numunelerde % 2 don kaybının meydana geldiği saptanmıştır. Standartta aşılması gereken en yüksek değer olarak verilen

% 18 değerinin, elde edilen sonuçtan bu kadar farklı olması volkanik curuf agregasının don dayanımının oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Bu yüksek dayanımın sebebi ise suya doygun olmayan çok sayıda gözeneğe sahip olmalarından dolayı zarar görmeden buzlanma genişmesine imkan vermeleri olarak tahmin edilmiştir. Donma çözülme olayının sıklık meydana geldiği yöremizde agregalarda don dayanımının çok önemli olduğu kesindir.

4.1.2.6. Basınç dayanımı

Bu deney 7.1x7.1x7.1 cm boyutlarındaki 3 adet numune ile yapıldı. Ve basınç dayanımı ortalama olarak 156 kgf/cm² bulundu.

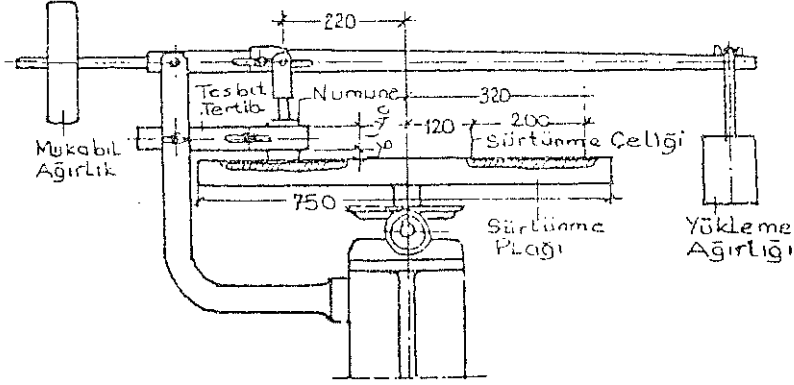
4.1.2.7. Aşınma dayanımı

Aşınma dayanımı TS 213 'e (1965) uygun olarak Böhme deney aleti ile yapıldı. Böhme aşınma metodu ile küp şeklindeki taşın 4 değişik yüzeyinde, belli bir devir sonunda meydana gelen aşınmaların toplamı bulunur.

Denenecek olan doğal yapı taşları 7.1x7.1x7.1 cm lik küp şekline konur. Sonra üzerine 30 kg yük yüklenerek dakikada 30 devir yapan 750 mm çaplı sürtünme plağının üstüne yüzeyi tam oturacak şekilde konur. Her 110 devir sonunda numune tartılır ve 90° döndürülerek aynı işlemler tekrarlanır. 440 devir sonunda hacim kaybıda hesaplanır. Deney sonuçları Tablo 4.4 de görülmektedir. Deney düzeneği Şekil 4.1 de görülmektedir.

Tablo 4.4 Böhme aşınma dayanımı deneyi sonuçları

Numune No	Alan (cm ²)	Birim Ağ (Kg/m ³)	Ağırlık (gr)				Aşınma (gr)	Kavbı (cm/50cm)	
			Başlangıçta	110	220	330			440
1	54.02	1113.2	442.0	441.1	440.8	439.8	437.9	4.1	1.5
2	52.56	1113.1	440.5	439.6	439.2	438.2	436.3	4.2	1.6
3	52.99	1113.3	436.3	435.4	435.1	434.1	432.4	3.9	1.4
4	52.63	1113.2	432.4	431.5	431.1	430.1	428.2	4.2	1.5



Şekil 4.1 Aşınma deneyi aleti

4.1.2.8. Yanıcı madde miktarı

Toz haline getirilmiş numune 24 saat boyunca 105 ± 5 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulduktan sonra kurutulmuş numunedan belirli bir miktar alınarak 1000 °C sıcaklıktaki fırında 1 saat bekletildi. Daha sonra desikatörde soğutulan malzemenin yüzde olarak ağırlık kaybı % 1.1 olarak bulunmuştur. TS 1114 'de (1986) yanıcı madde miktarının % 5 'i geçmemesi öngörülmektedir.

4.1.2.9. Mikroskopik özellikler

Bol hava kabarcıklı boşluklar içerip; siyah renkli, kırıldığı zaman keskin kenarlı olup, mineralleri gözle görülmektedir.

Kayaç genel olarak belirli yönde dizilim gösteren plajiyoklas mikrolitleri ile bunlar arasındaki olivin kristalleri ve oksitlenmiş camı malzemelerden meydana gelmiştir.

Olivinler çoğunlukla şekilsiz, bazen yarı özşekilli olup tane boyutları farklıdır. Büyük kristaller kenarları boyunca iddingsit 'e dönüşmüştür.

Plajiolklas mikrolitleri çok küçük olduğundan anortit yüzdesi tayin edilememektedir. Amigdaller (Gaz boşlukları) herhangi bir ikinci mineralle doldurulmamıştır. (Akpınar , 1988)

Olivin kayacın % 25-30 'unu oluşturmaktadır.

Kayacın adı : Olivinli bazalt olarak verilmektedir.

4.1.3. Çimento özellikleri

Tüm deneylerde Elazığ Altınova Çimento Sanayii T.A.Ş. fabrikasının 1995 yılı ürünü olan KPÇ 325 tipi katkıli portland çimentosu kullanılmıştır. TS 24 'e (1974) uygun olarak yapılan deneylerle bulunan fiziksel ve mekanik özelliklerin sonuçları aşağıda verilmektedir.

Fiziksel özellikler:

200 µ elek üzerinde kalan	: % 0.4
90 µ elek üzerinde kalan	: % 7.7
Özgül yüzey	: 3765 (cm ² /gr)
Özgül ağırlık	: 3.03 (gr/cm ³)
Le Chatelier iğnelerinin toplam açılması	: 3 (mm)
Priz başlangıcı	: 2 sa 35 dak
Priz sonu	: 3 sa 45 dak

Mekanik özellikler:

Çimentonun mekanik özellikleri Tablo 4.5 de görülmektedir.

Tablo 4.5 Çimentonun mekanik özellikleri

Zaman (Gün)	Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)
1	7.7
2	13.0
3	23.5
4	37.7

Kimyasal Özellikler

SiO ₂	: % 17.88
Al ₂ O ₃	: % 5.50
Fe ₂ O ₃	: % 3.10
CaO	: % 58.37
SO ₃	: % 2.48
MgO	: % 2.74
Kızdırma kaybı (1000°C)	: % 2.15
Alkaliler (Na ₂ O+K ₂ O)	: %1.15

4.2. Beton Bileşim Hesapları

4.2.1. Kabul edilen esaslar

Daha öncede belirtildiği gibi deneysel çalışmalardaki en büyük dane boyutu sabit ve 25 mm olan hafif agrega ile imal edilmiş betonun granülometri ve dozaj aynı tutulmak suretiyle üç değişik su/çimento oranı için ayrı ayrı hafif beton numuneleri üretildi.

Araştırmada kullanılan betonların tipleri aşağıdaki gibidir.

Etkin su/çimento oranı 0.40 olan hafif beton

Etkin su/çimento oranı 0.50 olan hafif beton

Etkin su/çimento oranı 0.60 olan hafif beton

İmal edilen bütün betonlarda granülometri aynı olup kullanılan elekler kare delikli ve en büyük dane çapı 25 mm 'dir. Genellikle hafif agregalı betonlarda en büyük agrega boyutunun 25 mm 'yi geçmemesi önerilmektedir. (Taşdemir, 1982)

Ayrıca hafif agregaya beton üretiminden önce bir önemdirme uygulamakla taşıma sırasında ufalanmanın azalacağı agregadaki ayrışmanın önleneceği ve beton kıvamının değişmeden kontrol edilebileceği ACI 211 'de (1968) belirtilmektedir

4.2.2. Bileşim hesapları

Genel olarak hafif beton bileşim hesaplarında kullanılan başlıca yöntemler şöyle özetlenebilir. (Bizden, 1977)

- i) Mutlak hacim yöntemi.
- ii) Piknometre ile bulunan özgül ağırlık faktörü yöntemi.
- iii) Deneme karışımlarından bulunan özgül ağırlık faktörü yöntemi.
- iv) Hacimsel yöntem.
- v) Ağırlık yöntemi.
- vi) Etkin su/çimento oranı yöntemi

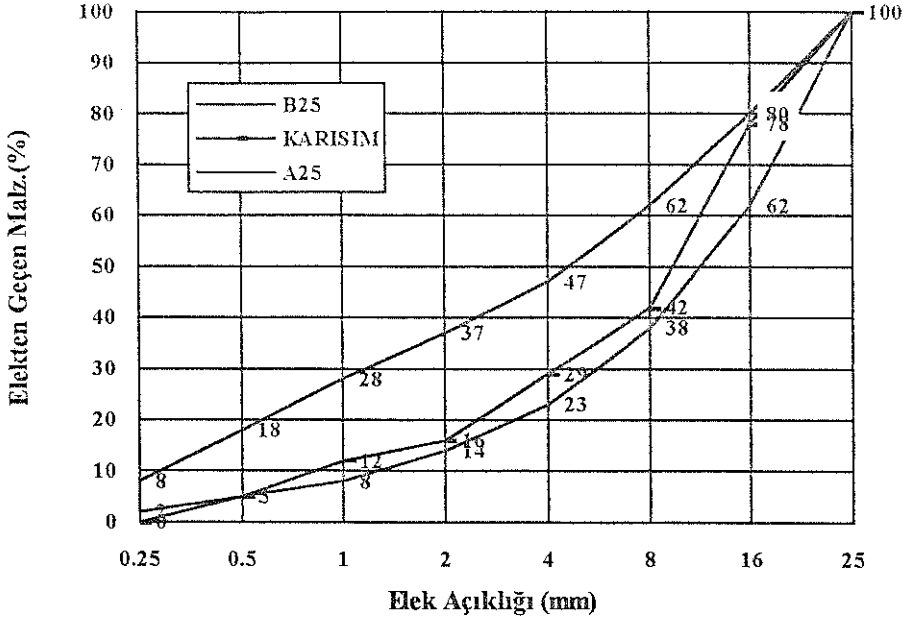
Görüldüğü gibi hafif betonların karışım hesapları üzerine bir çok yöntem önerilmektedir. hafif betonların karışım hesapları normal betonlara göre biraz karmaşıktır. bu karmaşıklığın nedeni hafif agregaların su emmesidir.

Bu çalışmada beton bileşim hesaplarında temel yöntemlerden olan mutlak hacim yöntemi kullanıldı.

Kullanılan agreganın granülometrik bileşimi şöyledir:

25/16 mm arası	: %22
16/8 mm arası	: %36
8/4 mm arası	: %13
4/2 mm arası	: %13
2/1 mm arası	: %3
1/0.5 mm arası	: %7
0.5/0.25 mm arası	: %6

Karışımın granülometri eğrisi Şekil 4.2 'de görülmektedir.



Sekil 4.2 Kullanılan beton agregasının granülometrik bileşimi

Beton bileşim hesaplarında izlenen yol :

Yukarıda belirtildiği gibi beton bileşim hesapları mutlak hacim yöntemine göre yapıldı. Ve her bir agregaya bileşeni aşağıdaki gibi hesaplandı;

- C : 1.0 m³ yerleşmiş betondaki çimentonun ağırlığı (350 kg)
- E : 1.0 m³ yerleşmiş betondaki suyun hacmi (dm³)
- δ_c : Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm³)
- δ_{ai} : (i) agregasının birim hacim ağırlığı (kg/dm³)
- P_i : (i) agregasının karışım yüzdesi
- V_a : Toplam agrega hacmi (dm³)
- w : Etkin su /çimento oranı (ağırlıkça)
- h : 1.0 m³ yerleşmiş betondaki hava hacmi (dm³)
- V_a : 1000 - (C/ δ_c + E +h) yazılabilir.
- G_i : (i) agregasının ağırlığı ise karışım şöyle elde edilir.
- G_i : V_a x P_i x δ_{ai}
- E : w x 350

4.2.3. Betonun üretimi karıştırma yerleştirme ve saklanması

Bütün hafif betonlar el ile karıştırılarak üretildi. Yüzeyleri çok köşeli ve pürüzlü olan hafif agregaların daha kolay bir şekilde işlenebilmeleri için hafif agregalara üretimden önce yarım saatlik bir ön emdirme uygulandı. Böylece işlenebilme ve yerleştirmenin kolaylaşması sağlandı.

Üretilen betonlar, çapı 15 cm, yüksekliği 30 cm olan silindirik kalıplara yerleştirildi.

Etkin su / çimento oranı 0.40 olan volkanik curuf hafif agregalı betonlarda taze beton 3 tabaka halinde ve her defasında 25 kez şişlenerek yerleştirildi. Silindir kalıp kauçuk çekiçle 20 kez sarsıldı.

Etkin su / çimento oranı 0.50 olan volkanik curuf hafif agregalı betonlarda taze beton 3 tabaka halinde ve her defasında 20 kez şişlenerek yerleştirildi. Silindir kalıp kauçuk çekiçle 10 kez sarsıldı.

Etkin su / çimento oranı 0.60 olan volkanik curuf hafif agregalı betonlarda taze beton 2 tabaka halinde ve her defasında 25 kez şişlenerek yerleştirildi. Silindir kalıp kauçuk çekiçle 5 kez sarsıldı.

Bütün kalıplar tam olarak doldurulduktan sonra taze betonun üzeri uygun boyutlardaki camla örtülerek 24 saat bekletildi. 24 saat bu şekilde kalan numuneler kalıplarından çıkarıldı. Ve kalıptan çıkarılan numuneler $+20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki kirece doymun su içerisinde 25 gün bekletildi. 25. gün sonunda kirece doymun su içerisinde çıkarılan numuneler $+60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde 3 gün boyunca kurutulup 28. gün kırıldı.

4.2.4. Numune boyutları ve sayıları

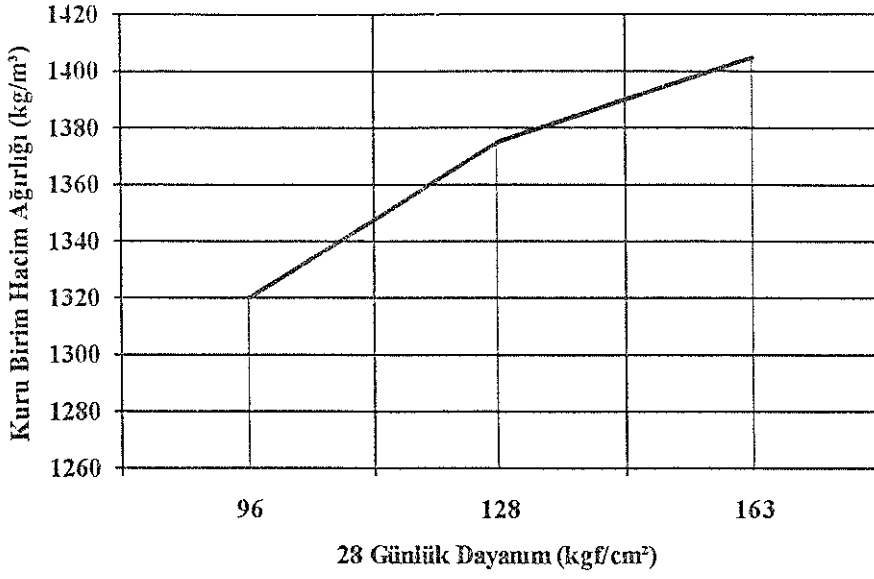
Bütün beton numuneleri silindir biçiminde olup boyutları daha evvel belirtildiği gibi $\text{Ø}15 \times 30$ cm dir. Hafif agregalı beton üretilirken her harmanda 4 deney numunesi hazırlanacak kadar harç yapıldı. (TS 3289, 1979) Böylece verilen deney sonuçları her bileşim için 4 numunenin ortalamasıdır.

4.2.5. Üretilen betonlar

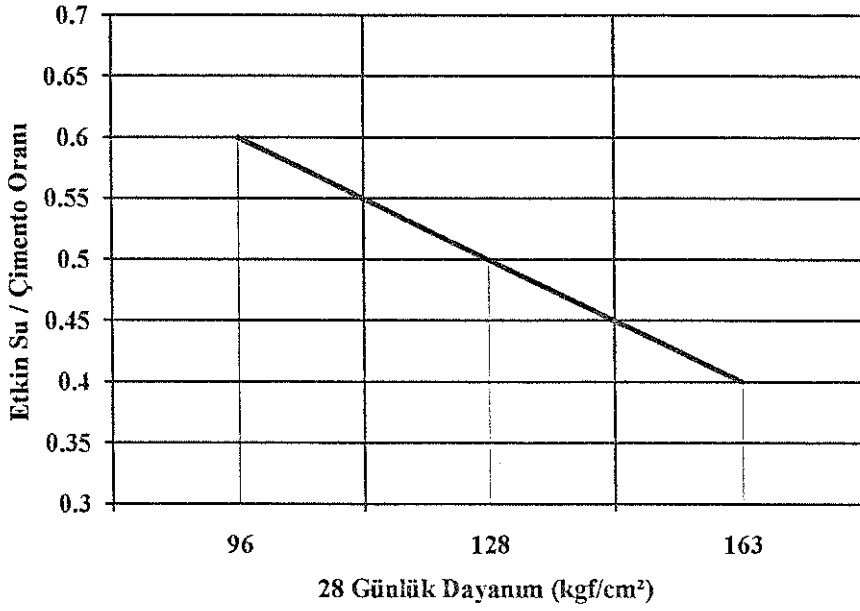
Üretilen betonların gerçek bileşimleri ve taze beton özellikleri Tablo 4.6 'da görülmektedir. Tablodaki karışım kodlarında bulunan sayılar ilgili karışımın etkin su / çimento oranını göstermektedir. Ayrıca üretilen betonların kuru birim hacim ağırlığı, 28 günlük dayanım ve su / çimento oranı değerleri arasındaki ilişkiler Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve şekil 4.5 'de görülmektedir.

Tablo 4.6 Üretilen betonların gerçek bileşimleri taze beton özellikleri ve 28 günlük deney sonuçları

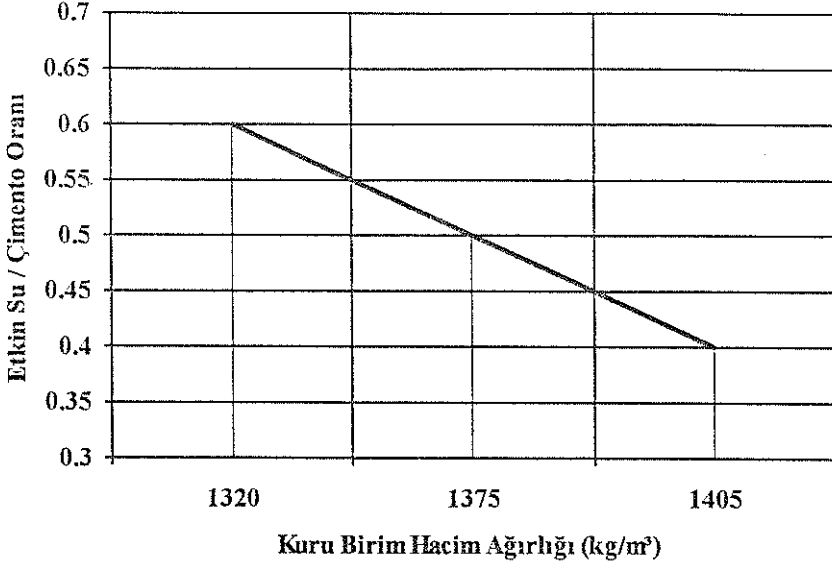
Betonun kodu	C (kg)	Kum (kg)	Hafif Agr. (kg)	Ön Emd. Suyu(kg)	Su (lt)	Yaş Birim Ağır.(kg/m ³)	28 Günlük Day.(kgf/cm ²)	Kuru Birim Ağır.(kg/m ³)
HB 0.40	350	295.2	594.60	91.55	140	1471	16.3	1405
HB 0.50	350	281.0	566.07	87.15	175	1459	12.8	1375
HB 0.60	350	264.8	533.45	82.13	210	1440	9.6	1320



Şekil 4.3 Volkanik curuf ile üretilen betonların 28 günlük dayanım - Kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi



Şekil 4.4 Volkanik curuf ile üretilen betonların etkin su /çimento oranı - 28 günlük dayanım ilişkisi

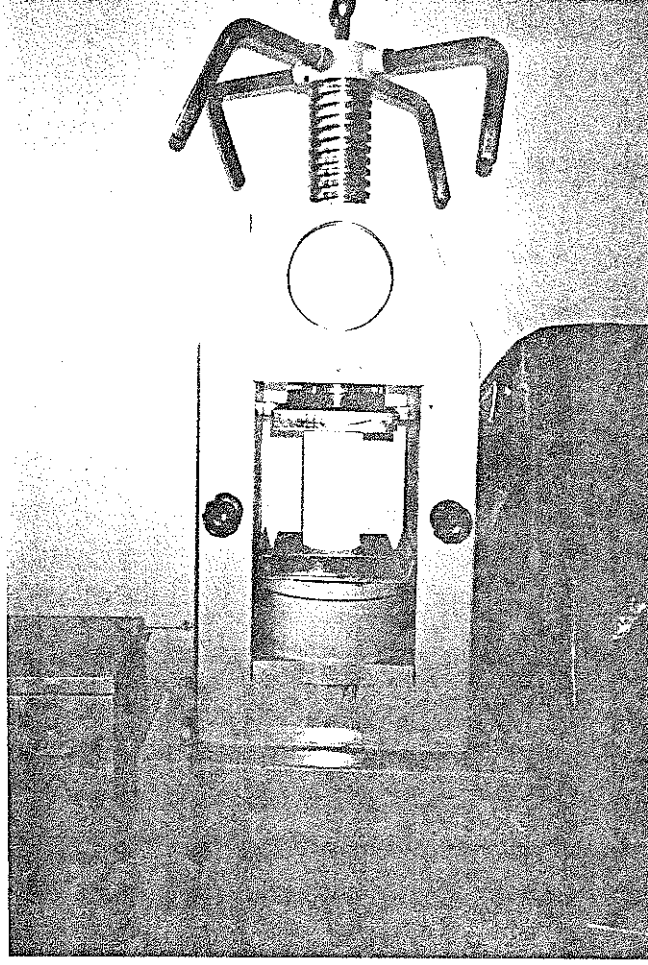


Şekil 4.5 Volkanik curuf ile üretilen betonların etkin su/çimento oranı - Kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi

4.3. Hafif Betonlar Üzerinde Yapılan Dayanım Deneyleri

Taze betonlar üzerinde yaş birim hacim ağırlık deneyi yapıldı. Sertleşmiş betonlar üzerinde kısa süreli basınç deneyleri uygulandı.

Basınç deneyleri ALSA marka 200 ton kapasiteli presde yapıldı. Deney düzeninin genel görünüşü Şekil 4.6 'de verilmiştir.



Şekil 4.6 Deney düzeninin genel görünüşü

4.4. Hafif Betonlar Üzerinde Yapılan Dayanıklılık Deneyleri

Bu çalışmada hafif betonlar üzerinde yapılan don deneylerinde hafif betonlar önemli miktarda su emmelerine rağmen donmaya karşı dayanımlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Hafif beton bünyesinin aşırı derecede boşluklu olduğu düşünülürse, her zaman için malzeme bünyesinde buz kristallerinin genişleme imkanı bulabileceği bir kuru hacim bulunabilmektedir. Bu durum Betona dona karşı güvence sağlamaktadır.

Diğer taraftan özellikle hafif agregaların su emme kabiliyetinin fazla olmasından dolayı bu betonlarda agrega taneleri ile çimento hamuru arasında daha kuvvetli bir aderans vardır. Hafif agregalı betonlarda kırılmanın, agrega

tanenin çimento hamurundan ayrılması şeklinde olmayışı, tanenin parçalanması ile meydana gelmesi bunu açıkça kanıtlamaktadır. Ayrıca önceden agregaya emdirilmiş bulunan ve agregaya tanesi boşluklarında yer alan su bir bakıma bir su deposu işlevi görür. Gerektiği zaman çimento bu boşluklardan bir miktar su emerek hidrasyon işlemini sürdürür. Bu nedenle bu tür hafif betonlar ortam şartlarından normal betonlara göre daha az etkilenmektedirler.

Hafif betonların ısı iletkenlik hesap değerleri ve ısıl genleşme katsayıları küçük olduğundan yangına karşı dayanımları normal betona göre çok yüksektir. Örneğin 12 cm kalınlıklı normal betondan imal edilmiş bir döşeme plağının belirli bir yangına karşı dayanımı 2 saat olduğu halde, hafif betondan aynı kalınlığa sahip plağın aynı yangına dayanım süresinin 4 saat olduğu görülmüştür. Aynı şekilde 650 °C 'de normal betonun dayanımında %45 mertebesinde bir düşüş olmasına rağmen hafif betonun, aynı sıcaklıkta, dayanımındaki düşüş %10 mertebesinde dir. (Durmuş ve AYTEKİN, 1986)

Hafif betonların kimyasal etkilere karşı dayanımı kullanılan agregaya bağlı olarak değişim göstermektedir. Fakat genel olarak, doğal hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonların kimyasal etkilere karşı dayanımının normal betonlarla hemen hemen aynı olduğunu söyleyebiliriz.

5. EKONOMİK ANALİZ

Hafif betonların yapının öz ağırlığını azaltması nedeniyle donatı miktarının azaldığı, betonarme elemanların kesitlerinin küçüldüğü, temel maliyetlerinin azaldığı, ısı yalıtımının arttığı ve dona karşı dayanıklılığın arttığı daha önce belirtilmişti. Kullanımı gün geçtikçe artan hafif betonların en önemli sakıncası olarak yüksek maliyet öne sürülmektedir.

Hafif betonlar üzerinde daha evvel yapılan çalışmalarda ya sadece mekanik özellikler incelenmiş, ya da mekanik özellikler yanında ısı özellikleride gözden geçirilmiştir. Fakat bu çalışmaların genelinde çeşitli hafif beton tipleri arasında ekonomik bir karşılaştırma yapılmamıştır.

Bu bölümde hafif betonların ekonomik analizi yapılırken incelenen hafif betonların karışımları ve mekanik özellikleri Türk Standartlarının ilgili yayınlarından alınmıştır. İncelenen hafif beton tipi için standart yayınlanmamışsa bu konuda daha önce yayınlanmış literatürden faydalanılmıştır. İncelenen hafif betonların ısı özellikleri ise öncelikle TS 825 'den (1989) alınmıştır. Yine bu standartta ısı özellikleri olmayan karışımların ısı özellikleri de daha evvel yayınlanmış eserlerden alınmıştır.

Hafif betonların iki bölüm halinde incelenmesi uygun görülmüştür. İlk bölümde dayanımları 5 - 6 kgf/cm² arasında değişen, sadece perlit, ferrokrom curufu ve bims gibi hafif agregalar kullanılarak kum kullanılmadan üretilmiş yalıtım betonları incelenecektir. Ayrıca gazbeton da yalıtım amacı ile kullanıldığı için aynı bölümde incelenecektir. İkinci bölümde ise dayanımları 14 - 16 kgf/cm² arasında değişen perlit, ferrokrom curufu, bims ve volkanik curuf gibi hafif agregalar beraberinde, dayanımı yükseltmek için kum da kullanılmış taşıyıcı hafif betonlar incelenmiştir.

Hafif betonların ekonomik analizi yapılırken ülkedeki enflasyon oranı göz önüne alınarak, uzun ömürlü bir ekonomik irdeleme yapabilmek amacıyla tüm fiyatlar için aynı dönemdeki BAY.BAK., (1995) birim fiyat listelerinde 16.004 Poz numarası ile verilen 300 dozlu 1 m³ demirsiz betonun fiyatı birim olarak alınmıştır.

Ekonomik analizde BAY.BAK., (1995) birim fiyat listelerinde, bims agregası ve volkanik curuf agregası gibi kullanımı yaygın olmadığı için bulunmayan agregaların kullanımları yaygınlaştıkça bu agregaları hazırlayan ocakların faaliyete geçmeye başlayacakları düşüncesiyle normal agrega fiyatından işlem yapılmıştır.

Taşıyıcı hafif betonların ekonomik analizi yapılırken daha önce karışım hesabı yapılan ve mekanik özellikleri incelenen. Volkanik curuf agregasının ısı özellikleri de TS 825 'den (1986) alınmıştır.

5.1. Yalıtım Betonlarının Ekonomik Analizi

Yalıtım betonlarının ekonomik analizinde yaklaşık aynı dayanıma sahip (5 - 7 kgf/cm²) betonların inceleneceği ve sadece bims, perlit ve ferrokrom curufu gibi hafif agrega kullanılarak üretilmiş betonlar yanında gazbeton da inceleneceği ve incelenen hafif betonların sadece hafif agrega ile bağlayıcı madde olan çimento kullanılarak üretildiği daha önce belirtilmişti. İncelemeye konu olan yalıtım betonlarının ayrı ayrı karışım oranlarını, ısı iletkenlik hesap değerlerini ve birim hacim ağırlıklarının da incelenmesi yararlı olacaktır.

5.1.1. Bimsbeton

Yalıtım amacıyla kullanılan bims betonun bu karışımı TS 3234 'den (1978) alınmıştır. Bu karışımında;

İri bims agregası : 0.585 m³

İnce bims agregası : 0.585 m³

Portlant cementosu : 0.244 ton

Su : 0.281 m³ malzemeleri kullanılmıştır.

Ayrıca yukarıdaki karışımın fiyatlarına işçilik ve betoniyer, vibratör gibi makina giderleri dahil edilmiştir. Kullanılan su miktarına karışımında kullanılan su dahil ve beton sulama suyu hariçtir. Beton sulama suyu fiyatlara ayrıca dahil edilmiştir. Elde edilen karışımın kuru birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik hesap değeri gene TS 3234 'den (1978) alınmıştır.

δ_k : 1000 kg/m³

λ_h : 0.280 kcal/mh°C olarak verilmiştir.

1 m³ bims betonun fiyatı belli olduktan sonra bu fiyat birim olarak alınan betonun fiyatına bölünerek. 1 m³ bims betonun fiyatı 0.9606 EBF olarak bulunmuştur.

5.1.2. Ferrokrom curufu ile üretilen yalıtım betonu

Yalıtım amacıyla kullanılan ferrokrom curuf betonunun bu karışımı Gül ve Geçten 'den (1993) alınmıştır. Bu karışımda;

Granüle curuf : 1.324 m³

Portlant çimentosu : 0.300 ton

Su : 0.417 m³ malzemeleri kullanılmıştır.

Ayrıca yukarıdaki karışımın fiyatlarına işçilik ve betoniyer, vibratör gibi makina giderleri dahil edilmiştir. Kullanılan su miktarına sadece karışımda kullanılan su dahildir. Beton sulama suyu fiyatlara ayrıca dahil edilmiştir. Elde edilen karışımın kuru birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik hesap değeri gene Gül ve Geçten 'den (1993) alınmıştır.

δ_k : 1396 kg/m³

λ_h : 0.520 kcal/mh°C olarak verilmiştir.

1 m³ ferrokrom curuf betonunun fiyatı belli olduktan sonra bu fiyat birim olarak alınan betonun fiyatına bölünerek. 1 m³ ferrokrom curuf betonunun fiyatı 0.7989 EBF olarak bulunmuştur.

5.1.3. Perlit betonu

Yalıtım amacıyla kullanılan perlit betonunun bu karışımı TS 3649 'dan (1982) alınmıştır. Bu karışımda;

Genleştirilmiş perlit : 1.000 m³

Portlant çimentosu : 0.300 ton

Su : 0.290 m³ malzemeleri kullanılmıştır.

Ayrıca yukarıdaki karışımın fiyatlarına işçilik ve betoniyer gibi makina giderleri dahil edilmiştir. Kullanılan su miktarına karışımda kullanılan su dahil ve beton sulama suyu hariçtir. Beton sulama suyu fiyatlara ayrıca dahil edilmiştir. Elde edilen karışımın kuru birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik hesap değeri gene TS 3649 'dan (1982) alınmıştır.

δ_k : 560 kg/m³

λ_h : 0.117 kcal/mh°C olarak verilmiştir.

1 m³ perlit betonunun fiyatı belli olduktan sonra bu fiyat birim olarak alınan betonun fiyatına bölünerek. 1 m³ perlit betonunun fiyatı 2.1425 EBF olarak bulunmuştur.

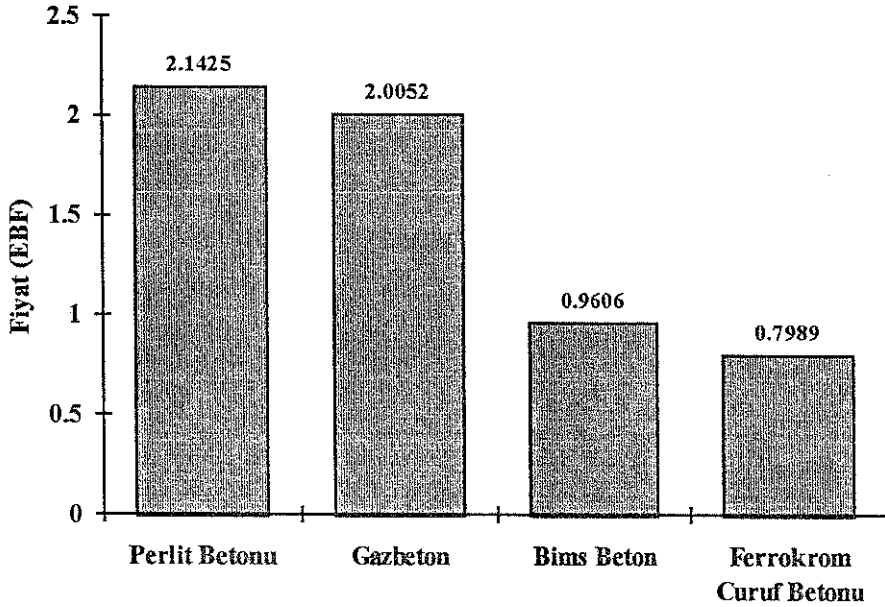
5.1.4. Gazbeton

Yalıtım amacıyla kullanılan gazbetonun 1m^3 'ünün fiyatı hesaplanırken sadece yerine yerleştirmek için harcanan işçilik giderleri ve gazbetonun fiyatı göz önüne alınmıştır. 1m^3 gazbetonun fiyatı belli olduktan sonra bu fiyat birim olarak alınan betonun fiyatına bölünerek 1m^3 gazbetonun fiyatı 2.0052 EBF olarak bulunmuştur. gazbetonun kuru birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik hesap değeri TS 453 'den (1988) alınmıştır.

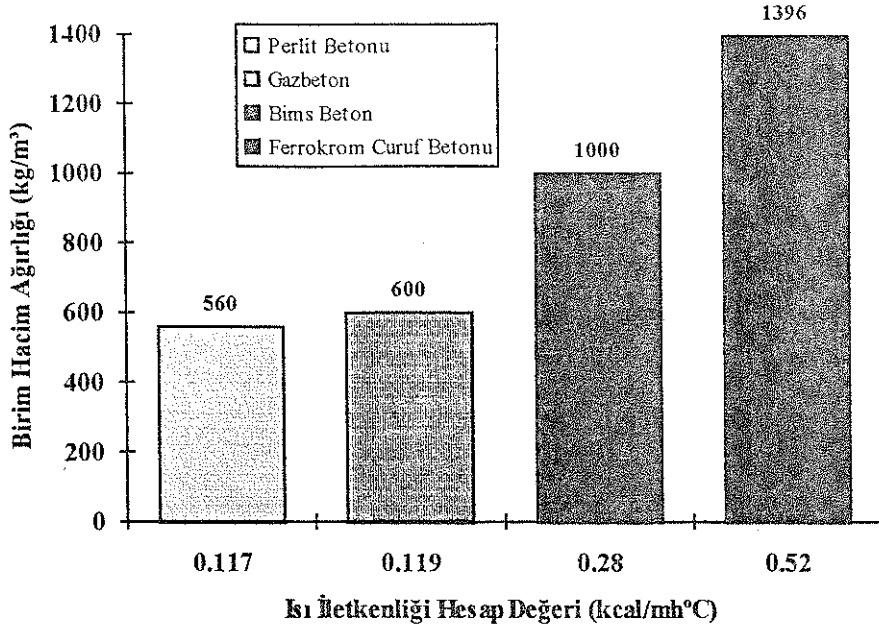
δ_k : 600 kg/m^3

λ_n : $0.119\text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ olarak verilmiştir.

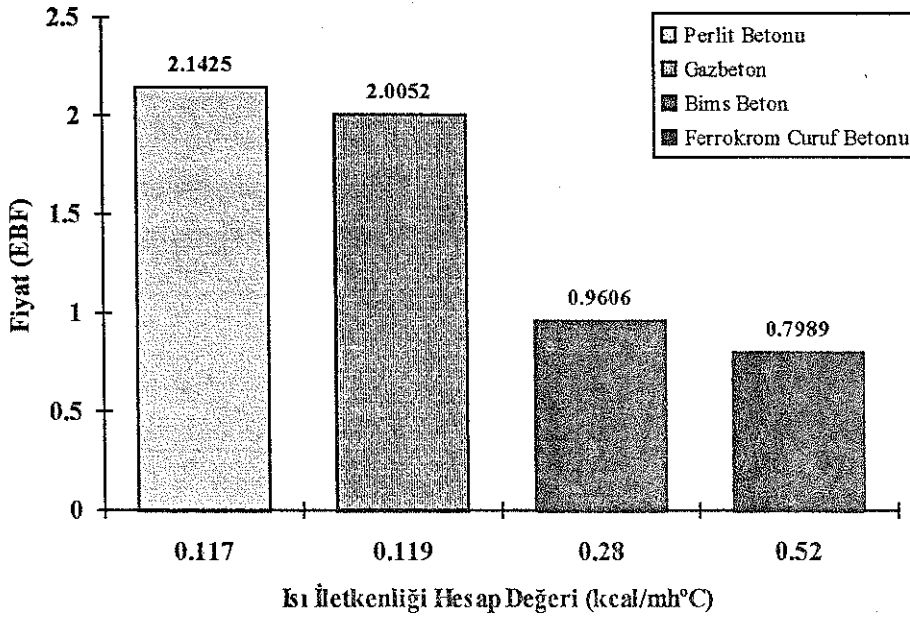
İncelenen yalıtım betonlarının birbirileri ile fiyat, birim hacim ağırlığı, ısı iletkenlik hesap değeri yönlerinden karşılaştırılmaları Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 'de görülmektedir.



Şekil 5.1 İncelenen yalıtım betonlarının fiyatları



Şekil 5.2 İncelenen yalıtım betonlarının ısı iletkenlik hesap değerinin birim hacim ağırlıkları ile bağıntısı



Şekil 5.3 İncelenen yalıtım betonlarının fiyat - Isı iletkenlik hesap değeri karşılaştırılması

5.2. Taşıyıcı Hafif Betonların Ekonomik Analizi

Taşıyıcı hafif betonların ekonomik analizinde yaklaşık aynı dayanıma sahip (14 - 16 kgf/cm²) betonların inceleneceği ve bims, perlit, ferrokrom curufu ve volkanik curuf gibi hafif agrega kullanılarak üretilmiş hafif betonların inceleneceği ve taşıyıcı hafif betonların hepsinin ince agrega olarak doğal kum kullanılarak üretildiği daha önce belirtilmişti. İncelenen taşıyıcı hafif betonların ayrı ayrı karışım oranlarının, ısı iletkenlik hesap değerlerinin ve birim hacim ağırlıklarının belirtilmesi de yararlı olacaktır.

5.2.1. Taşıyıcı bimsbeton

Taşıyıcı bims betonun bu karışımı Taşdemir 'den (1982) alınmıştır. Bu karışımda;

İri bims agregası : 1.200 m³

İnce agrega (kum) : 0.210 m³

Portlant cementosu : 0.370 ton

Su : 0.145 m³ malzemeleri kullanılmıştır.

Ayrıca yukarıdaki karışımın fiyatlarına işçilik ve betoniyer, vibratör gibi makina giderleri ayrıca dahil edilmiştir. Kullanılan su miktarına karışımda kullanılan su dahil ve beton sulama suyu hariçtir. Beton sulama suyu fiyatlara ayrıca dahil edilmiştir. Elde edilen karışımın kuru birim hacim ağırlığı gene Taşdemir (1982) 'den ve ısı iletkenlik katsayısı TS 825 'den (1989) alınmıştır.

δ_k : 1295 kg/m³

λ_h : 0.490 kcal/mh°C olarak verilmiştir.

1 m³ taşıyıcı bims betonun fiyatı belli olduktan sonra bu fiyat birim olarak alınan betonun fiyatına bölünerek. 1 m³ taşıyıcı bims betonun fiyatı 1.2134 EBF olarak bulunmuştur.

5.2.2. Taşıyıcı ferrokrom curuf betonu

Taşıyıcı ferrokrom curuf betonunun bu karışımı Gül ve Geçten 'den (1993) alınmıştır. Bu karışımda;

Granüle curuf	: 0.687 m ³
İnce agrega (kum)	: 0.570 m ³
Portlant çimentosu	: 0.300 ton
Su	: 0.250 m ³ malzemeleri kullanılmıştır.

Ayrıca yukarıdaki karışımın fiyatlarına işçilik ve betoniyer, vibratör gibi makina giderleri ayrıca dahil edilmiştir. Kullanılan su miktarına karışımda kullanılan su dahil ve beton sulama suyu hariçtir. Beton sulama suyu fiyatlara ayrıca dahil edilmiştir. Elde edilen karışımın kuru birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik katsayısı gene Gül ve Geçten 'den (1993) alınmıştır.

δ_k : 1786 kg/m³

λ_h : 0.630 kcal/mh°C olarak verilmiştir.

1 m³ taşıyıcı ferrokrom curuf betonunun fiyatı belli olduktan sonra bu fiyat birim olarak alınan betonun fiyatına bölünerek. 1 m³ taşıyıcı ferrokrom curuf betonun fiyatı 0.8941 EBF olarak bulunmuştur.

5.2.3. Taşıyıcı perlit betonu

Taşıyıcı perlit betonunun bu karışımı TS 3649 'dan (1982) alınmıştır.

Bu karışımda;

Genleştirilmiş perlit	: 1.000 m ³
İnce agrega (kum)	: 0.580 m ³
Portlant çimentosu	: 0.500 ton
Su	: 0.350 m ³ malzemeleri kullanılmıştır.

Ayrıca yukarıdaki karışımın fiyatlarına işçilik ve betoniyer gibi makina giderleri ayrıca dahil edilmiştir. Kullanılan su miktarına karışımda kullanılan su dahil ve beton sulama suyu hariçtir. Beton sulama suyu fiyatlara ayrıca dahil edilmiştir. Elde edilen karışımın kuru birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik hesap değeri gene TS 3649 'dan (1982) alınmıştır.

δ_k : 1585 kg/m³

λ_h : 0.410 kcal/mh°C olarak verilmiştir.

1 m³ taşıyıcı perlit betonunun fiyatı belli olduktan sonra bu fiyat birim olarak alınan betonun fiyatına bölünerek. 1 m³ taşıyıcı perlit betonunun fiyatı 2.5510 EBF olarak bulunmuştur.

5.2.4. Taşıyıcı volkanik curuf betonu

Taşıyıcı volkanik curuf betonunun bu karışımı yukarıda yapılan deneysel çalışmalardan alınmıştır. Bu karışımda;

Volkanik curuf : 0.990 m³

İnce agrega (kum) : 0.200 m³

Portlant çimentosu : 0.350 ton

Su : 0.140 m³ malzemeleri kullanılmıştır.

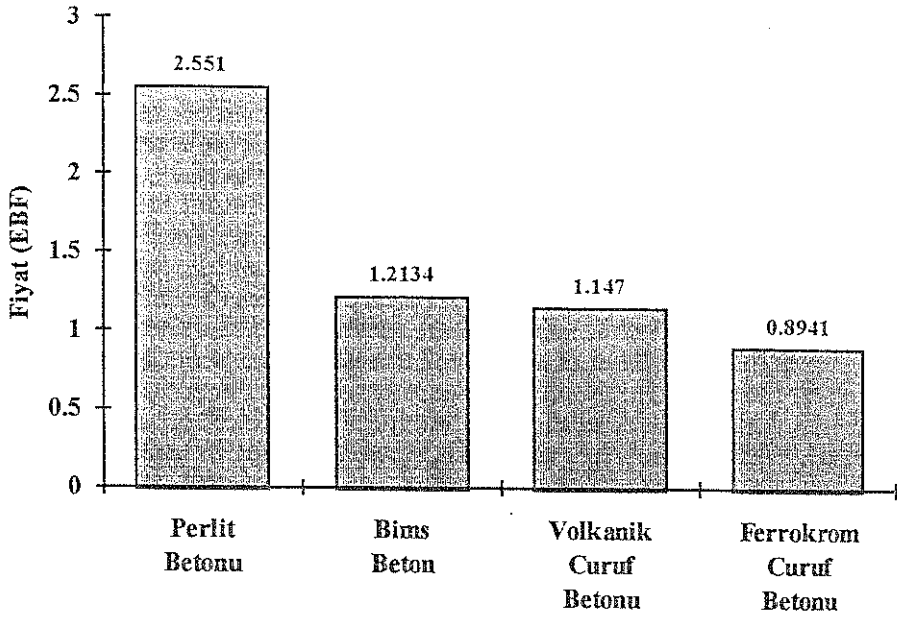
Ayrıca yukarıdaki karışımın fiyatlarına işçilik ve betoniyer gibi makina giderleri ayrıca dahil edilmiştir. Kullanılan su miktarına karışımda kullanılan su dahil ve beton sulama suyu hariçtir. Beton sulama suyu fiyatlara ayrıca dahil edilmiştir. Elde edilen karışımın kuru birim hacim ağırlığı gene deneysel çalışmalardan alınmıştır. Isı iletkenlik hesap değeri de TS 825 'den (1989) alınmıştır.

δ_k : 1405 kg/m³

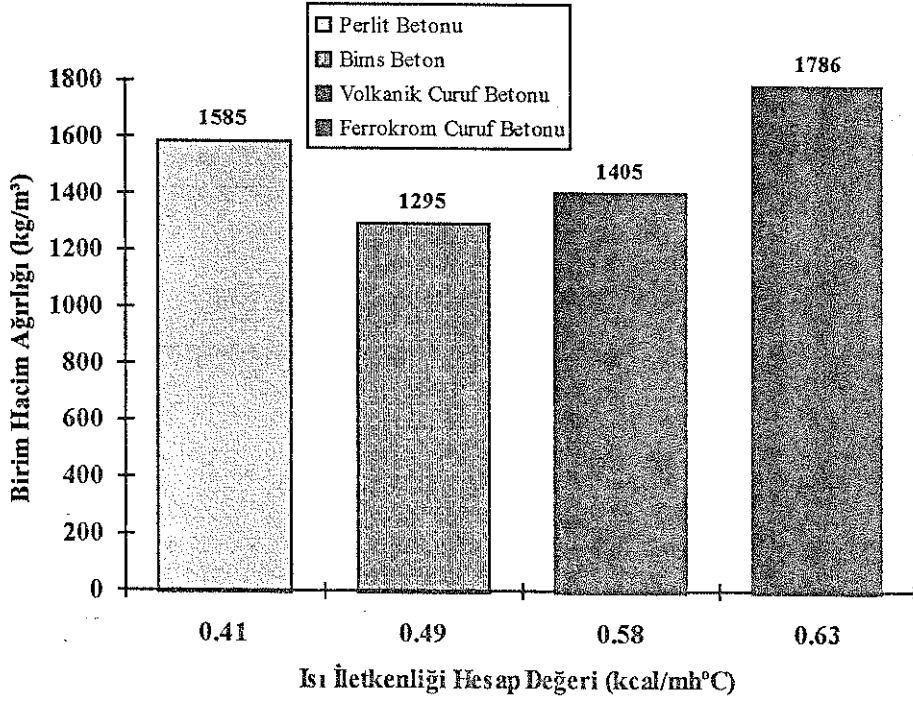
λ_h : 0.580 kcal/mh°C olarak verilmiştir.

1 m³ taşıyıcı volkanik curuf betonunun fiyatı belli olduktan sonra bu fiyat birim olarak alınan betonun fiyatına bölünerek. 1 m³ taşıyıcı taşıyıcı volkanik curuf betonunun fiyatı 1.1470 EBF olarak bulunmuştur.

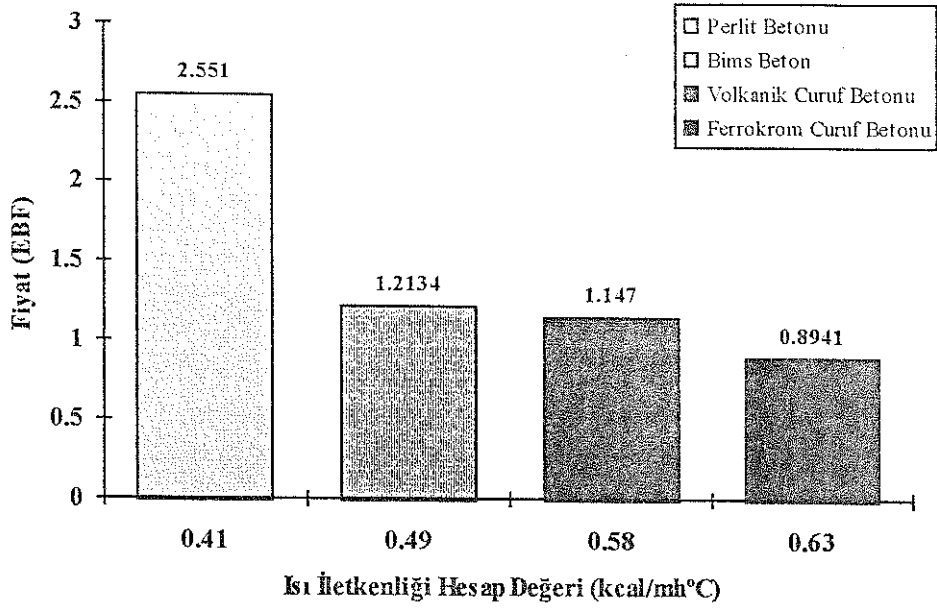
İncelenen taşıyıcı hafif betonların birbirileri ile fiyat, birim hacim ağırlığı, ısı iletkenlik hesap değeri yönlerinden karşılaştırılmaları Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 'da görülmektedir.



Şekil 5.4 İncelenen taşıyıcı hafif betonların fiyatları



Şekil 5.5 İncelenen taşıyıcı hafif betonların ısı iletkenlik hesap değerinin birim hacim ağırlıkları ile bağıntısı



Şekil 5.6 İncelenen taşıyıcı hafif betonların fiyat - Isı iletkenlik hesap değeri karşılaştırılması

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yirmi yıl içinde, hafif beton kullanımı birçok sanayi ülkesinde, özellikle Belçika, Hollanda, Almanya, İngiltere, A.B.D. ve Japonya 'da çok hızlı artmıştır. Fransa 'da da bugün kalitesi yüksek hafif agregalar imal edilmektedir.

Bugün Japonya 'da büyük köprüler ile kat adeti 8 'den fazla olan yapılar hafif beton 'dan yapılmaktadır. Bu sanayileşmiş ülkelerde hafif beton yapımında kullanılan agrega genellikle genleştirilmiş kil, şist ve perlittir.

Daha evvel belirttiğimiz özelliklerinden dolayı sanayileşmiş ülkelerin hemen hepsinde hafif betonlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapıların en önemli özelliklerinden biride, ısıya karşı yalıtkan olduklarından, ısıtılmalarında kullanılan yakıt masrafının daha az oluşudur.

Türkiye dünyanın en zengin ve en kaliteli hafif agrega malzemesi yataklarına sahiptir. Buna rağmen Türkiye 'de hafif betondan inşa edilmiş bir yapı yoktur. Bununla beraber Etibank 'ın Cumaovası-İzmir 'de kurduğu perlit işletmeleri ile ortaya koyduğu ürünler bu konuda atılmış çok önemli bir adım sayılabilir.

Sanayileşmiş ülkelerin genelinde en fazla kullanılan suni hafif agregalar olan genişletilmiş kil, genişletilmiş şist ve genişletilmiş yüksek fırın curufu gibi suni hafif agregalarla ilgili sanayi kolu ülkemizde henüz kurulmamıştır. Suni hafif agrega sanayi kurulmadan önce büyük miktarda bulunan doğal hafif agregaların değerlendirilmesi söz konusudur. Doğal hafif agregaların suni olanlara göre daha az dayanıklı oldukları bilinir. Doğal hafif agregalardan ülkemizde en yaygın olanları volkanik esaslı ponza taşı, volkanik tüf ve volkanik curufudur. Bunlardan özellikle ponza taşının Orta ve Doğu Anadolu 'da oldukça büyük rezervleri vardır. Bu hafif agregalarla su emme bakımından gerekli önlemler alınarak yalıtım betonları üretilebileceği gibi, taşıyıcı hafif ve yarı hafif betonların üretiminde olanaklıdır.

Konutlarda hafif veya yarı hafif beton kullanmakla enerji yönünden kazanç sağlanır. Doğal hafif agregaların iklimi soğuk yöreler olan Orta ve Doğu Anadolu 'da çok miktarda bulunması da iyi bir rastlantıdır. Böylece hafif agregalı beton için agreganın suni yolla üretiminde ayrıca bir enerjiye gerek yoktur. Söz konusu yörelerde konut yapımı için kurulabilecek prefabrike elemanların üretimiyle ısı tasarrufu yönünden büyük yararlar

sağlanabilir. Hafif beton yapı elemanlarının sağlayacağı ekonomi yanında kendi ağırlığının azalması, dolayısı ile deprem kuşağında olan bu yörelerde daha hafif ve güvenli yapılar üretilebilir.

Türkiye yüzölçümünün (781000 km²) yaklaşık 1/5 'ini volkanik kayalar oluşturmaktadır. Bu bakımdan Türkiye hafif agrega malzemesi yönünden çok zengindir. Ancak Türkiye 'nin bugün içinde bulunduğu ekonomik koşullar açısından, ilk uygulamalarda hafif agrega olarak, doğal genişmiş bir perlit olan, ponzanın veya diğer volkanik curufların kullanılması daha uygundur.

Hafif betonların birim hacim ağırlığı, normal betondan çok az olduğundan dolayı hem kesitler küçülür hem de betonarme elemanların donatısı azalır. Bu şekilde sağlanan ekonomi hakkında bir fikir vermek için Hollanda da hafif betondan yapılan Tholen köprüsüne ait şu bilgi verilmektedir. Bu köprünün yapımında 1100 m³ hafif beton kullanılmıştır. Hafif betonun üretimi için bir miktar fazla para sarfedilmiş ise de, ağırlığın azalmasından dolayı çelikten 120 ton ekonomi sağlanmış ve hafif beton için sarfedilen fazla para çıkıldıktan sonra 260000 florinlik bir kazanç sağlanmıştır.

Hafif betonların elastisite modülü, normal betonun elastisite modülünün yarısına eşittir. Bu da hafif beton kirişlerin normal betondan yapılanlara göre çok daha fazla sehim yapacağını gösterir.

Hafif betonun sıcaklık genişleme katsayısı, normal betonun sıcaklık genişleme katsayısından yaklaşık %25 daha azdır. Bu nedenle hafif betonlarla imal edilmiş hiperstatik yapıların sıcaklık değişiminden etkilenmesi önemli derecede azalır.

Hafif betonların ısı iletkenliği, kullanılan agregaya, birim hacim ağırlığına ve su muhtevasına bağlı olmakla birlikte normal betonun ısı iletkenliğinden çok düşüktür.

Hafif betonların rötresi, normal betonun rötresinden %25 daha fazladır. Ancak agregalar şekil değiştirmeye daha fazla yatkın olduklarından rötre etkisiyle çatlama ihtimali daha azdır.

Hafif betonlar, önemli miktarlarda su emmelerine rağmen donma dayanımları yüksektir. Zira suya doygun olmayan çok sayıda gözeneğe sahip olmalarından dolayı zarar görmeden buzlanma genişlemesine imkan vermektedirler. Hafif betonlar, ısı iletkenlikleri düşük olduğundan, kışın

beton dökümü için de uygundur. Çünkü, çimento prizinden dolayı ortaya çıkan ısıyı normal betona göre daha uzun süre muhafaza ederler.

Hafif betonların dinamik etkiler altındaki davranışı; dalga yayılma hızı normal betondan %25 daha yavaştır. Titreşimleri daha az iletir. Şok etkilerini daha iyi absorbe eder.

Hafif betonlarda, beton dökümü sırasında donatı çevresinde boşluk oluşma ihtimali normal betona nazaran daha yüksek olduğundan aderansda azalma meydana gelmektedir. Bu nedenle hafif betonlarda daha büyük bir ankraj boyu kullanılması tavsiye edilmektedir.

Çalışmada incelenen volkanik curuf hafif agregasının çeşitli karışımlarından elde edilen betonlarda, düşük su / çimento oranına sahip olanların taşıyıcı betonlardan beklenebilecek ölçüde dayanıma sahip oldukları gözlenmiştir. Ayrıca su / çimento oranı yükseldikçe yalıtım betonu olarak kullanılabilir hafif betonlar elde edilebileceği gözlenmiştir. Zaten şu anda Elazığ ve yöresinde volkanik curuf dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Yapılarda volkanik curuf hafif agregası kullanılmakla yapı öz ağırlığında % 25-30 azalma oluşacağı görülmüştür.

Muhakkak ki agrega olarak volkanik curuf hafif agregasının kullanılması ile ısı ve ses yalıtımı da önemli ölçüde sağlanabilir.

Ekonomik olarak da volkanik curuf hafif betonunun diğer taşıyıcı hafif beton çeşitleri yanında oldukça ucuz olduğu hatta neredeyse fiyatının normal betona eşit olduğu görülür. Volkanik curufun agrega olarak kullanılmasında dikkat edilecek tek husus yerleştirme ve kür şartlarıdır.

Bütün sonuçlar volkanik curuf agregasının taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilir bir malzeme olduğunu göstermekte olup kullanılması ülkemizin yeraltı kaynaklarının değerlendirilmesi açısından da faydalı olacaktır.

Ekonomik olarak incelediğimiz ferrokrom curufu kullanılarak üretilmiş betonların ısı ve mekanik özelliklerinin yanında birim hacim ağırlıklarında da evvel belirtmiştik. Elde edilen sonuçlar Elazığ ferrokrom işletmesi granüle curufunun hafif beton yapımında kullanılmasının yapılarda; emniyet ve ekonomi bakımından büyük yararlar sağlayacağını ve çevre kirlenmesini önemli ölçüde önleyeceğini göstermektedir.

Ferrokrom granüle curufu kullanılarak üretilen hafif betonların genellikle birim hacim ağırlığının ve ısı iletkenlik hesap değerinin, diğer hafif beton çeşitlerine göre, oldukça yüksek olduğunu görülmüştür. Ancak tam

aksine ferrokrom granüle curufu kullanılarak üretilen betonların fiyatları çok düşüktür. Bunun sebebi ise atık malzeme durumundaki granüle curuf için işletmenin herhangi bir ücret talep etmemesidir. Genel olarak normal betonların hafif betonlardan daha ucuz olduğu bilindiği için ferrokrom granüle curufu kullanılarak üretilen hafif betonların normal betonlardan daha ucuza mal olması dikkat çekicidir.

Kullanılan granüle curuf, kum ve çimento oranlarını değiştirerek kullanım amacına göre yalıtım, orta dayanımlı ve taşıyıcı hafif beton elde edilebilir.

Ayrıca atık madde olan granüle curuf, bu şekilde değerlendirilerek faydalı hale getirilebilir. Üretim işlemleri sırasında ortaya çıkan bu atıkların uzaklaştırılması ve depolanması işletmeler için büyük bir problemdir. Bir başka sorun ise bu atıklardaki ağır metaller gibi zararlı maddelerin atmosfer şartlarında yeraltı sularını ve toprağı kirletmesidir. Bu da ferrokrom granüle curufunun hafif beton üretiminde kullanılmasının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Ekonomik, mekanik ve ısı özelliklerini incelediğimiz perlit betonunun özellikle taşıyıcı olarak üretilmesinin zorluğu hatta imkansızlığı daha önce belirtilmişti. Perlit betonları çok rötre yapan, dayanımı düşük, aşırı derecede su emen, sünme deformasyonları yüksek betonlardır. Ayrıca kullanılan perlit agregasının ufalanmaya yatkınlığı istenen birim hacim ağırlığını elde etmeyi zorlaştırmaktadır.

Yukarıda belirtilen özelliklerinden dolayı perlit betonunun incelenen diğer hafif betonlara göre çok iyi ısı özelliklere sahip olmasına rağmen fiyatının yüksekliği büyük bir dezavantajdır. Orta dayanımlı bir hafif beton elde etmek için uygulanan karışım hesabı sonucunda ulaşılan birim hacim ağırlığının yüksekliği de dikkat çekicidir.

Ponza hafif agregası kullanılarak üretilen bimsbetonlar genellikle arzulanan özelliklerde betonlardır. Fiyatları normal betonlardan çok az fazladır. İstenilen dayanım, karışım ayarlamalarıyla elde edilebilir. Ponza hafif agregası kullanılarak yalıtım ve orta dayanımlı betonlar elde edilebilir. Bims betonların ısı iletkenlik hesap değeri de diğer hafif betonlara nazaran oldukça düşüktür.

Gazbeton prefabrike bir eleman olduğu için üretim esnasındaki kontrol çok daha mükemmel bir şekilde fabrikada yapılmaktadır. Diğer hafif beton

çeşitlerinde olduğu gibi karıştırma, yerleştirme ve kür şartlarına özen gösterilmesiyle harcanan emek harcanmamaktadır.

Ayrıca gazbetonun testere gibi kesici aletlerle kesilip, istenen şeklin verilebilmesi de gazbetonun çok önemli bir özelliğidir.

Gazbetonun birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik hesap değerinin oldukça düşük olmasına rağmen fiyatının çok yüksek olduğunu görülmüştür. Gazbetonun istenilen şeklin verilmesi ve bloklar halinde satılması gibi özelliklerinden dolayı, taşıyıcı olmayan duvarların yapılması için en uygun malzeme olarak görülmektedir. Taşıyıcı eleman olarakta kullanılabilen donatılı gazbeton çatı plakları varsa da yüksek su emme değeri nedeniyle içindeki donatının korozyonu önlenememektedir. Ayrıca döşemelerde asmolen blok olarak ülkemizin batı bölgelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Sonuç olarak Türkiye 'nin hali hazırdaki durumu da göz önünde tutularak hafif beton olarak ya sanayi atıkları ya da doğal kaynaklar kullanılarak üretilen betonların tercih edilmesi gerekmektedir. Ayrıca kullanıcının iyi bir ön araştırma yapıp hafif betonun arzulanan özelliklerine göre malzeme seçilmesi gerekir.

KAYNAKLAR

- A.C.I. COMMITTEE, 211., (1968). **Recommed Practice For Selecting Proportions For Structural Lightweight Concrete.** A.C.I. Journal. Detroit.
- A.C.I. COMMITTEE, 213., (1970). **Guide For Structural Lightweight Aggregate Concrete.** A.C.I Journal. Paris.
- A.S.T.M., C330-69. **Standart Specifications For Lightweight Aggregates For Structural Concrete.** American Society for Testing and Materials. Philadephia.
- AKMAN, M.S., ve TAŞDEMİR, M.A., (1977). **Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu.** I. Ulusal Perlit Kongresi. Ankara.
- AKPINAR, F., (1988). **Volkanik Curufun yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi.** Yüksek Lisans Tezi. F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ.
- BAYAZIT, Ö.L., (1980). **Tunç Bilek Uçucu Küllerinin Betonun Fiziko - Kimyasal Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi.** Doktora Tezi. A.D.M.M.A. İnşaat Fakültesi. Ankara.
- BAYINDIRLIK BAKANLIĞI, (1995). **Yapı İşleri Birim Fiyat Tarifleri Eki Fiyat Listesi.** İller Bankası Vakıf Matbaası. Ankara.
- BORHAN, B., (1986). **Ytong El Kitabı.** Ytong Yayınları. 4.Baskı. Ankara
- BİZDEN, A., (1977). **Hafif Agrega İle Yapılan Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesabı Metotlarının Analizi.** TÜBİTAK VI. Bilim Kongresi. Ankara. .

- ÇETMELİ, E., (1974). **Yeni Alman Betonarme Şartnamesi (DIN 1045, 1972) Betonarme Hesap Esasları, Kesitlerin Boyutlandırılması Ve Donatının Yerleştirilmesi.** Uluğ Kitabevi. İstanbul.
- CİLASON, N., ve BALTA, İ., (1993). **Perlit Beton.** İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler I. Teknik Kongre. Gazi Magusa. K.K.T.C.
- DURMUŞ, A., ve AYTEKİN, M., (1986). **Betonarme İnşaatta Hafif Betonlar.** İ.M.O. İzmir Şubesi Haber Bülteni. Sayı: 8. İzmir.
- FRITZ, L., (1975). **Vorlesungen Über Massivbau. Zweiter teil.** Springer-Verlag. Berlin.
- GÜL, R., ve GEÇTEN, O., (1993). **Elazığ Ferrokrom İşletmesi Granüle Curufunun Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması.** Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu. Ankara.
- NEVILLE, A.M., (1975). **Properties Of Concrete.** Pitmann Publishing. London.
- POSTACIOĞLU, B., ve BORA, E., (1984). **Doğal Hafif Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonlar Ve Bunların Betonarme Yapılarda Kullanılma Olanakları.** Kuzeydoğu Anadolu I. Ulusal Deprem Simpozyumu. Erzurum.
- TAŞDEMİR, M.A., (1982). **Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik Ve Elastik Olmayan Davranışları.** Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi. İstanbul.
- TÜRK STANDARTLARI, (1965). **Beton Döşeme Plakları.** (TS 213) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1969). **Doğal Yapı Taşları Muayene Ve Deney Esasları.** (TS 699) T.S.E. Ankara.

- TÜRK STANDARTLARI, (1974). **Çimentoların Fiziksel Muayene Metotları.** (TS 24) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1977). **Doğal Yapı Taşları.** (TS 2513) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1977). **Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları.** (TS 2511) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1978). **Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı Ve Deney Metotları.** (TS 3234) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1979). **Hafif Agregalı Yalıtım Betonu Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini.** (TS 3289) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1981). **Beton Agregalarında İnce Madde oranı Tayini.** (TS 3527) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1982). **Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini.** (TS 3673) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1982). **Perlitli Isı Yalıtım Betonu Yapım - Uygulama Kuralları Ve Deney Metotları.** (TS 3649) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1986). **Bims Betondan Mamul Yapı Elemanları.** (TS 2823) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1986). **Hafif Agregalar - Beton İçin.** (TS 1114) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1988). **Gaz Ve Köpük Beton Yapı Malzeme Ve Elemanları.** (TS 453) T.S.E. Ankara.
- TÜRK STANDARTLARI, (1989). **Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.** (TS 825) T.S.E. Ankara.

YILDIRIM, H., (1989). Yarı Hafif Betonun Az Tekrarlı Yük Altındaki Davranışına Bileşimin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.