

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

+ PONZA BETONDA FİZİKSEL ve MEKANİK
ÖZELLİKLER ARASINDAKİ İLİŞKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş Müh. Cem OĞUZ

T145/1-1

Anabilim Dalı : İNŞAAT
Program : YAPI

Akdeniz Üniversitesi
Rektörlüğü Kütüphanesi
Demirbaş No. 4949

ŞUBAT 1989

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PONZA BETONDA FİZİKSEL ve MEKANİK
ÖZELLİKLER ARASINDAKİ İLİŞKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Cem OĞUZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 1. Şubat 1989

Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Şubat 1989

Tez Danışmanı

: Yrd.Doç.Dr. Fikret TÜRKER

Diğer Jüri Üyeleri

: Yrd.Doç.Dr. Ömer DEMİR

Yrd.Doç.Dr. Adnan KUYUCULAR

ŞUBAT 1989

ÖNSÖZ

Dünya ülkelerinin çoğunda hafif betonlar konusuna verilen önem gün geçtikçe artmakta, bu konudaki araştırma ve uygulamalarda yaygınlaşmaktadır. Yurdumuzda da hafif betonlara ilişkin olarak yapılmış bazı araştırmalar ve uygulamalar bulunmakta ise de, bu konuya verilen önem yeterli düzeye erişmemiştir. Bu bakımdan değişik yöntemler uygulanarak ve çeşitli yapay hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif beton endüstrisinin geliştirilmesi yanında, özellikle çeşitli bölgelerimizde bol miktarda bulunan doğal hafif agregaların bilimsel yöntemlerle incelenerek, değerlendirilmesi ve hafif betonların uygulama alanlarının genişletilmesi olanaklarının bulunması gerekmektedir.

Bu çalışma Isparta'dan sağlanan ponza taşı ile üretilen hafif betonların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri saptamak amacıyla yapıldı. Araştırmadan elde edilen sonuçların ve izlenen yöntemlerin bu konuda araştırma yapacaklara ve uygulayıcılara yararlı olacağı umulmaktadır.

Araştırmamda görüş ve deneyimlerini esirgemeyen değerli hocam, Sayın Yard.Doç.Dr.Fikret TÜRKER'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, deneylerde yardımcı olan İnşaat Teknisyenleri Hüseyin YALDIZ ve Hüseyin ŞAHİN'e, tezin yazımında emeği geçen Akdeniz Üniversitesi Rektörlüğü memurlarından Nuray YARAN'a teşekkür ederim.

ISPARTA

Şubat, 1989

Cem OĞUZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ŞEKİL DİZİNİ	VI
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
1. GİRİŞ	1
2. HAFİF AGREGALI BETONLAR	3
2.1 Hafif Betonların Sınıflandırılması	3
2.2 Ülkemizin Hafif Agregası Bakımından Durumu	5
2.3 Hafif Betonların Yararları	6
2.4 Hafif Agregası Olarak Ponza Taşı	7
2.5 Hafif Agregalı Beton	8
2.5.1 Taşıyıcı Hafif Agregalı Beton	8
2.5.1.1 Taşıyıcı Hafif Betonun Avantaj ve Dezavantajları	10
2.5.1.2 Taşıyıcı Hafif Betonun Uygulama Alanları	11
2.5.1.3 Taşıyıcı Hafif Betonun Kullanılabilirliği	12
2.5.2 Yalıtım Amaçlı Hafif Agregalı Betonlar	13
2.6 Hafif Agregalı Betonun Karışım Esasları	15
2.6.1 Karışım Oranları	15
2.6.1.1 En Büyük Tane Boyutu	15
2.6.1.2 Su Oranı	16
2.6.1.3 Çimento Oranı (Dozaj)	16
2.6.1.4 Agregası Miktarları ve Oranları	18
2.6.1.5 Hava Katkısı	18
2.6.1.6 Birim Ağırlık	19

2.6.1.7	Karışımındaki Malzeme Oranlarının Saptanması	19
2.6.2	Betonun Üretim	20
2.6.2.1	Karıştırma	21
2.6.2.2	Taşıma Yerleştirme	21
2.6.2.3	Bakım (kür) ve Kontrol	22
2.7	Hafif Agregalı Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	23
2.7.1	Yoğunluk	23
2.7.2	Basınç Dayanımı	24
2.7.3	Çekme Dayanımı	29
2.7.4	Elastisite Modülü ve Poisson Oranı	30
2.7.5	Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi	34
2.7.6	Çatlak Gelişimi ve Kırılma	37
2.7.7	Rötre	43
2.7.8	Sünme	45
2.7.9	Isı İletkenliği	46
2.7.10	Su Emme ve Su Geçirimsizliği	47
2.7.11	Ultrases Hızı	47
3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	52
3.1	Kullanılan Malzemeler	52
3.1.1	Agrega	52
3.1.1.1	Birim Hacim Ağırlık Deneyi	53
3.1.1.2	Su Emme Miktarı	53
3.1.2	Çimento	53
3.1.3	Su	54
3.1.4	Katkı Maddeleri	54
3.2	Beton Bileşim Hesapları	54
3.2.1	Kabul Ediler Esaslar	54
3.2.2	Bileşim Hesapları	56
3.2.3	Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme, Kür	57
3.2.4	Numune Boyutları, Sayıları ve Kullanıldığı Deneyler	59

3.3	Betonlar Üzerinde Yapılan Deneyler	59
3.3.1	Taze Beton Deneyleri	59
3.3.1.1	Abrams Konisi Çökme (Slamp) Deneyi..	59
3.3.2	Sertleşmiş Beton Deneyleri	59
3.3.2.1	Ultrases Geçiş Süresi	60
3.3.2.2	Basınç Dayanımı	60
3.3.2.3	Özgül Ağırlık	60
3.3.2.4	Su Emme Değeri	61
3.3.2.5	Birim Hacim Ağırlık	61
3.3.2.6	Komposite-Porozite	61
4.	DENEY SONUÇLARI	63
5.	SONUÇLAR	82
	KAYNAK DİZİNİ	84
	ÖZGEÇMİŞ	92

ŞEKİL DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1- Hafif ve Normal Betonun Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması	31
2- Hafif Agregalı Betonda, Elastisite Modülünün Yoğunlukla Değişimi	31
3- Basınç Altında Normal Agregalı Betonun Deformasyonu (Poisson etkisi)	31
4- Basınç Altında Hafif Agregalı Betonun Deformasyonu (Poisson etkisi yok)	31
5- Normal ve Hafif Agregalı Betonlarda, Basınç Gerilmesi ile Hacim Değişimi	32
6- Normal ve Hafif Agregalı Betonlarda Birim Deformasyon-Basınç Gerilmesi İlişkisi	33
7- Elastisite Modülü-Basınç Dayanımı İlişkisi	33
8- Basınç Gerilmesi-Deformasyon Eğrileri	37
9- Hafif Betonun Kırılmasının Modelle Açıklanması	42
10- Tek Eksenli Çekme ve Basınca Maruz Betonda Agreganın Normal veya Hafif Olması Durumuna Göre Oluşan Kırılma Çizgilerinin Görünüşü	40
11- Betonda Artan Basınç Gerilmesi Altında Çatlak Gelişimi ve Kırılma	44
12- Basınç Mukavemeti ile Ultrases Hızı Bağlantısına Ortalama Hafif Agregat Boyutunun Etkisi	49
13- Basınç Mukavemeti-Ultrases Hızı Bağlantısına Su/Çimento Oranının Etkisi	51

14-	Ultrases Hızının Birim Ağırlığına Göre Değişimi ..	51
15-	Hafif Agregalı Granülometri Eğrisi	52
16-	Dozaj - Basınç Dayanımı İlişkisi	75
17-	Hafif Betonda Basınç Dayanımı - Su/Çimento İlişkisi	75
18-	Yarı Hafif Betonda Basınç Dayanımı - Su/Çimento İlişkisi	76
19-	Yarı Hafif Betonda Basınç Dayanımı - Su/Çimento İlişkisi	76
20-	Yarı Hafif Betonda Basınç Dayanımının Normal Agreganın İnce veya İri Olmasına Göre Değişimi ...	77
21-	Hafif Agregalı Betonda Basınç Dayanımının Katkı Maddesine Göre Değişimi	77
22-	Kompasite - Basınç Dayanımı İlişkisi	78
23-	Kompasite - Dozaj İlişkisi	78
24-	Su Emme Değeri - Su/Çimento İlişkisi	79
25-	Su Emme Değerinin Yarı Hafif Betonlarda Değişimi..	79
26-	Su Emme Değerinin - Dozajla İlişkisi	80
27-	Su Emme Değerinin - Katkı Maddesiyle Değişimi	80
28-	Birim Hacim Ağırlık-Su/Çimento İlişkisi	81
29-	Ses Geçiş Hızı-Dozaj İlişkisi	81

ÖZET

Son yıllarda, özellikle ısı izolasyonu ve öz ağırlığı bakımından normal betona nazaran avantajlara sahip olan hafif beton, gittikçe artan bir biçimde kullanılma alanı bulmaya başlamıştır. Gerçi ülkemizde yeni bir yapı olmasına rağmen, ülkemizin potansiyeli hafif beton üretiminin yaygınlaşması açısından oldukça müsaittir.

Bu çalışmada aynı granülometride, farklı dozajda, en büyük agregâ boyutu 19,1 mm olan, katkılı ve katkısız hafif beton üretildi. Hafif agregâ sürekli granülometrisinin çeşitli bölümleri normal agregâyla değiştirildi. Üretilen hafif beton numuneler üzerinde çeşitli deneyler yapıldı. Bu deneyler sonucunda hafif betondaki fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler karşılaştırıldı.

SUMMARY

In recent years, the lightweight concrete which has advantages according to the ordinary concrete especially in respect to thermal insulation and gravity properties, has been used widely. Although, Turkey has an important potential in production of lightweight concrete which is a new building material for Turkey.

In this study, at the same granulometer, different dosing whose largest aggregate dimension is 19,1 mm. mixed material and none mixed material lightweight concrete has been produced. Different parts of continuous granulometer of Lightweight aggregate was changed with normal aggregate. Various experiments were applied on produced lightweight concrete samples. As a result, in lightweight concrete the relations between physical and mechanical properties were compared.

1. GİRİŞ

Normal beton İnşaat Mühendisliğinde çok yaygın uygulama alanı bulunan bir malzemedir. Bu beton iyi bir taşıyıcı olmasına karşın birim ağırlığı büyüktür, dolayısıyla ısı iletkenlik katsayısı yüksektir. Yapıdaki ölü yük değeri oldukça fazla boyutlara ulaşmaktadır. Normal betonun birim ağırlığının azaltılmasıyla betonarme elemanın kendi ağırlığını düşürüp ekonomi sağlamak olanaklıdır. Beton birim ağırlığının azaltılması ise başlıca üç yolla yapılır (1), (2).

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

Görüldüğü gibi günümüzde çok kullanılmakta olan hafif betonları üretmek için beton içinde çeşitli yöntemlerle boşluk oluşturmak genel kuraldır. Ancak boşluk oluşturma ya harç içinde veya iri agregada daneleri arasında veya agreganın içinde yapılır (4).

Hafif betonlar öncelikle ekonomik olmaları nedeniyle kullanılırlar. Bu betonların üstünlükleri yanında bazı sakıncaları da vardır. Hafif betonların üstünlükleriyle sakıncaları şöyle özetlenebilir (4):

Üstünlükleri

- a) Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur, üretim ve yerleştirme kolaylaşır.

- b) Hafif betonla üretilen elemanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle yapı yükleri azalır, bu azalma ile sömeller ve diğer yapı elemanları daha küçük boyutlarda yapılabilirler.
- c) Isı yalıtımları yüksektir.
- d) Yangın bakımından da normal betona göre daha elverişlidirler.
- e) Taşıyıcı olmayan prefabrike elemanlarda ise hafif beton kullanılabilir. Bu sayede beton kendi içinde sıcak ve soğuğa karşı izolasyon niteliğine sahip olmaktadır.

Sakıncaları

- a) Boşluklu olmaları nedeniyle dayanımları düşüktür. Bu nedenle birçok yüksek dayanımlı beton uygulamalarında tercih edilen bir malzeme değildir.
- b) Aşınmaya karşı dayanıksızdırlar.
- c) Rutubete karşı yalıtım gereklidir.
- d) Hafif betonların elastiklik modüllerinin düşük olması nedeniyle sünme bir dereceye kadar yüksektir. Ancak bu durum tam anlamıyla doğrulanmış değildir (1). Sabit yük altındaki uzun süreli davranış özellikle kullanılan agreganın rijitliği ile ilgilidir. Agreganın rijitliğinin azalması sünmeyi arttırdığı gibi sabit yükü uygularken de oluşan ani şekil değiştirmeyi de arttırır. Bileşimleri aynı olan hafif betonun rötresi normal betona göre daha fazladır. Bununla beraber, hafif beton düşük elastiklik modülüne ve yüksek değerlerde "Çekme Mukavemeti/Basınç Mukavemeti" oranına sahip olması nedeniyle rötre süresince çatlama meydana gelme olasılığı daha düşüktür (3).

2. HAFİF AGREGALI BETONLAR

Hafif agregalı ve hafif betonların genel özellikleri ile araştırma materyalini oluşturan doğal hafif agregaların ve bunlarla üretilen çeşitli betonların önemli özellikleri, uygun karışım oranlarının saptanması, yapım tekniği ve kontrol koşulları konusundaki literatürün gözden geçirilmesinde yarar vardır.

2.1 Hafif Betonların Sınıflandırılması

Hafif betonların sınıflandırılması, genellikle hem birim ağırlık, hem de mukavemet koşuluna göre yapılmaktadır. Yalıtım betonlarından taşıyıcı olanlara kadar bütün hafif betonların özellikle birim ağırlık bakımından sınıflandırılmasında değişik kabuller vardır (4).

Birim ağırlıkları 1840 kg/m^3 'ü geçmeyen ve 28 günlük silindirik basınç mukavemeti 17 N/mm^2 'yi aşan betonlar hafif beton sınıfına girerler (5).

Ancak ülkemizde ve diğer bazı ülkelerin standartlarında hafif beton birim ağırlığının 1900 kg/m^3 'e kadar çıkmasına izin verilir (6), (7). Genel olarak hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı $300\text{--}1800 \text{ kg/m}^3$ 'dür (1). 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. Mukavemetleri $7\text{--}17 \text{ N/mm}^2$ arasında olan betonlar yalıtım betonu ile orta mukavemetli beton sınıfına girerler (1), (8).

Hafif betonları fonksiyonlarına göre üç gruba ayırmak olanaklıdır (1), (2), (9).

- a) Yalıtım betonları
- b) Orta mukavemetli betonlar
- c) Taşıyıcı betonlar

DIN 1045 (10)'a göre betonlar birim ağırlıklarına göre şöyle sınıflandırılabilir:

Hafif betonlar : Birim ağırlık $< 2000 \text{ kg/m}^3$

Normal betonlar : $2000 \text{ kg/m}^3 \leq \text{birim ağırlık} \leq 2800 \text{ kg/m}^3$

Ağır betonlar : Birim ağırlık $> 2800 \text{ kg/m}^3$

Diğer taraftan yine birim ağırlıklarına göre bütün betonların sınıflandırılması şu şekilde de yapılır (9):

1°. Birim ağırlığı $400-1800 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlar hafif betondur. (TS 2823 (11)'de alt sınır 1000 kg/m^3 (B40) ve üst sınır 1300 kg/m^3 (B160), DIN 1045 (10)'de ise hafif betonların birim ağırlığı $300-2000 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir.)

2°. Birim ağırlığı $1800-2000 \text{ kg/m}^3$ arasında olanlar ne hafif ne de normal betonlardır (8). Bazı yayınlarda olduğu gibi bu aralıktaki betonlara yarı hafif beton adı verilebilir (12), (13), (14). Alman literatüründe (12), (13) çoğunlukla "hafif normal beton" diye geçen taşıyıcı yarı hafif betonların birim ağırlığı $2000-2100 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Bu değerler, yukarıda görüldüğü gibi DIN 1045'deki normal betonun alt sınırıdır.

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

Bu çalışma için hafif betonun birim ağırlığı 1900 kg/m^3 'den küçük olduğu kabul edilmiştir.

Taşıyıcı hafif beton üretiminde en çok başvurulan yöntem hafif agrega ile birim ağırlığı istenen düzeyde tutmaktır. Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregalar beş ana grupta toplanabilir (15), (16).

a) Doğal hafif agregalar : Ponza taşı, volkanik tüf, cüruf

b) Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar :

Genişletilmiş kil, şist ve arduvaz.

- c) Endüstriyel artıklardan oluşan hafif agregalar : Curuf, uçucu kül.
- d) Endüstriyel artıkların işlenmesiyle üretilen hafif agregalar Genişletilmiş curup, kızdırılmış uçucu kül.
- e) Organik hafif agregalar : Hububat danecikleri, ağaç parçacıkları gibi malzemeler.
- f) Polimer kökenli malzemeler, stiropor.

Hafif agregaları birim ağırlıkları bakımından kullanım alanlarına göre şöyle sınıflandırmak olanaklıdır (4), (8).

Hafif Agreganın Birim Ağırlığı (kg/m ³) Δ_a	Üretilen Betonun Türü
$\Delta_a < 400 \text{ kg/m}^3$	Yalıtım betonu
$400 \text{ kg/m}^3 \leq \Delta_a < 650 \text{ kg/m}^3$	Yalıtım ve orta mukavemetli beton
$\Delta_a \geq 650 \text{ kg/m}^3$	Taşıyıcı beton
Δ_a : Hafif agreganın birim ağırlığı	

2.2 Ülkemizin Hafif Agrega Bakımından Durumu

Taşıyıcı hafif beton için gerekli yapay hafif agregalardan olan genişletilmiş kil, genişletilmiş şist ve genişletilmiş arduvazın üretilmesiyle ilgili sanayii kolu ülkemizde henüz kurulmadı. Hafif agrega sanayii kurulmadan önce büyük miktarda bulunan doğal hafif agregalarımızın değerlendirilmesi söz konusudur. Doğal hafif agregaların yapay hafif agregalara göre daha az dayanıklı olduğu bilinir. Doğal hafif agregalardan ülkemizde en yaygın olanları volkanik esaslı ponza taşı, volkanik tüf ve volkanik curuftur. Bunlardan özellikle ponza taşının Orta ve Doğu Anadolu'da oldukça büyük rezervleri vardır (17). Bu hafif agregalarla su emme bakımından gerekli önlemler alınarak yalıtım betonlarının üretilebileceği gibi taşıyıcı hafif betonların üretimi de olanaklıdır (18).

Konutlarda hafif veya yarı hafif beton kullanmakla enerji yönünden kazanç sağlanır. Konutlarda kullanılacak hafif agregalı taşıyıcı betonlar ses yutuculuğu bakımından da iyi çözümdür. 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 yapay yolla üretiminde ayrıca bir enerjiye de gerek yoktur. Söz konusu yörelerde konut yapımı için kurulabilecek prefabrike elemanların üretilmesiyle ısı tasarrufu yönünden büyük yararlar sağlanabilir. Hafif beton yapı elemanlarının sağlayacağı ekonomi yanında kendi ağırlığının azalması dolayısıyla deprem kuşağında olan bu yörelerde daha hafif ve güvenli yapılar üretilebilir.

2.3 Hafif Betonların Yararları

Hafif betonların normal betonlara göre ağırlığı %20 - %40 ve elastiklik modülü de %50 kadar azdır (4), (12).

Birim ağırlıklarının küçük olması taşımada ekonomi sağlar. Zayıf zeminlerde sömel problemini kolaylaştırır (4). Elastiklik modülünün düşük değeri, yapı rijitliğinin ve dolayısıyla mesnet oturmaları durumunda momentlerin az olmasına neden olur ve bu durumda donatıda da azalma sağlanabilir (12), (4). Ancak elastiklik modülünün de bir alt sınırı olmalıdır. Nitekim DIN 4226 (19)'da normal beton elastiklik modülünün beton sınıfına göre olması gereken değeri belirlemiştir.

Hafif betonların elastiklik modülünün düşük olması $E_{\text{çelik}}/E_{\text{beton}}$ ($E_{\text{ç}}/E_{\text{b}}$) oranı büyüktür. Bu bir anlamda taşıyıcı hafif betonların elastiklik modüllerinde sınırlandırma gerektirir.

Ülkemizde hafif agrega olarak sadece doğal olanları vardır. Bunlardan da Ponza taşı en çok kullanılandır. Ponza taşı ile yapılan hafif betonlar ya yalıtım ya da orta mukavemetli betonlardır. Bu

hafif agregâ ile daha güvenli taşıyıcı betonlar üretebilmek için ancak yarı hafif türden betonlar yapmak gerekir. Böylece bu doğal hafif agregaların daha iyi biçimde değerlendirilmesinde söz konusu olur (4).

2.4 Hafif Agregâ Olarak Ponza Taşı

Ponza taşı, birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümli, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı 1 gr/cm³'den küçük, sertliği Mohs skalasına göre 6 civarında, camsı doku gösteren volkanik bir doğal hafif agregadır (11). Ponza taşı agregası yaklaşık %70 boşluk içermektedir. Doğada incesi irisinden daha fazla bulunmaktadır. Yarı hafif beton üretiminde incenin hafif agregâ olması demektir. Büyük boşluklu bu doğal hafif agregayı normal agregâ yanında boşluk gibi düşünmek pratik açıdan mümkün kabul edilebilir. Çünkü ponza taşının basınç mukavemeti, kalkerin %5-10'u, elastisite modülü ise %2'si metrebesindedir.

Ponza taşına Bims, sünger taşı da denilmektedir. Değişik yerlerde elde edilen bims agregalar dane biçimi ve yüzey yapısı bakımından oldukça farklıdır. Bu agregaların dane biçimi ve yüzey yapısı karışım içinde ince iri agregâ miktarlarını, betonun işlenebilirliğini, ince agregâ / iri agregâ oranını, su ve çimento miktarını etkiler. Ponza taşının 24 saatlik su emme yüzdeleri ince agregâda %20, iri agregâda %30 civarındadır. Bu değerler agreganın sağlandığı yere, granülometrisine, dane biçimi ve yüzey yapısına göre değişir. Normal depolama şartlarındaki nem yüzdesi genellikle su emme kapasitesinin 2/3'ünü geçmez. Ponza taşının su emme kapasiteleri su emme hızları ve içinde bulundurduğu nem yüzdesi beton karışım hesaplarında betonun üretiminde ve denetiminde gözönünde bulundurulmalıdır (20), (21).

2.5 Hafif Agregalı Beton

Son yıllarda, özellikle ısı izolasyonu ve öz ağırlığı bakımından normal betona nazaran avantajlara sahip olan hafif beton, gittikçe artan bir biçimde kullanılma alanı bulmaya başlamıştır. Gerçi ülkemizde yeni bir yapı olmasına rağmen, ülkemizin potansiyeli hafif beton üretiminin yaygınlaşması açısından oldukça müsaittir. Diğer yandan normal beton agregasının bir bölümünün hafif agrega ile değiştirilmesi suretiyle üretilen taşıyıcı hafif beton, mekanik özellikleri bakımından kullanılabilirlik ve ekonomiklik açısından incelenmeye değer bir malzeme olarak ortaya çıkmıştır.

2.5.1 Taşıyıcı Hafif Agregalı Beton

Taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregaların birim ağırlığı 650 kg/m³ değerinden büyüktür.

Taşıyıcı hafif betonarme, sürekli granülometrilili ve agregasının tümü veya bir kısmı boşluklu ve hafif bünyeye sahip olan ve çelik çubuklarla donatılı olan betondur. DIN 1045 Alman normunda taşıyıcı hafif betonun basınç mukavemeti en az L_{Bn} 100 kalitesine uygun olması gerektiği belirtilmektedir. Yine bu norma göre beton birim ağırlığı 1,00-2,00 kg/lt arasında bulunmalıdır (10), (22).

Taşıyıcı hafif agregalı beton aynen normal betonarme betonuna benzer ölçüde sıkıştırma işlemine tabi tutulur. Betonarme elemanda kullanıldığı için, donatı ile aderansı iyi olmalı ve donatıyı korozyona karşı korumalıdır.

Taşıyıcı hafif agregalı beton için sert yapılı hafif agregalar uygundur. Agregası için belirli bir granülometri aranır. Hafif agreganın pürüzlü yüzeye sahip olması ve genel olarak ince kısımlarının da normal agregaya oranla daha iri olması nedeniyle, iyi bir işlenebilirlik için fazla su gerekir. Bu nedenle agreganın ince kısmının fazla

olması, hava sürükleyici katkı kullanılması veya ince kısmın doğal kum ile değiştirilmesi su gereksinmesini azaltır. Taşıyıcı hafif agregalı beton için işlenebilirlik ölçüleri farklıdır. 0-25 mm arasında çökmeye sahip betonlar kolaylıkla sıkıştırılabilir.

Taşıyıcı hafif agregalı beton için basınç dayanımını etkileyen en önemli faktör, normal betonda olduğu gibi su/çimento oranıdır. Dayanımın su/çimento oranına bağımlılığı, normal betondakine benzer bir görünüm gösterse de, aynı yasalar uygulanamaz ve farklı hafif agregalı ile üretilen betonları ayrı incelemek gerekir. Taşıyıcı hafif agregalı betonun karışım hesabını üç faktör etkiler:

- 1) Basınç dayanımı; su/çimento oranına bağlıdır.
- 2) İşlenebilirlik; agregalı türüne bağlı olarak, su içeriğine göre değişir.
- 3) Birim ağırlık; agregalı ve çimento içeriğine bağlıdır.

Karışım hesabı şu aşamalardan geçer:

- 1) İstenilen dayanım sınıfına göre ortalama basınç dayanımının belirlenmesi,
- 2) Ortalama dayanımı sağlamak için, uygun agregalı ile su/çimento oranının belirlenmesi,
- 3) İstenilen işlenebilirlik için, bulunan su/çimento oranına göre çimento içeriğinin belirlenmesi,
- 4) Birim ağırlığın hesaplanması,
- 5) 1 m³ taze beton için gerekli malzeme miktarlarının hesaplanması,
- 6) Toplam agregalı içinde ince agregalı oranının belirlenmesi için deney karışımının hazırlanması. İnce agregalı için %50 oran iyi bir başlangıç noktası olabilir. Çimento içeriği arttıkça ince agregalı oranı azaltılabilir.

2.5.1.1 Taşıyıcı Hafif Betonun Avantaj ve Dezavantajları

Ekonomik olmaları nedeniyle kullanılan hafif ve taşıyıcı hafif betonun avantaj ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

Avantajları

1. Birim hacim ağırlığındaki azalma nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur. Bunun sonucunda üretim ve yerleştirme kolaylaşır.

2. Hafif betonla üretilen elemanların birim ağırlıklarının düşük olması nedeniyle yapıdaki ölü yükler azalır. Böylece temeller ve diğer yapı elemanlarını daha küçük boyutlarda dizayn etmek mümkün olur.

3. Termik iletkenlik katsayılarının düşük olması sonucu ısı yalıtımları yüksektir.

4. Yangın bakımından da normal betona göre daha elverişlidirler.

5. Ölü yüklerin azalması ve dolayısıyla hesap momentlerinin küçük çıkması dolayısıyla daha az donatıya ihtiyaç gösterir. Özellikle deprem etkisinde, düşey yükle orantılı olarak oluşan yanal deprem kuvvetlerinin azaltılması taşıyıcı hafif beton kullanımı ile sağlanabilir.

6. Kolay işlenebilmesi sayesinde en ince kalıp detaylarını bile aksettirebilir, güzel görümlü yüzeyler ortaya konulabilir.

Dezavantajları

1. Boşluklu olmaları yani porozitenin büyük olması dolayısıyla mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle, yüksek mukavemetli beton ve öngerilmeli beton uygulamalarında tercih edilen bir yapı malzemesi değildir.

2. Rutubete karşı yalıtım yapılması zorunluluğu vardır.

3. Aşınmaya karşı dayanıksızdır.

4. Özellikle depo gibi yapılarda yoğun faydalı yükün taşınması gerektiği için daha kalın döşemelere lüzum vardır.

5. Dış etkilere maruz donatılarda daha kalın bir beton örtü tabakasına (pas payı) ihtiyaç gösterir.

6. Normal betona göre daha düşük bir kesme mukavemetine sahiptir.

7. Elastisite modülünün düşük olmasından dolayı hafif ve taşıyıcı hafif beton kirişlerde sehimler ve dönmeler daha büyüktür.

8. Tam olarak doğrulanmamasına rağmen, hafif betonların elastisite modüllerinin düşük olması nedeniyle sünme bir dereceye kadar yüksektir (1). Sabit yük altındaki uzun süreli davranış özellikle kullanılan agreganın rijitliği ile ilgilidir. Agreganın rijitliğinin azalması (Hafif ve taşıyıcı hafif betonda olduğu gibi) sünmeyi arttırması yanında sabit yükü uygularken oluşan ani şekil değiştirmeyi de arttırır. Bileşimleri aynı olan hafif betonun rötresi normal betona göre daha fazla olmasına karşılık rötre süresince çatlama meydana gelme olasılığı daha düşüktür (23), (24).

2.5.1.2 Taşıyıcı Hafif Betonun Uygulama Alanları

Taşıyıcı hafif beton, bir taraftan mukavemeti sayesinde taşıyıcı ödevi görmek, diğer taraftan da uygun ısı yalıtımı sayesinde izolasyon ödevi görmek suretiyle başka hiçbir malzeme ile yapılamayacak bir şekilde kullanılabilir. Böylece taşıyıcı hafif beton iki ayrı fonksiyonu aynı anda yerine getirmektedir. Ayrıca hafif beton görünen cephe betonlarında da kullanılmaya son derece uygundur. En ince kalıp detaylarını normal betondaki kadar iyi şekilde aksettirir. Kolay işlenmesi sayesinde güzel görünümlü yüzeyler elde edilebilir. Traş etmek yoluyla çeşitli görünümler ortaya konulabilir. Esmer renkli agrega ve açık renkli çimento veya bunun tersi kullanılarak güzel görünüm sağlanabilir. Kum püskürtmek suretiyle traş edilen yüzeyler donmaya dayanıklı olmakla beraber bu işlem hafif agrega tanelerini yerlerinden söktüğü için delikli bir yüzey oluşturur. İşlenecek yüzeylerde hafif betonun traş edileceği kalınlık donatının konulacağı pas payına eklenmiş olmalıdır.

Akdeniz Üniversitesi
Rektörlüğü Kütüphanesi
Demirbaş No. 4949

Hafif betonarme ve hafif öngerilmeli beton Avrupa'da son yıllarda birçok ilginç yapıda ve gittikçe artan bir biçimde uygulanmıştır. Bu uygulamaları en çok bünyesinde bulunduran ülkelerin başında Federal Almanya gelmektedir. Örnek vermek gerekirse bu yapılar arasında en önemli örnekler olarak 1966'da Wiesbaden'de inşaa edilen Djckerhoff köprüsü, 1967'de Stade'de yapılmış olan atom santrali işletme binası, 1968'de Langerich'de yapılmış olan Herrmanwes köprüsü, 1969'da Darmstad'da yapılmış olan Teknik Üniversite yeni enstitü binaları, 1970'de Frankfurt'da yapılmış olan 5.Havaalanı terminali ve nihayet 1971'de Münih'de yapılmış olan BMW idare binası sayılabilir (22).

Hafif Betonarmenin daha çok okul, idare binaları ve hal yapıları gibi yüksek binalarda kullanıldığı görülmektedir. Bu yapılarıdaki uygulanış hem yerinde dökme hem de prefabrik (Prekast) şeklinde olabilmektedir. Hafif betonarmenin hem hafif, hem taşıyıcı hem de ısıya karşı izolan olma özelliklerinden ekonomik bir şekilde yararlanılmaktadır.

Gün geçtikçe ve hafif betonarme ile çeşitli mühendislik yapıları inşaa edildikçe hafif beton yapma tekniği de gelişmektedir.

2.5.1.3 Taşıyıcı Hafif Betonun Kullanılabilirliği

Taşıyıcı hafif betonun kullanılabilirliğine, ekonomiklik açısından bakmak gerekir. Çünkü, yeni bir malzeme, ancak ekonomik olduğu takdirde kullanma alanı bulabilir. Taşıyıcı hafif betonun üretiminde kullanılan hafif agregalar "doğal hafif agrega" ise, bunların doğal kaynaklardan elde edilmesi ve üretim yerine nakil edilmelerinden doğan maliyetler analiz edilmeleidir. Doğal hafif agregaların, yapay hafif agregalarda olduğu gibi ayrı bir genleştirilme işlemine tabi tutulmamaları, bir avantaj olarak kabul edilebilir. Diğer yandan taşıyıcı hafif beton üretim ve kullanma sahasının

Akdeniz Üniversitesi
Rektörlüğü Kütüphanesi
Demirbağ No. _____

doğal agrega üretim yerine yakın olması, bu yapı malzemesinin tercih edilmesine neden olabilir. Hafifliği nedeniyle özellikle deprem bölgesinde kullanma alanı bulabilir.

Yapay olarak genleştirilmiş hafif agregalar; hammaddenin hazırlanması ve 1200°C sıcaklığındaki fırınlarda genleştirilmesi dolayısıyla normal kum ve çakıldan oldukça pahalıdır. Böylece 1m³ betonun fiyatı hafif beton için normal betondan daha fazla olmaktadır. Ancak fiyat karşılaştırmasını bitmiş yapı üzerinde yapacak olursak ve işin içine kalıp ve donatı masraflarını da katacak olursak, aradaki farkın çok azaldığı görülür. Hafif beton, bu azalmış farkı da çok kere dengeleyebilir. Veya sonuçta kazançlı duruma geçebilir.

Taşıma kolaylıkları, montaj kolaylıkları, daha hafif gereçler kullanılması, daha küçük temel, daha yüksek bina, daha iyi ısı izolasyonu ve yangından korunma ve hatta daha az bakım ve işletme masrafları, taşıyıcı hafif betonun normal betona nazaran sahip olduğu önemli avantajlardır.

Sonuç olarak, taşıyıcı hafif beton ile inşaat edilecek yapıların ekonomisini incelerken, yapı sisteminin tümünü gözönüne almak gereklidir.

2.5.2 Yalıtım Amaçlı Hafif Agregalı Beton

Yalnız yalıtım amacıyla üretilen betonların birim ağırlıkları çok düşüktür. Basınç dayanımları da taşıyıcı olamayacak kadar azdır.

a) Genleştirilmiş Vermikülit

Ham vermikülit mika esaslı, tabakalı bir mineraldir. Isıtıldığı zaman tabakalar ayrılır. Isıtma sıcaklığı, sleytte olduğu gibi erime sıcaklığına kadar değildir. Bu işlem sonucu, ilk hacminin çok üzerine kadar genişir.

İşlem görmüş vermikülit önceleri, çatılarda ısı yalıtımı

sağlamak amacıyla dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Sonraları blok ve panel eleman ve fırınlar için ateşe dayanıklı briket üretiminde agrega olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Agreganın birim ağırlığı ısıtma sıcaklığına ve granülometrisine bağlıdır. Genleştirilmiş vermikülit agrega ile beton üretiminde hava sürükleyici katkı maddeleri de kullanılmaktadır.

b) Genleştirilmiş Perlit

Perlit volkanik esaslı camsı bir mineraldir, birim ağırlığı fazladır. Kırılmış olan perlit taneleri, erime derecesi olan 1800°C civarına kadar hızla ısıtılırsa, boşluklu hafif bir malzeme elde edilir. Bu ısıtma işlemi, perlitin yapısında fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana getirir. Ham perlitin bünyesinde %2-6 kadar su vardır. Üretiminde genişletme için 800-1150°C civarındaki sıcaklık yeterli olmaktadır. Genleşme sonucu hacminde 10-30 kat kadar artış meydana gelir.

Genleşmiş perlit çok kullanılan bir hafif agregadır. Ara duvar elemanları, bölme panoları, hazır sıva üretiminde kullanılmaktadır.

Perlitin yapısında %70-75 kadar SiO_2 ve %12-16 kadar Al_2O_3 bulunur. Bunların dışında Na, K, Fe, Mn, Ti ve S oksitleri içerir.

Genleşmiş Perlitin Bazı Özellikleri

Renk	: Beyaz
Ergime noktası	: 1300°C
Özgül ağırlık	: 2,2 - 2,4 gr/cm ³
Birim ağırlık	: 30 - 190 kg/m ³
Isı iletkenliği	: 0,034 - 0,040 Kcal/mh°C

2.6 Hafif Agregalı Betonun Karışım Esasları

2.6.1 Karışım Oranları

Normal agregalarla olduğu gibi hafif agregalarla da farklı çimento, su ve katkı maddeleri kullanarak çok değişik özelliklere sahip betonlar üretmek olanağı bulunmaktadır (27).

Karışım oranlarının saptanmasındaki amaç, belirli bir agrega ile istenilen özelliklere sahip beton üretimi için çimento, agrega, su ve katkı maddeleri gibi karışıma giren çeşitli maddelerin en ekonomik oranlarının bulunmasıdır. Karışım oranlarının saptanmasında genellikle betonun basınç dayanımı ve işlenebilirliği gözönünde bulundurulur (25), (26).

Karışım oranları genellikle aşağıda açıklanan özellikler gözönünde bulundurularak saptanır.

2.6.1.1 En büyük Tane Boyutu

Agreganın en büyük tane boyutu betonun kullanılacağı amaca bağlıdır. Temel duvarlarında ve kütle betonlarında 38,10 mm'ye kadar boyutlar kullanılabilir. Duvarlarda bu boyut duvar kalınlığının 1/5'inden fazla olmamalı; kolon, kiriş ve döşemelerde bu değer elemanın en dar boyutunun yaklaşık 1/3'ü olarak alınmalıdır (28), (29).

Shacklock (30) betonda kullanılacak agrega en büyük tane boyutunun olanaklar kapsamında büyük seçilmesinin, betonda gerekli çimento oranını azaltması nedeniyle daha ekonomik olduğu ve prefabrik elemanların yapımında, elemanların en dar boyutunun agrega en büyük tane boyutundan dört kat daha küçük olması gerektiğini bildirmektedir.

Hafif betonda kullanılan agrega en büyük tane boyutu, genellikle 19,10 mm veya daha küçüktür (31). Yapısal beton, duvar birimleri

ve yalıtım betonları için, standartlarda öngörülen en büyük tane boyutu karışık agregâ için 19,10 mm ve 12,70 mm'dir. TS 1114 (20)'de ise karışık agregâ için bu değerin en fazla 12,70 mm olabileceği belirtilmektedir.

2.6.1.2 Su Oranı

Beton karışımına giren su agregayı ıslatır, çimentonun hidratasyonunu ve betonun işlenebilmesini sağlar. Gereğinden fazla su taze betonun birim ağırlığını düşürür ve beton dayanımının azalmasına neden olur. Ayrıca fazla su kullanılması gerekli çimento oranını arttırdığından, ekonomik bakımdan sakıncalı olmaktadır (32).

Hafif agregaların yüksek derecede su emme yetenekleri nedeniyle bir metreküp beton üretimi için genellikle agregâ çeşidi, tane boyutu ve çimento oranına bağlı olarak gerekli su oranı 170-300 kg arasında değişebilmektedir (30). Orta derecede işlenebilirliğe sahip sıkıştırılmış hafif betonlar için 260-380 kg/m³ ve düşük derecede işlenebilirlik için ise 240-280 kg/m³ arasında su oranlarının gerekli olabileceğini bildirmektedir.

2.6.1.3 Çimento Oranı (Dozaj)

Hafif beton karışımlarında belirli bir kıvam ve dayanım için normal betonlara oranla daha fazla çimento dozajlarına gerek duyulur.

Çeşitli hafif agregalar aynı çimento dozajı ve çökme değerleri için benzer basınç dayanımları oluşturmazlar. Basınç dayanımı betonun uygulama amacına bağlı olarak saptanır. Genel olarak yapı betonları için gerekli dayanım 210-280 kgf/cm² arasında değişir. 28 günlük silindirik basınç dayanımları 175 kgf/cm²'den 350 kgf/cm²'ye kadar değişen hafif betonlar için 250 kg/m³'den 560 kg/m³'e kadar değişen çimento dozajlarının kullanılabileceğini belirtmekte ve belirli bir dayanımın elde edilebilmesi için yeterli sayıda değişik çimento

dozajları ile - gerekli dayanımı da içeren - bir dizi deneme karışımının yapılmasını öngörmektedir. Wesche (33) hafif betonlar için uygun çimento dozajlarının 240 - 300 kg/m³ olarak önerildiğini bildirmektedir.

Nelson ve Frei (34) hava katkısı %3'den %8'e kadar değişen ve çökmesi 6-7,5 cm arasında olan betonlarda 167 kg/m³'den 500 kg/m³'e kadar 56 kg/m³'lük artışlarla değişen dozajlı betonların 28 günlük silindirik dayanımlarını sırasıyla 57 kgf/cm², 122 kgf/cm², 190 kgf/cm², 252 kgf/cm², 300 kgf/cm², 336 kgf/cm² ve 364 kgf/cm² olarak bulmuştur. Bu betonların hava-kuru birim ağırlıkları ise dozaj artışına bağlı olarak 1418 kg/m³'den 1725 kg/m³'e kadar çıkmıştır.

Donatısız, özellikle yalıtım betonları için gerekli çimento dozajı 90-200 kg/m³ ve yapı betonlarında ise bu değer 300 - 500 kg/m³ arasında değişir. Çimento dozajı 300 kg/m³'den az olmamalıdır. Bu, donatının korozyondan korunması, yeterli aderansın ve işlenebilirliğin sağlanması için gereklidir. Dozajın yükseltilmesi genelde betonun dayanımını arttırmakla birlikte, bu artışın oranı normal betona kıyasla daha azdır. "Basınç Dayanımı" başlığı altında belirtildiği gibi, agreganın tayin ettiği bir dayanım sınırı vardır. Bu sınıra yaklaştıkça artış oranı iyice düşer. Ortalama olarak, çimento dozajının %20 artması, dayanımda %10'luk bir artış getirir.

Yoğunluk da dozaj ile artar. Yine, ortalama olarak 50 kg/m³'lük bir artımın, yoğunlukta 0.03 gr/cm³'lük bir artışa neden olacağı söylenebilir.

Çimento niteliğinin de betona etkisi vardır. Çimentoda 100 kg/cm²'lik bir dayanım artışı, betonun dayanımını %10 arttırır. Genellikle dozajın 450 kg/m³'ün üzerine çıkarılması gereksizdir (41).

2.6.1.4 Agregat Miktarları ve Oranları

İri ve ince hafif agregat tanelerinin farklı yoğunluklara sahip olması ve tane biçimlerinin köşeli oluşu, yüzey yapılarının pürüzlülüğü gibi nedenlerle hafif beton karışımları normal betonlara oranla daha fazla ince tane oranına gereksinime gösterir. İyi bir işlenebilirlik için, hafif beton karışımlarında toplam (boşluklu) agregat hacminin %40-60'ı oranında ince agregaya gerek duyulur.

Bir metreküp beton üretimi için genellikle 1,04 - 1,19 m³ arasında kuru gevşek hafif agregaya gerek duyulduğunu ve bu miktarın tam olarak saptanmasının agregat granulometrisine, tane şekline, tane boyutuna ve agreganın yüzey yapısına bağlı olduğunu bildirmekte, iyi bir granulometri bileşimine, küresel veya kübik tane şekline ve düzgün yüzey yapısına sahip agregaların ise daha az toplam hacme ve düşük ince agregat yüzdesine gerek gösterdiğini belirtmektedir. Murlin ve Willson (35) ince agregat oranının toplam agregat hacminin %50'si kadar olabileceğini, bunun tam olarak saptanabilmesi için çimento oranının da gözönünde bulundurulması gerektiğini bildirmektedir.

Değişik çimento dozajları için ince agregat oranı toplam agreganın %25-70'ine kadar değişebilmektedir. Çimento dozajları 300-500 kg/m³ arasında olan karışımlarda, ilk denemeler için ince agregat oranı ağırlık olarak yaklaşık %50 alınabilir (26). Shacklock (30) ince agreganın toplam agregaya oranının hacim olarak genellikle %40-50 arasında değişebileceğini ve ilk deneme karışımları için kesin veriler bulunmadığında, bu değerin %45 olarak kabul edilebileceğini belirtmekte; Nelson ve Frei (34) ise bu oranın %50-65 arasında olması gerektiğini bildirmektedir.

2.6.1.5 Hava Katkısı

Hafif betonlarda hava katkısı betonun birim ağırlığını azaltması ve ısı yalıtımını iyileştirmesi ile birlikte, taze betonun taşınma

ve yerleştirilmesini kolaylaştırdığından sık sık kullanılır. Yaklaşık %5 hava katkısı karışım suyu miktarını 20 kg/m³ azaltmayı gerektirir (30).

Hafif betonların çoğu genellikle %2-4 arasında hava iğerirse de bu oran işlenebilme ve sağlamlık üzerinde olumlu yönde yeterli etkiye sahip değildir. İyi bir işlenebilme için uygun toplam hava oranı genellikle %4-8 arasındadır (28).

2.6.1.6 Birim Ağırlık

Hafif betonların karışım oranlarının saptanmasında birim ağırlık en fazla önem taşıyan bir özelliktir. Birim ağırlık agrega birim ağırlığına, ęimento, su ve hava oranlarına; iri ve ince agrega oranlarına bağlı olduğundan, gerektiğinde hafif betonların birim ağırlıkları, karışım oranlarının ayarlanması ile geniş sınırlar içerisinde değiştirilebilir.

2.6.1.7 Karışımdaki Malzeme Oranlarının Saptanması

Normal betonların karışım oranlarının saptanmasına ilişkin genel kurallar hafif beton karışımları için geğerli ise de uygulamada izlenen ayrıntılar bakımından farklılıklar bulunmaktadır.

Normal betonların karışım oranlarının hesaplanmasında bir ölçüt olarak kullanılan su-ęimento oranı hafif agregaların çoğunun yoğunluk, toplam su emme ve su emme oranındaki farklılık ve kararsızlıklar nedeniyle yeterli derecede doğrulukla saptanamamaktadır. Bu nedenle hafif betonun karışım oranları gerekli işlenibilirlik için değişik ęimento dozajlarına göre bir dizi deneme karışımının yapılmasıyla bulunur. Farklı ęimento dozajlarına sahip karışımların, ęimento oranı-dayanım ilişkisi yardımıyla, uygun bir dayanım için gerekli ęimento oranı bulunabilir (1).

Betonun karışım oranları gerekli özelliklere sahip betonu üretebilecek malzemenin en ekonomik olarak kullanımını sağlayacak biçimde saptanmalıdır. Malzemenin uygun karışım oranlarının laboratuvar deneme karışımları ile saptanması ve uygulama amaçlarına göre ayarlanması gerekir (9).

Taze ve sertleşmiş beton özelliklerini istenilen düzeylerde tutabilmek için beton karışım oranları, agreganın nem oranı değiştiğinde ayarlama gerektirir. Çimento ve hava katkısının hacimleri ve beton yığınının toplam hacmi ilk durum ve ayarlanmış durumda aynı oranlarda olmalıdır. Ayarlama agrega ve su hacimlerinde yapılır. Agreganın ayarlanmış olarak kaplayacağı hacim, yeni nem durumuna uygun yoğunluk faktöründen $\frac{1}{\gamma_g}$ (specific gravity factor) elde edilir (36). Gerçek uygulamalarda veya laboratuvar deney karışımlarında beton özelliklerindeki bazı olası değişimleri dengelemek veya özelliklerde amaçlı bir değişiklik yapmak için zaman zaman ayarlama gerekebilir. Agreganın nem durumundaki, agreganın oranlarındaki, çimento dozajındaki, hava oranlarındaki değişimler için ayarlamalar yapılabilir.

2.6.2 Betonun Üretimi

Hafif agrega betonlarının karışım oranlarının saptanması, karıştırma işlemi ve deney yöntemleri hafif agregaların birim ağırlığı, tane şekli ve yüzey yapısı ile su emme özelliklerindeki değişiklikler nedeniyle normal beton karışımlarından farklılık gösterir. Hafif agrega betonlarında agreganın birim ağırlığı ve nem oranlarının sürekli kontrol altında bulundurulması, granulometride aynılığı sağlanması, üretilen beton hacmi ve dayanımının istenilen düzeylerde tutulması bakımından gereklidir (37).

1/ Yoğunluk faktörü: Karıştırma sırasındaki agrega ağırlığının bu agreganın karışımında kapladığı etkili hacme oranıdır.

2.6.2.1. Karıştırma

Hafif betonların karıştırma işlemi çeşitli agregaların kullanılması durumuna göre değişiklik gösterir. Hafif agregaları gerekli karışım suyunun 2/3'ü ile bir dakika karıştırdıktan sonra arta kalan karışım suyu ile birlikte çimento ve katkı maddelerini de ekleyerek, kıvamda aynılık sağlanıncaya kadar karıştırma işlemini sürdürmek gerekir. İkinci karıştırma süresi üretilecek betona bağlı olarak genellikle 2-4 dakika arasında olabilir (38).

Karıştırma sırasında malzemenin aynı nem düzeyinde bulunmasını sağlamak için hafif agrega kullanımından 24 saat önce ıslatılmalıdır. Bu şekilde ıslatma ile depolama ve taşımada agrega tane dağılımının değişimi de azaltılabilmektedir. Kuru hafif agrega karıştırıcıya konulmamalıdır. Hafif betonlarda iyi bir karışım sağlamak için genellikle normal betondan daha fazla süre karıştırmak gerekmektedir (39).

Agreganın karıştırmadan önce ıslatılması, granülometride aynılığı koruması ve çok farklı boyutlarda taneler içeren agregada tane dağılımının değişmesini azaltması gibi yararlar sağlayabilmektedir. Agregalar karıştırıcıya konulması sırasında kuru iseler hızlı su emerler ve karışımın işlenebilirliğini hemen azaltırlar. Bu nedenle önce agregayı karıştırma suyunun en az yarısı ile karıştırmak ve sonra çimentoyu eklemek yararlı olmaktadır. Bu işlemle çimentonun topaklanması ve çökme kaybı da önlenabilmektedir (1).

2.6.2.2 Taşıma ve Yerleştirme

Karışım oranı iyi yapılmış hafif betonun taşınıp, yerleştirilmesi normal betona göre genellikle daha kolaydır. Hafif beton yerleştirilirken, karışım içinde oluşabilecek büyük boşlukları gidermek için 25-40 cm'lik tabakalar şeklinde dökülmelidir. Normal agrega betonunun uzun süreli vibrasyonla tamamen yerleştirilip, sıkıştırılabilmesine karşın aşırı vibrasyon hafif beton karışımlarında genellikle

hafif iri tanelerin karışımın üst kısmına doğru hareketiyle ayrışmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla katı karışımlara uzun süreli vibrasyon uygulamasından sakınılmalıdır (26). Uygulamada çok fazla kuru veya yaş kıvamda karışım kullanmayarak ve yüksek frekanslı düşük amplitütlü vibratörlerle çok derin olmayan kısa süreli vibrasyon uygulayarak betonun ayrışması azaltılabilir.

Hafif agrega taneleri ve çimento hamurunun yoğunlukları arasında ki büyük fark nedeniyle özellikle ıslak kıvamdaki taze betonlarda hafif iri agrega taneleri yüzeye doğru yükselme eğilimi gösterir. Betonda istenmeyen bu ayrışma olayı taze beton karışımları üzerinde fazla mekanik işlem yapılmaması ile azaltılabilir (30).

Hafif betonda 5-10 cm arasındaki çökmeler taze beton düzeyinin düzeltilmesinde iyi sonuçlar vermektedir. Daha fazla çökmeler ayrışmaya neden olarak betonda pürüzlü, düz olmayan yüzeyler oluşturduğundan yüzey düzeltme işlemlerini (perdahlama) güçleştirmektedir. Taze beton yüzeyinin düzeltilmesi beton bünyesinden yüzeye çıkabilecek serbest terleme suyunun, yüzeyden kaybolmasından sonra yapılmalıdır. Perdahlama ve yüzey düzeltme işlemleri en az miktarda uygulanmalı, bu amaçla alüminyum veya magnezyumlu hafif perdah araçları seçilmelidir. Ayrıca düz yüzeylerde yüksek frekanslı vibrasyon tablaları perdah için uygun olmaktadır.

2.6.2.3 Bakım (kür) ve Kontrol

Betona, sıcaklık ve nem miktarındaki değişimler nedeniyle bünyede oluşabilecek gerilmeleri azaltmak amacıyla kür uygulamalıdır. Beton dökümü için en uygun sıcaklık dereceleri 15°C ile 25°C arası ise de soğuk havalarda beton dökümü sıfır derecenin (°C) üzerinde yapılmalıdır. Yeni dökülen beton don etkisinde kaldığında kazanabileceği dayanımın ancak yarısını geliştirebilmektedir. Sıcak havalarda da güneşlenmeden ve aşırı sıcaklık artışlarından korunmalıdır (40).

İyi özelliklere sahip hafif beton üretimi kullanılan agregaların nem durumunun aynılığına bağlıdır. Agreganın neminin değişiklik göstermesi, üretilen betonun hacminin ve aynılığının kontrolünü güçleştirmektedir. Bu nedenle agreganın nem oranının belirli bir düzeyde tutulabilmesi için 12 saatlik bir ilk ıslatma uygulanması gerekebilir. Agreganın karıştırma sırasındaki nem durumu saptanarak, buna göre yığın ağırlıkları ayarlanmalıdır.

Uygulamaya yönelik çalışmalarda hafif betonların kontrolü normal betonlara benzer şekildedir. Karışım suyundaki değişimleri kontrol için zaman zaman çökme ölçümleri yapılmalıdır. Hatalı çökmeler agreganın nem miktarında aynılık bulunmadığını belirtir. Üretilen beton hacmini (randımanını) kontrol etmek amacıyla birim ağırlık ölçmeleri yapılmalıdır. Belirlenenen fazla sapma gösteren birim ağırlık değerleri hava ve nem oranlarındaki değişimleri gösterir. Bu durumu önlemek için agreganın granulometrisi, yoğunluğu, taşıma ve yığınlama işlemlerindeki değişimler kontrol edilerek düzeltilmelidir. Ayrıca karışımın hava oranı da sık sık kontrol yapılmasını gerektirir (37), (38).

Taze beton karışımlarının hava oranı ve çökmesindeki değişiklikler ile üretilen beton hacmindeki azalmalardan sakınmak için taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri en kısa zamanda tamamlanmalıdır. Bakım için seçilen yöntem betonun zarar görmeden sertleşebilmesini sağlamak için oldukça erken uygulanmaya başlanmalıdır (40).

2.7 Hafif Agregalı Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

2.7.1 Yoğunluk

Betonun yoğunluğu, kullanılan agreganın yoğunluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Normal agregalı betonun yoğunluğunun 2.4 gr/cm³ olduğu kabul edilir. Hafif agregalı betonun yoğunluğu için alt ve

üst sınır olarak 1.0 ve 2.0 gr/cm³ değerleri verilebilir. Genel olarak, hafif agreganın basınç dayanımı, yoğunluğuna bağlı olarak yükselir; bu da betonun basınç dayanımını arttırır. O halde, taşıyıcılığın önem kazandığı durumlarda, hafif agreganın yoğunluğu yüksek olmalıdır.

Yoğunluğun düşük olması boşlukların çok olduğu duruma karşılaşır ki, bu durum iyi bir ısı yalıtımı için arzu edilen durumdur. O halde basınç dayanımı ile ısı yalıtım özelliği, birbirine karşıt isteklerdir. İkisinin birden aynı hafif betonla karşılaması zordur. Yukarıda belirtilen iki sınır arasındaki yoğunluklara sahip betonun, basınç dayanımı ve ısı yalıtımı bakımından derece derece değişen özellikler göstereceği söylenebilir. Yüksek yoğunluk, donatının korozyondan korunması, aderansın yeterli olması ve yeterli derecede yüksek elâstisite modülü elde edilmesi bakımından da önem taşır (41).

2.7.2 Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı, normal beton gibi 28 günlük numuneler üzerinde ölçülür. Normal betonda genellikle 150 kg/cm²'nin üzerinde bir basınç dayanımı arzu edilir. Çünkü aderans, korozyon etkilerine karşı donatının korunması, elastisite vb. özellikler ancak bu değerden sonra yeterli olmaya başlar. Hafif betonda bu alt sınırı biraz daha düşürmek mümkündür. Çünkü, korozyona karşı dayanımda asıl etken, katılaşmış çimento hamurudur.

Bugünkü uygulamada, yüksek dayanımlı hafif agregalar ve doğal kum kullanılarak 600 kg/cm²'ye varan dayanımlar elde edilmiştir. Ancak bunlar genleştirilmiş kil veya genleştirilmiş killi şist içindir. Doğal hafif agregalarla elde edilebilen dayanım bunun çok altındadır. Volkanik esaslı cüruf ile 300, pomza ile 150 kg/cm²'nin üzerinde dayanımlar elde etmek mümkün değildir. Genelde 400 kg/cm²'nin üzerine çıkmak için bile hafif agreganın bir hayli özenle seçilmiş olması gerekir. Bu seçimde agreganın yoğunluğu, en başta dikkat edilmesi

gereken özelliktir. Agregâ niteliği yetersiz ise çimento hamurunun kalitesini yükseltmek suretiyle bunu aşmak mümkün değildir. Bunu, "belirli bir agregâ türü ile, yoğunluğunun tayin ettiği dayanım sınırının üzerine çıkılamaz" kuralı ile ifade etmek mümkündür (41).

Hafif agregalı betonda, ilk çatlak agreganın tepesinde başlar ve sonra radyal olarak agreganın içinden geçer. Agreganın düşük çekme mukavemetine sahip olması, dane çatlaklarının erken oluşmasına neden olur, ayrıca çatlakların başlamasında bağ çatlakları da etken olur. Bu düşünceye dayanarak Sasse (42) hafif betonlar ile normal betonların basınç mukavemetinin tahmin edilebileceğini belirtmiş ve bir formül teklif etmiştir.

Basınç dayanımı beton mekanik özelliklerinin en önemlisidir. Bu sebepten yapılarda beton, daha çok basınç gerilmelerine maruz bırakılarak kullanılır. Nitekim betonun çekmeye karşı mukavemetinin zayıf olmasından dolayı betonarme yapı sistemi ortaya atılmıştır.

Beton basınç mukavemetine etki eden faktörleri incelemekten maksadımız beton bileşiminin ne gibi kurallara uyarak tesbit etmek gerektiğini anlamaktır. Böylece basınç mukavemeti yüksek beton elde etmek mümkün olacaktır. Ancak beton bileşimi doğru esaslara uyularak tesbit edilse de beton mukavemeti, bileşimi dışında daha pekçok değişik faktörlerin etkisi altında bulunmaktadır.

İnceleme sınırları yukarıdaki gibi belirtildikten sonra beton basınç mukavemetini etkileyen faktörlerin şunlardan ibaret olduğunu söyleyebiliriz:

- a) Çimento ile ilgili faktörler
- b) Su miktarı
- c) Betonun kompasitesi

Bunları sırasıyla inceleyecek olursak:

a) Çimento ile ilgili faktörler

Betonu teşkil eden agrega tanelerini birbirine bağlayan çimento hamuru mukavemetini kaybettiği vakit beton da mukavemetini kaybeder. Bu etkimedendir ki, çimento iki bakımdan beton mukavemetinin değişmesine sebep olmaktadır.

Bunlardan birincisi çimento miktarı ve çimento dozajıdır. Çimento dozajının artması ile çimento hamurunu arttırmış oluruz. Bilindiği gibi beton mukavemeti çimento miktarının artması ile artar. Yalnız çimento dozajının artışının mukavemete ne kadar bir artış meydana getirdiği henüz kesin alarak anlaşılmamıştır.

Çimento miktarının fazlalaşması rötreye sebep olduğu bilinmektedir. Rötrenin meydana getirdiği çatlaklar çekme mukavemetinin büyük değerler almasına engel olmaktadır.

Çimentonun ikinci etkiye şekli, cinsinin ve daha doğrusu mekanik mukavemetinin betonun mukavemetini değiştirmesine sebep olmasıdır. Zira çimentonun mukavemetinin yüksek olması ile çimento hamuru parçalanmadan daha büyük gerilmelere maruz kalabilir ki, bu da betonun mukavemetini arttırır.

b) Yoğurma suyu miktarı

Beton üretiminde kullanılan yoğurma suyunun şu fonksiyonları vardır:

- Bağlayıcı maddelerin hidratasyonunu sağlar.
- Kum ve iri agrega tanelerini ıslatarak betonun işlenme kabiliyetine sahip olmasına yardım eder.

Belirli miktarlarda çimento, kum ve iri agrega kullanarak beton üretimi istendiği vakit en uygun gelen su miktarı kadar su kullanılmalıdır. Suyun en uygun değerinden az olması, çimentonun hidratasyon işinin yeteri kadar su bulunmamasından dolayı eksik

bir şekilde gelişmesine ve ayrıca kalıbına dökülen betonda fazla miktarda boşluk kalmasına yol açacaktır. Betona konan suyun en uygun değerinden fazla olması ise çimento hamurunun mukavemetini azaltacak betonun sıkışmasına engel olacak ve böylelikle boşlukları arttıracaktır. Bu açıklamadan şu husus anlaşılmaktadır: En uygun gelen miktarlardan daha fazla ve daha az miktarlarda su kullanıldığı vakit mukavemette daimi bir azalma vardır.

c) Kompasitenin mukavemet üzerine etkisi

Betonun kapasitesi ile 1 m³ malzemede katı elemanların yani çimento, kum ve agreganın işgal ettikleri m³ cinsinden hakiki hacimlerin toplamı anlaşılmaktadır. Betonun yüksek bir kompasiteye sahip olabilmesi için gronölometri bakımından şu şartların sağlanması gereklidir:

- İri agrega miktarı maksimum olmalıdır.
- Kum iri agrega taneleri arasındaki toplam boşluğu dolduracak miktarda olmalıdır.
- İri tanelerin boyutları kum tanelerinin boyutlarına göre büyükse, maksimum kompasite o kadar büyük olur.

Bir beton, kapasitesi belirli bir değer altına düşmemek şartıyla kâbil olduğu fazla miktarda iri agrega ve kâbil olduğu kadar da az miktarda kum kullanılarak üretilmelidir.

Hafif agregaların dayanımı tanelerin yoğunluklarına bağlıdır. Aynı yoğunluğa sahip yuvarlak şekilli ve düzgün yüzeyli agregalar kırılmış veya köşeli, pürüzlü yüzeyli agregalardan daha fazla dayanıma sahiptir. Betonda çimento miktarını etkileyen başlıca özelliklerin agrega dayanımı ile taneler arasındaki boşluk hacmi olduğu görülmüştür.

Hafif agregaların çoğunun mekanik dayanımının normal agregalardan çok düşük bulunmasına karşın normal betonlar kadar dayanıklı beton yapılabileceği bildirilmektedir.

Karıştırma sırasında agreganın parçalanıp, ufalanma derecesini saptamak amacına yönelik güvenilir bir yöntem yoktur. Bu bakımdan hafif agregaların basınç dayanımları agrega ile ilgili olarak çok genel bir bilgi vermektedir.

Betonun basınç dayanımı standart küp, silindir veya prizma beton örneklerinde belirli süre ve bakım (kür) koşullarına bağlı olarak yapılır ve değerlendirilir. Betonun mekanik dayanımları arasında en büyük değere sahip olanı basınç dayanımıdır.

Hafif betonun basınç dayanımı agrega özellikleri ve üretim yöntemine bağlı olarak genellikle 35-420 kgf/cm² arasında değişim göstermektedir.

Hafif beton, basınç dayanımı ölçüt alınarak kullanılma amacına göre de sınıflandırılmaktadır.

a) Yapısal (yerinde dökülen) hafif betonlar

28 günlük basınç dayanımı 170 kgf/cm²'den az olmayan, birim ağırlıkları 1400-1800 kg/m³ arasında değişen betonlar.

b) Orta derecede dayanımlı betonlar

Duvar birimleri üretimine uygun olan bu betonların basınç dayanımları 70-175 kgf/cm² arasında değişir.

c) Düşük dayanımlı yalıtım veya dolgu betonları

Dayanımları 7-70 kgf/cm² arasında ve birim ağırlıkları genellikle 800 kg/m³'den az olan bu betonların ısı yalıtım değerleri yüksektir.

Hafif betonun dayanımı agrega dayanımı ve çimento hamuru dayanımı tarafından oluşturulur. Hafif agregaların dayanımı sertleşmiş çimento hamuru dayanımından düşüktür. Bu nedenle genel bir kural olarak hafif betonların dayanımlarının da genellikle çimento hamuru dayanımından düşük değerlerde olabileceği söylenebilir. Aynı çimento dozajında, agrega dayanımı azaldıkça hafif betonun dayanımı düşük

değerler almaktadır. Teychenne' adlı bir araştırmacı, hafif agregalı betonlarının dayanımlarının çimento dayanımına bağlı olarak doğrusal bir şekilde değiştiğini fakat dayanımdaki gerçek değişimin farklı agregalar nedeniyle oluştuğunu belirtmektedir. Hafif agregalı betonlarının çoğunun dayanımındaki artış, zamana bağlı olarak normal betonda olduğu gibi gelişmektedir.

2.7.3 Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı agregalı ile katılaşmış çimento hamurunun ayrı ayrı çekme dayanımlarına olduğu kadar, ikisi arasındaki aderansa da bağlıdır. Hafif agreganın çekme dayanımı normal agreganınkinden düşük olmakla birlikte, gerek çimento hamurunun çekme dayanımı, gerekse aderans, daha yüksek olabilir. Bu nedenle, çekme dayanımını tayin eden zayıf unsur genellikle hafif agregadır. Hafif agregalı betonda çekme çatlağının iri agregaları katettiği görülür. Bu duruma normal betonda, ancak dayanımın çok yüksek olması halinde rastlanır.

Çekme dayanımının basınç dayanımına oranı, düşük ve orta dayanımlı hafif betonlarda, normal betonda olduğu gibidir. Yüksek dayanımlı hafif betonda ise, çekme dayanımının, aynı basınç dayanımına sahip normal betonunkinden %25 kadar daha düşük olması beklenmelidir (41).

Hafif ve normal betonun eşit basınç dayanımına sahip örnekleri benzer çekme ve eğilme dayanımları gösterirler. Havada kurumuş hafif betonun çekme dayanımı genellikle nem kuru uygulanmış hafif betondan azdır. Bu değer eşit basınç dayanımlı normal betonun %70-100'ü arasında değişebilir. Çekme dayanımının basınç dayanımına oranı hafif betonlarda genellikle normal betonlardan fazladır. Normal betonun çekme dayanımı basınç dayanımının yaklaşık 1/10'u kadardır. Buna karşılık hafif betonların çoğunda çekme dayanımı basınç dayanımının 1/4'üne kadar yükselebilmektedir.

2.7.4 Elastisite Modülü ve Poisson Oranı

Hafif betonların elastisite modülü basınç dayanımı, agrega çeşidi ve katılmışsa kum miktarına bağlı olarak $9,9 \times 10^4 - 2,1 \times 10^5$ kgf/cm² arasında değişen değerler alabilir. Hafif betonun elastisite modülü genel olarak aynı dayanımdaki normal betona oranla %20-50 daha düşük olabilir.

Hafif betonların elastisite modülü agrega çeşidine, beton birim ağırlığına ve dayanımına bağlı olarak geniş bir değişim aralığı gösterir. Hafif betonların elastisite modülleri genel olarak aynı basınç dayanımına sahip normal betonun yarısı kadardır.

Shideler adlı araştırmacı yaptığı çalışmalarda basınç dayanımı 315 kgf/cm² olan hafif betonların elastisite modüllerinin normal beton için yaklaşık $2,4 \times 10^5$ kgf/cm² olarak elde edilen değerlerin %53-82'si arasında değiştiğini saptamıştır.

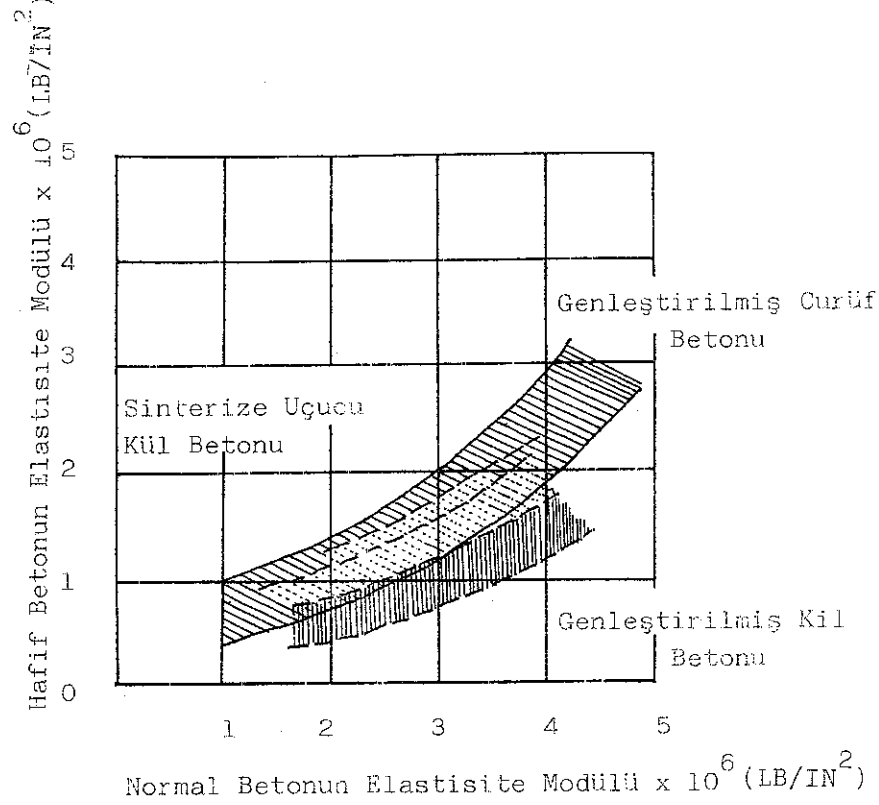
Hafif agrega betonunun elastisite modülü basınç dayanımının zamanla artışına bağlı olarak bir artış göstermektedir. Bu artışın 28 günlük değeri normal betondan önemli derecede fazladır.

Elastisite modülü belirli bir dereceye kadar agrega çeşidi ve özellikle çimento miktarı tarafından etkilenir. Zayıf dayanımlı agrega içeren betonların elastisite modülleri çok düşük değerlere sahiptir. Çimento miktarı ile bu değer çok az artış gösterir.

Hafif ve normal betonların poisson oranları yaklaşık olarak aynıdır. Bu değer agreganın çeşidine nem durumuna ve betonun yaşına bağlı olarak genellikle 0,12-0,25 arasında değişir. Genellikle plânlama amaçları için bu değer 0,2 olarak kabul edilebilir.

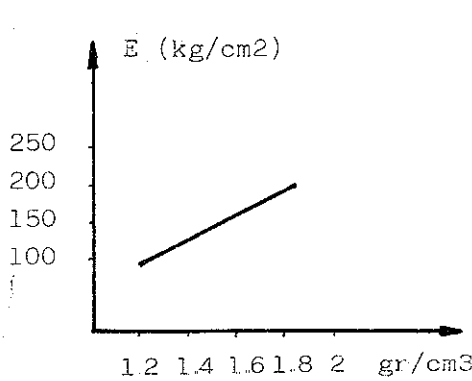
Aynı basınç dayanımı için, hafif betonun "E" değeri normal betonunkine oranla düşüktür, normal betonun "E" değerinin yaklaşık

1/3-2/3'ü arasındadır. Aşağıdaki şekilde bu gözlenmektedir.

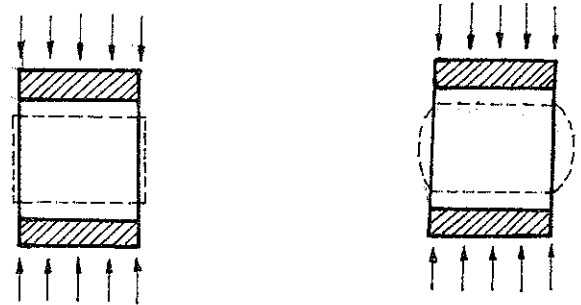


Şekil 1- Hafif ve Normal Betonun Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması

Betonda elastisite modülü, çimento hamurununki ile agreganınki arasındadır. Hafif agreganın elastisite modülü çok düşük olduğundan, bu düşüklüğün, içinde bulunduğu betona da yansması beklenmelidir. (baskı dayanımlarının eş olması halinde, normal agregalı betonunkinin %50-75'i). Elastisite modülü, hafif agreganın yoğunluğu ile artar. Strüktür tasarımı, elastisite modülünü doğrudan doğruya agrega, dolayısıyla beton yoğunluğunun fonksiyonu olarak görmek mümkündür (Şekil-2) (41).



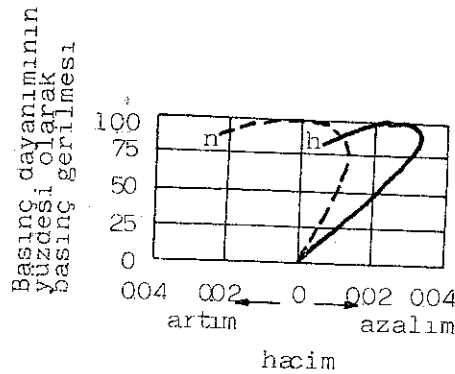
Şekil 2- Hafif Agregalı Betonda, elastisite modülünün yoğunlukla değişimi (41).



Şekil 3- Baskı altında hafif agregalı betonun deformasyonu (Poisson etkisi) (41).

Şekil 4- Baskı altında normal agregalı betonun deformasyonu (Poisson etkisi) (41).

Basınç dayanımı deneyinde, kısalmaya bağlı olarak deformasyonun seyri, normal betondakinden hayli farklıdır. Normal betonda dayanım agregası ve çimento hamuru arasında yük doğrultusundaki mikro çatlakların gittikçe çoğalması ile sona ererken, hafif agregalı betonda çekme çatlakları önce çimento hamurunda oluşmaya başlar ve agregaya sıçrar. Bunun nedeni, hafif agreganın elastisite modülünün düşüklüğüdür. Çatlaklar iri agregaları seçer ve bu gidiş ani kırılma ile sonuçlanır. Bu yüzden hafif agregalı betonda, deney sonunda normal betonda olduğu gibi (Şekil 3) hacim artımı (Poisson etkisi) görülmez (Şekil 4-5) (41).



Şekil 5- Normal ve hafif agregalı betonlarda, basınç gerilmesi ile hacim değişimi; (gerilme her iki betonda da basınç dayanımının yüzdesidir. (41)

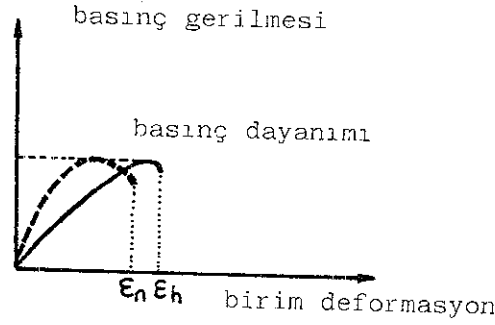
n : normal agregalı beton
h : hafif agregalı beton)

Basınç deformasyonu ile oluşan gerilme de şöyle bir farklılık gösterir: Elastisite modülünün düşüklüğü nedeniyle gerilme daha yavaş yükselir, maksimumda daha az kalır ve aniden düşer (Şekil-6). Bu farklılık, katılaştırmış çimento hamurunun agregaya göre kuvvetli olması oranında belirginlik kazanır. Hafif agregalı betonun bu özelliği, strüktür hesaplarında, normal betonda izlenenden farklı bir yol seçilmesini gerektirebilir. Örneğin; fretli kolonlar, hafif agregalı betonda, normal betondaki kadar üstünlük göstermezler. Çünkü, elastik sınırın altında fretaj etkisi pek azdır. Ancak fretin, betonun parçalanmasından sonra, dağılmayı önleme şeklinde fayda sağlayacağı şüphesizdir (41).

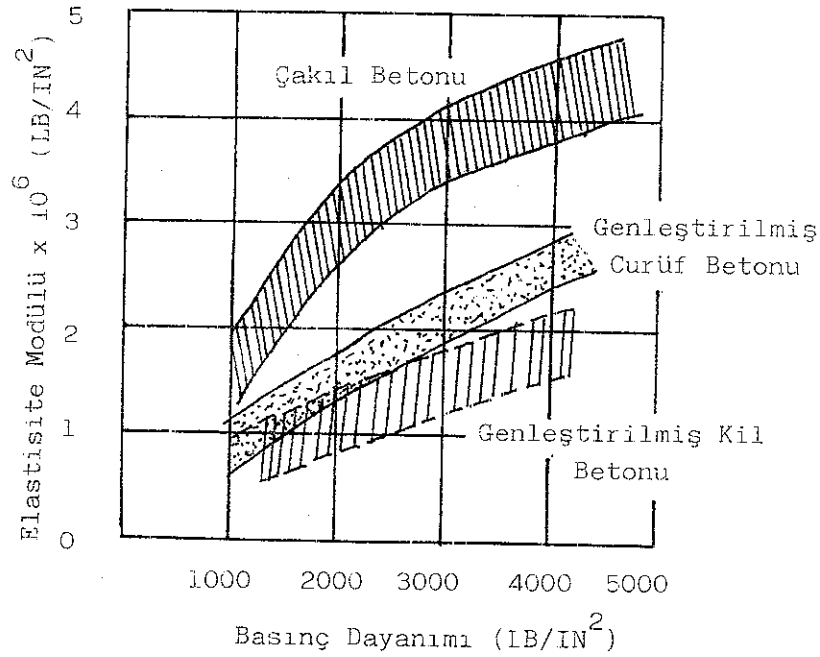
Basınç dayanımı ile elastisite modülü arasında bazı bağıntılar bulunmuştur.

$$E_c = k_c (f_c)^{1/3}$$

Burada $k=9100$ olarak elde edilmektedir. Baskı dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişki (Şekil-7)'de görülmektedir.



Şekil 6- Normal ve hafif agregalı betonlarda birim deformasyon-baskı gerilmesi ilişkisi; (gerilme, her iki betonda da, baskı dayanımının yüzdesidir. n : normal agregalı beton , h : hafif agregalı beton) (41).



Şekil 7- Elastisite Modülü - Baskı Dayanımı ilişkisi

Hafif betonların "E" değerleri 10×10^3 - 30×10^2 mPa arasında değişmektedir. Elastisite modülünün değeri betonarme elemanlar için önemlidir. Eğilme etkisindeki elemanlarda, kesitteki gerilme dağılımını etkiler.

2.7.5 Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi

Popovics (43), betonun kısa süreli gerilme-şekil değiştirme eğrileriyle ilgili bir çalışmada şu açıklamalara yer vermiştir: Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi, aynı su/çimento oranındaki harç veya çimento hamuruna göre daha fazla bir eğriliğe sahiptir. Gerilme-şekil değiştirme eğrisindeki bu eğrilik agrega ile harç (veya çimento hamuru) temas yüzeyinde oluşan mikroçatlamalardan kaynaklanır. Popovics, gerilme-şekil değiştirme eğrisinin biçimine agrega içeriğinin önemli derecede etki yapacağını, bundan başka yükleme hızının da eğrinin biçimi üzerinde etkili olacağını belirtmiş. Popovics başka bir çalışmada da (44) betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin biçiminin yukarıda anlatılan mikroçatlama sürecine bağlı olduğunu belirtmiştir.

Cornell grubundan Shah ve Winter (45), Hsu ve arkadaşları (46) ile Shah ve Slate (47) adlı araştırmacılar da betonun gerilme-şekil değiştirme davranışındaki eğriliğe daha çok agrega ile harç (veya çimento hamuru) temas yüzeyinde oluşan mikroçatlamaların yol açtığını ortaya koymuşlardır. Hsu ve arkadaşları betonun iç yapısında yük uygulamadan önce varolan ve çok düşük gerilmelerden itibaren sayıca artmaya ve ilerlemeye başlayan bu mikroçatlakların betonun gerilme şekil değiştirme eğrisini ve kırılma davranışını önemli ölçüde etkileyeceğini belirtmişlerdir.

Grimer ve Hewitt (48), hafif betonların gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin inen kısmını da incelemişler ve şu sonuçlara varmışlardır: Agrega ve matrisin rijitlikleri nedeniyle bu iki bileşende farklı gerilme yayılışları oluşur. İç çatlakların gelişme hızı ise agrega ile matrisin rijitlikleri arasındaki farkla ilgilidir. Agrega rijitliği matris rijitliğine yaklaştıkça gerilme-şekil değiştirme eğrisinin eğriliği azalır ki, bu durum deney sonuçlarıyla uyum halindedir. Yüksek mukavemetli normal betonlarla, hafif betonların gerilme-şekil değiştirme eğrileri düz bir doğruya daha yakındır. Araştırmacıların

verdikleri deney sonuçlarında daha hafif olan betonun tek eksenli basınç altında en büyük gerilme noktasından sonra ani bir inişle çok gevrek biçimde kırıldığı görülmektedir. Grimer ve Hewitt, bütün betonları yarı plâstik bir malzeme varsaymanın doğru olmadığını, bu varsayıma uyan betonlar ile uymayan betonlar arasında bir ayırım yapmanın daha doğru olacağını belirtmişlerdir.

Wesche (50), hafif betonların gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin normal betonunkine benzerlik göstermesine karşın, bunların fazla eğrilik yapmadığını, göçmenin de eğim yapmaksızın olduğunu ve en büyük gerilmeden sonra inen kısmının birdenbire meydana geldiğini belirtmiştir. Bundan dolayı araştırmacı, hafif betonarmenin tasarımında gerilme-şekil değiştirme eğrisinin normal betonun ki gibi gözönüne alınamayacağını, hafif betondan yapılan betonarme kirişte basınç bölgesindeki gerilme yayılışını parabolik bir eğriden çok düz bir doğru gibi düşünülebileceğini bildirmiştir.

Illig ve arkadaşları (49), sabit deformasyon hızıyla hafif agregalı betonların gerilme-şekil değiştirme eğrilerini çizmişler, bu eğrilerin altında kalan alanları hesaplayarak tokluk ve bağıl tokluk değerlerini bulmuşlar ve gevrek davranış gösteren betonlar ile daha az gevrek davranış gösteren betonları ayırmışlardır.

Yüksek mukavemetli betonlarda mikroçatlama içeriği normal betonunkinden belirgin derecede azdır. Mikroçatlamanın içeriği yaklaşık olarak şekil değiştirmeye lineer olarak bağlıdır. Yüksek mukavemetli beton, normal betona göre şekil değiştirme bağıntısında basınç mukavemetinin daha büyük yüzdesine kadar lineerdir (51).

Strain-Softening (şekil-değiştirme yumuşaması) gerilme-şekil değiştirme eğrisinin inen kısmının incelenmesinde böyle bir olayın sürekli bir malzemeden ziyade beton benzeri heterojen malzemeden oluştuğu söylenir. Göçme, şekil değiştirme yerel kararsızlığı ile olur (52).

Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin biçimi şunlardan etkilenir. 1- Yükleme hızı, 2- Gerilme türü, 3- Agreg a/çimento oran ve hamur yapısı, 4- Maksimum agreg a boyutu, 5- Rutabet (53).

S.P.Shah and F.J.Mc Carry 22x2x2 inç boyutunda çentikli basit kiriş üzerinde yaptıkları deney sonunda gerilme-şekil değiştirme eğrisi altında kalan alanı (tokluğu) ölçmüşler. Agreg a konsantrasyonu ve maksimum agreg a boyutunun artmasıyla tokluğun arttığını saptamışlar (54).

Yüksek agreg a konsantrasyonlu betonda gerilme-şekil değiştirme eğrisinin inen kolu yavaş olur. Agreg a konsantrasyonunun artması daha çok kusur oluşturur (43).

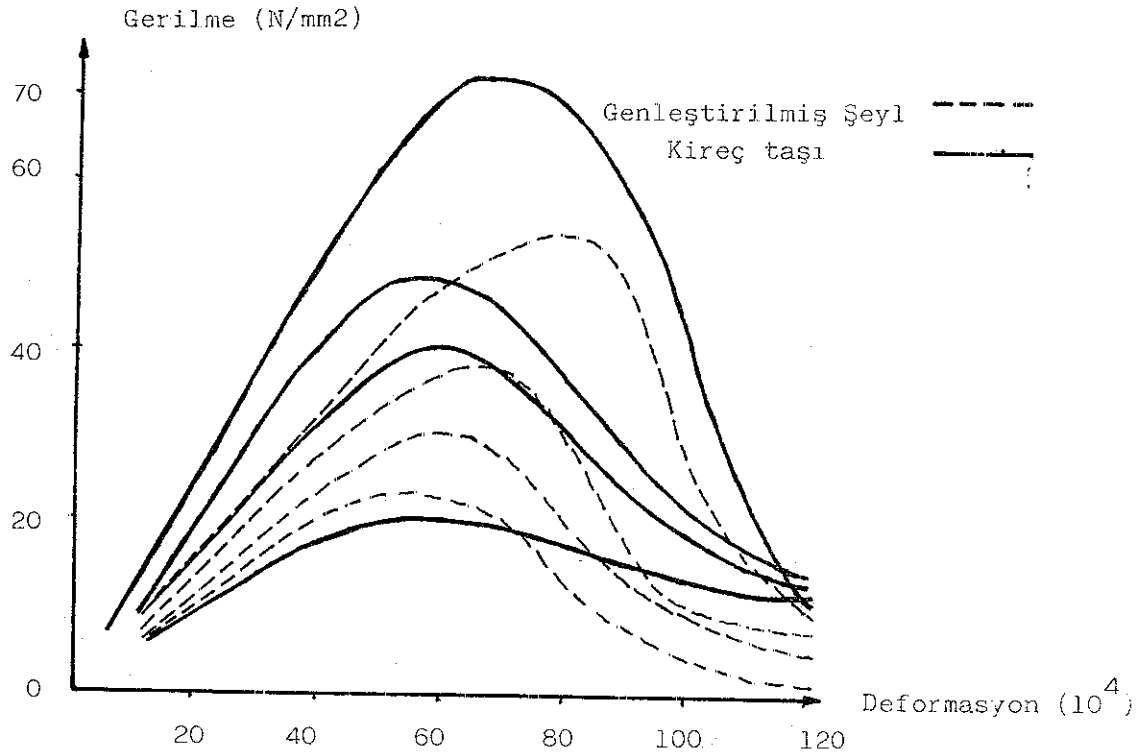
Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi üzerinde agreg anın etkisi araştırıldığında, normal agreg alı betonların gerilme-şekil değiştirme eğrisi altında kalan alan daha fazladır. Normal agreg alı betonlarda bağı l tokluk daha yüksektir. Çünkü hızlı çatlak yayılma bölgesinde çatlaklar agreg a içindedir. Normal agreg alı betonlarda, agreg a rijitliği arttıkça inen kısım yavaş, hafif agreg ada ise daha anidir (55). Kırılma tokluğu su/çimento oranı azaldıkça artar (56).

Şekil- 8'de görüldüğü gibi max.geril medeki deformasyon miktarı normal beton için silindir basınç dayanımından bağımsızdır, hafif beton için dayanım arttıkça artmaktadır. Fransız araştırmacılar da benzer sonuca varmışlar ve " $\sqrt{b}$ " max.basınç gerilmesi, " ϵ_k " ise bu gerilmeye karşı gelen deformasyon olmak üzere;

$$\text{Hafif beton için : } \epsilon_k = 0,78 (\sqrt{b})^{1/3}$$

$$\text{Normal beton için : } \epsilon_k = 0,59 (\sqrt{b})^{1/3}$$

İngiliz araştırmacılar bir seri beton deneyi sonunda, normal beton için max.geril medeki (24 N/mm² civarında) deformasyon miktarını 0,0015 civarında, Leca betonu için 0,003 olarak bulmuşlardır. Leca, genleştirilmiş bir tür kil agregadır.



Şekil-8 Basınç gerilmesi/deformasyon eğrileri

Gerekliğin bir ölçüsü olarak, gerilme/deformasyon eğrisinin inen kısmı incelenmiştir. İnen kısmın eğimi, agregaya yoğunluğu azaldıkça artmaktadır. Taşıyıcı beton üretiminde kullanılan daha yoğun hafif agregaya ile üretilen betonlarda inen kısım, normal betonlardakine benzemektedir. Halbûki bu betonlar daha az sünektir. Şekil-8'den görüldüğü gibi hafif betonlarda eğrinin inen kısmının eğriliğinin normal betonlara oranla daha fazla olduğu görülmüştür.

Bir betonarme yapıda, çapraz donatı, çatlakları sınırlandırarak malzemenin daha sünek davranmasını sağlar. Hafif beton ile normal beton arasındaki temel farklılık gerilme/deformasyon ilişkisindedir.

2.7.6 Çatlak Gelişimi ve Kırılma

Hafif betonların gerilme-şekil değiştirme eğrileri normal betonlarinkine benzerlik göstermesine karşın, başlangıçta yatay

eksene doğru olan eğrilme daha azdır. Deneyler, hafif agregalı normal betonda gerilme-şekil değiştirme eğrisinin inen kısmının daha hızlı ve ani iniş ortaya koyduğunu göstermiştir. Yine, hafif betonların gerilme-şekil değiştirme eğrileri fazla eğrilik yapmamakta, göçme de eğim yapmaksızın oluşmaktadır. Burada göçme matrisin göçmesi şeklindedir. Hafif betonların gerilme-şekil değiştirme eğrisi sertleşmiş çimento hamurununkine benzerlik göstermektedir ve çok sayıdaki mikroçatlaklar eğimi azaltmaktadır (23). Mikroçatlama mekanizmasında beton, agrega ve harçtan ibaret iki fazlı bir malzeme olarak düşünülür. Betonda artan yük durumunda çatlama genellikle harç ve agrega arasındaki ara kesitlerde ilk olarak yer alır. Bunlar basit bağ çatlaklarıdır. Bağ çatlakları arasında harç çatlaklarına doğru ilerleme olur ve son olarak komlex birleşik çatlakların oluşumu göçmeye öncülük eder. Bağ çatlakları birleşik çatlakların içinde gelişmezler ve yük artmadıkça kırılmaya öncülük etmezler. Birleşik çatlaklar veya en azından onların bazı tipleri sabit kalmayıp artarlar ve sabit yük altında göçmeye öncülük ederler. Betonda mikroçatlamayla ilgili çatlaklar üç tipte guruplandırılabilir (57):

1. Bağ çatlakları
2. Harç çatlakları
3. Agrega içi çatlakları

Basit bir çatlak, herhangi bir diğer çatlağa bağlanmamış herhangi bir tipte tek bir çatlaktır. Birleşik bir çatlak ise, birbirine bağlı (örneğin; birleşik bağ ve harç çatlakları) iki veya daha fazla çatlağı ifade eder. Basit ve birleşik çatlaklar içinde mikroçatlakların ayrılması, mikroçatlamamanın iki farklı fazı arasında bir ayırım oluşturur. Bu durum aynı zamanda betonun kırılmasına öncülük eden birleşik çatlakların gelişmesidir. Bu çatlaklar yüksek gerilme ve şekil değiştirme seviyesinde oluşur. Ayrıca, çatlak gelişmesinin stabilitesi ve büyüklüğünü ifade etmek amacı ile birleşik çatlaklar kendi aralarında tiplere ayrılmışlardır. Örneğin; "Tip I" birleşik çatlaklığı, bir bağ çatlağı veya bir harç çatlağının kombinasyonundan ya da bir harç çatlağı tarafından iki bağ çatlağının bağlanmasından

ibarettir. Birleşik çatlakların sonunda iki agrega tanesi çatlak durdurucu vazifesi görebilir. "Tip II" birleşik çatlağı ise en az iki bağ çatlağı ve iki harç çatlağının birleşmesinden ibarettir. Bağ çatlakları yine en az bir harç çatlağı tarafından bağlanmışlardır.

Göçme mekanizmasını birleşik çatlakların oluşturmalarına karşın, düşük mukavemetli betonlarda basit çatlaklar, mikroçatlamaların aşamalarını belirtmektedir. Yüksek mukavemetli betonlarda, yani birleşik çatlakların hakim olduğu davranışta durum böyle değildir. Bunun nedeni; düşük mukavemetli betonlarda en dayanıksız bağın hemen hemen yalnız agrega-harç yüzeyi üzerinde yer alması ve ilerleyen çatlama mekanizmasının bağ çatlakları arasında köprü kuran harç çatlaklarından meydana gelmesidir.

Tüm betonlarda, yüklemekten önce de bazı bağ çatlakları mevcuttur. Cornell Üniversitesi'nde yapılan araştırma sonuçlarından açıkça görülmektedir ki, hidratasyon ve kuruluk, önyükleme aşamasında çatlama ya neden olan başlıca nedenlerdir.

Böylece, betonun çatlama ve göçme mekanizması genel anlamda özetlenmiş olmaktadır.

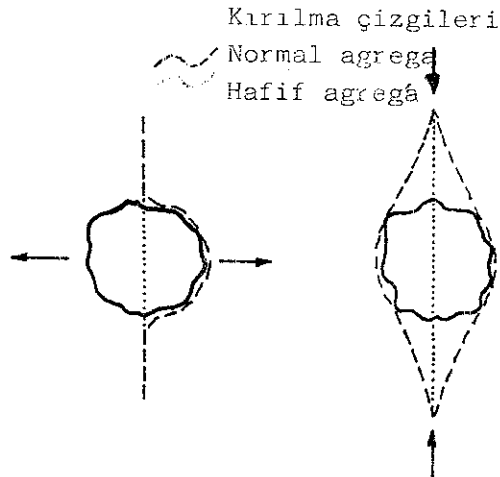
Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi, aynı su/çimento oranındaki harç veya çimento hamuruna göre daha fazla bir eğrilığe sahiptir. Gerilme-şekil değiştirme eğrisindeki bu eğrilik agrega ile harç (veya çimento hamuru) temas yüzeyinde oluşan ve mekanizması yukarıda açıklanan mikroçatlamalardan kaynaklanır. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin biçimine, agrega içeriği, yükleme hızı ve mikroçatlama süreci gibi faktörler önemli derecede etki yaparlar. Bir araştırmada, agrega ile harç temas yüzeyinde oluşan mikroçatlakların betonun içi yapısında yük uygulanmadan önce var olması ve çok düşük gerilmelerden itibaren sayıcı artmaya ve ilerlemeye başlaması, betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisini ve kırılma davranışını önemli

derecede etkileyeceği belirtilmiştir (58).

Hafif betonların gerilme-şekil değiştirme eğrilerini inceleyen bir başka araştırmada (59) şu sonuçlar ortaya çıkmıştır:

Agrega ve matrisin rijitlikleri nedeni ile bu iki bileşende farklı gerilme yayılışları oluşur. İç çatlakların gelişme hızı ise agrega ile matrisin rijitlikleri arasındaki farkla ilgilidir. Agreganın rijitliği matris rijitliğine yaklaştıkça gerilme-şekil değiştirme eğrisinin rijitliği azalır. Yüksek mukavemetli normal betonlarla, hafif betonların gerilme-şekil değiştirme eğrileri düz bir doğruya daha yakındır. Deney sonuçlarından, hafif betonun tek eksenli basınç altında en yüksek gerilme noktasından sonra ani bir inişle çok gevrek biçimde kırıldığı görülmektedir. Bu bir bakıma yükün çok hızlı boşaldığını ifade etmektedir.

Normal betonlarda maksimum yükteki şekil değiştirmenin %70'inde çatlaklar ağı oluşmaya başlar. Yüksek mukavemetli betonlarda ise belirgin çatlak basınç mukavemetindeki şekil değiştirmenin %90'ına kadar belirgin değildir (66).



Şekil 10,- Tek eksenli çekme ve basınca maruz betonda agreganın normal veya hafif olması durumuna göre oluşan kırılma çizgilerinin görünüşü (67).

Betonun göçmesi hacimsal şekil değiştirme ve hacimsal şekil değiştirmede absorbse edilen kayma şekil değiştirme enerjisine bağlıdır. Çatlama, a) Çimento hamurunun göçmesi, b) Agreganın kırılması, c) Bağ göçmesi ile başlayabilir (60).

Basınç mukavemetinin %60'ına kadar yerel çatlama ve çatlak başlangıcı vardır ve çatlaklar kararlıdır. Bu noktadan sonra harç içinde çatlaklar birleşmeye başlar ve basınç mukavemetinin %80'ine kadar çatlaklar kararlı kalır. Sonuçta sürekli çatlaklar oluşur, göçme olur. İri agrega konsantrasyonu arttıkça çatlak başlaması için gerekli şekil değiştirme enerjisi azalır (61).

Basınç mukavemetinin % 50-70'inde mikroçatlama başlar. Gerilme- nin bu değerinde çatlak büyümesi kararlıdır. Basınç mukavemetinin %80-95'inde kararsız çatlak gelişmesi oluşur (62).

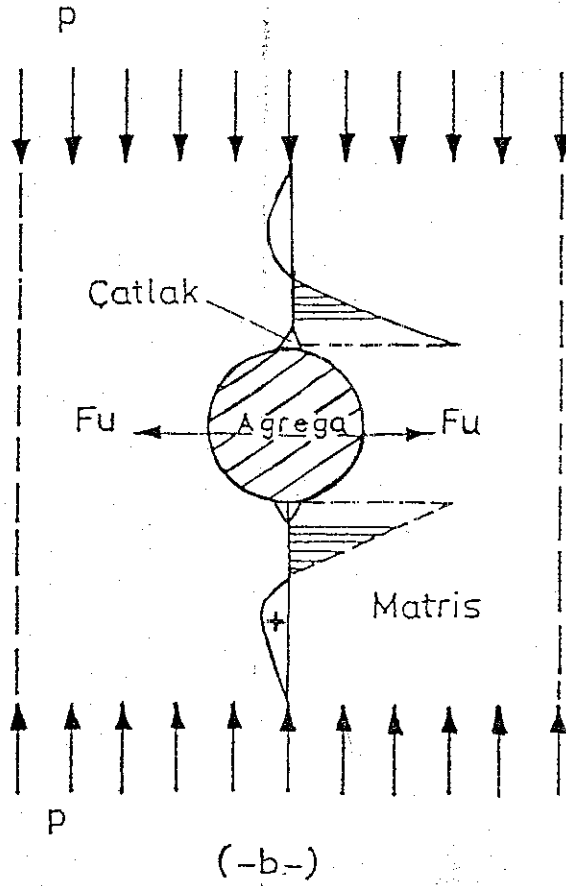
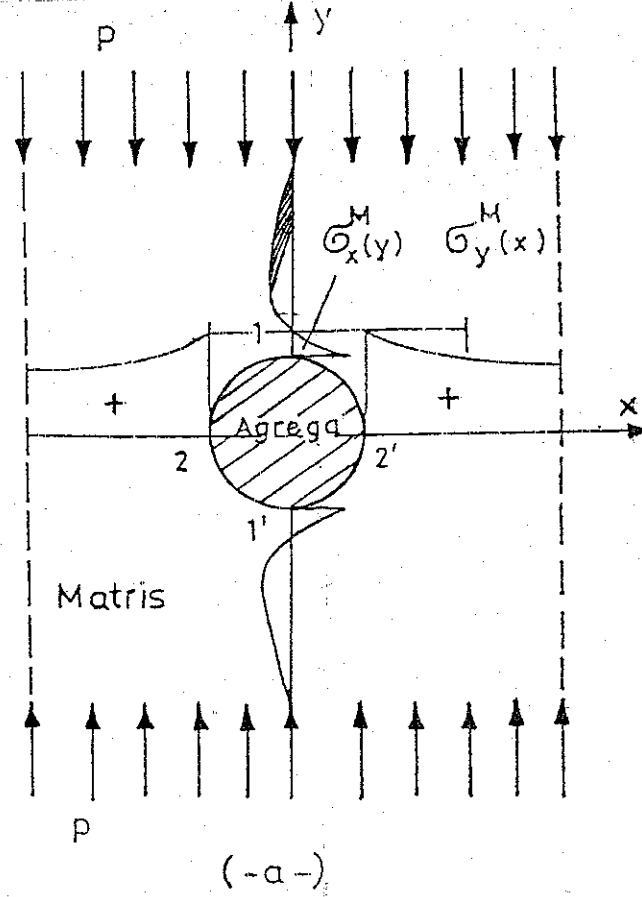
Basınç mukavemetinin %65'inin altında ilk çatlak belirgin değildir. Bağ çatlakları büyük agrega tanelerinin boşlukları arasındadır. Harç çatlakları basınç mukavemetinin %85'inde başlar. Büyük agrega taneleri arasında bağ çatlakları köprü kurma eğilimindedir (63).

Basınç mukavemetinin %85'inde çatlama agrega-çimento temas yüzeyinde ve boşluklarda oluşur. Yüksek gerilme düzeylerinde harç içine yayılır (63).

Agrega tanelerinin altında terleme bölgelerinde veya boşluklarda bağ oluşmaya başlar. Basınç mukavemetinin %60-90'ında oluşur. Basınç yüküne paralel gelişir (64).

Genel olarak ilk çatlak maksimum çekme gerilme doğrultusunda oluşur. Basınç mukavemetinin %85'in çatlama esas olarak agrega çimento harç temas yüzeyinde boşlukların etrafında oluşur. Bu noktadan sonra

çatlaklar kararsız olarak gelişir (65).



Şekil 9- Hafif Betonun Kırılmasının Modelle Açıklanması (79),(80),(81).

Betonun iç yapısına yönelik olarak gelişmesi (68), (69) artan basınç gerilmesi altındaki aderans, hamur ve agregâ çatlaklarının toplam boylarının artışını, "süreksizlik sınırı" ve "çözülme sınırı" adı verilen kritik gerilme sınırlarından geçilişi ve neticede çatlakların birleşerek bünyenin kuvvete paralel dilimlere bölünüşü ortaya konmuştur.

Çimento hamuru-agrega etkileşimi gerek model deneyleri gerekse de teorik yollardan incelenmiştir. Çatlak gelişimleri (Şekil-11)'de gösterilmiştir (70), (71), (72).

Bu açıklamalar nitelik bakımından mekanik davranışa ışık tutar. Ancak davranışla fazların hacim oranları arasında analitik ilişkiler henüz kurulamamıştır. Böyle olmakla beraber bağımsız bazı araştırmalarda beton basınç mukavemetinin agregâ hacmi oranı ile ilişkili olduğu gözlenmiştir (74).

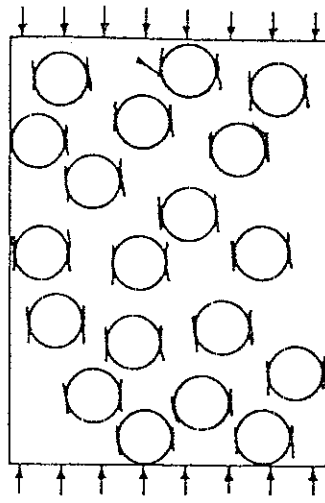
Sasse'nin (73) elde ettiği sonuçlara göre; agregâ çapı azalınca beton mukavemeti artar. Normal betonda, agregâ hacim oranı arttıkça betonun basınç mukavemeti artar. Hafif agregalı betonda, agreganın hacim oranı arttıkça betonun basınç mukavemeti azalır.

2.7.7 Rötire

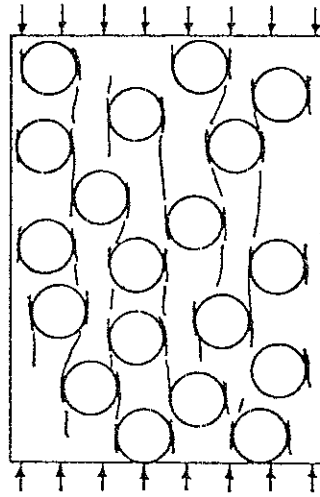
Betonda, yük uygulanmadan zamanla oluşan şekil değiştirmeye rötire adı verildiği bilinmektedir.

Rötire, deney numunesinin herhangi bir doğrultudaki boyutunda hızlandırılmış belirli kuruma koşulları altında ağırlıkça doygun halden, dengeli ağırlık ve dengeli boyut durumuna geçişinde kuruma nedeniyle oluşan değişimdir (75).

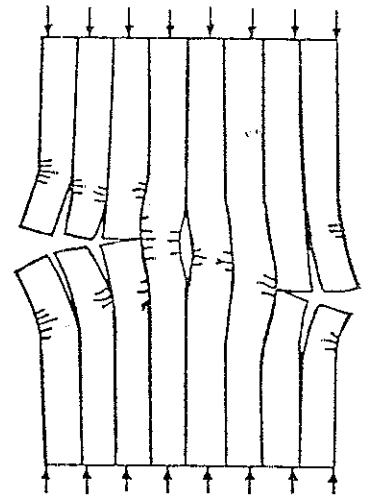
Büzülme oranı (rötire), deney numunesinin kuruması sonucu



Aderans Çatlakları

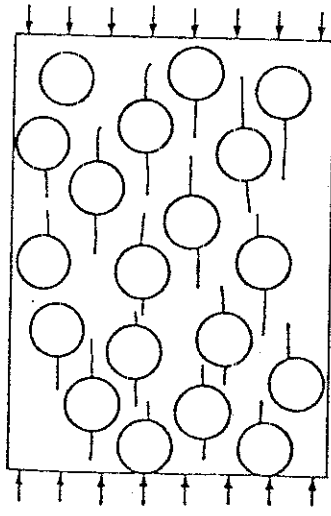


Aderans ve Hamur Çatlakları

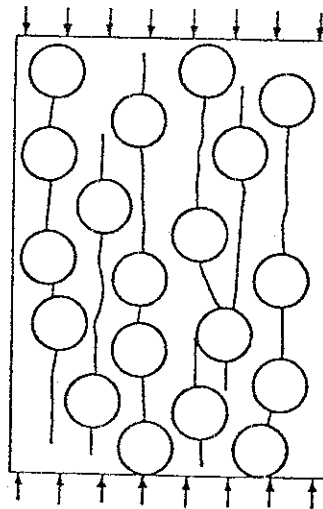


Dilim Demetinin Kırılması

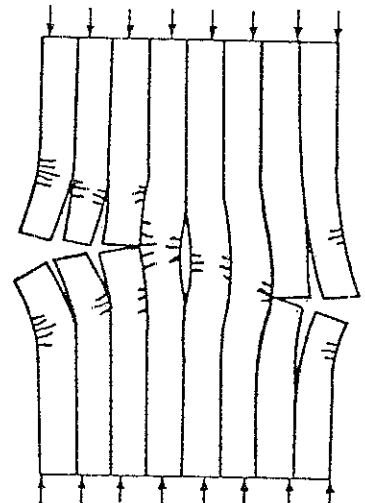
a) Normal Betonda Çatlak Gelişimi ve Kırılma



Harç Çatlakları



Boyuna Çatlaklar



Dilim Demetinin Kırılması

b) Hafif Agregalı Betonda Çatlak Gelişimi ve Kırılma

Şekil 11- Betonda artan basınç gerilmesi altında çatlak gelişimi ve kırılma.

oluşan boy kısalmasının başlangıç boyuna oranıdır (75).

Günümüzde öngerilmeli betonarme inşaatların önem kazanması üzerine betonun zamana bağlı davranışlarının incelenmesi çok daha gerekli olmuş ve bu yöndeki araştırmalar artmıştır. Bilindiği gibi rötre ve sünme dolayısıyla betonun boyu kısalmakta bu durum öngerilmeli betonlarda gerilme kayıplarına neden olmaktadır (76), (77), (78).

Beton elemanlarında rötre, hızlandırılmış kuruma koşulları altında oluşan boy değişimlerinden yararlanarak belirlenir (75).

Pratikte en çok rastlanan durum, betonun (hacim olarak) %5 oranında rutubet içermesidir. Betonun su muhtevastaki değişiklik, hacimde değişiklik nedeniyle şişme veya rötreye yol açabilir. Normal betonda bu olayda daha çok katılaştırmış çimento hamurunun rolü olur, agreganın pek etkisi olmaz. Hafif agregalı betonda ise, agrega da bu olaya önemli ölçüde katılır. Bu durumda rötre ve şişme daha büyük boyutlara ulaşabilir (aynı basınç dayanımındaki normal betonunkinin %50 fazlası). Ancak belirtilen rötre ve şişmeye ulaşılabilmesi için gerekli zaman daha fazladır.

Rötreden sonra şişme olayı ile eski değerin ancak %80'ine ulaşılabilir (41).

2.7.8 Sünme

Sünme denilen olay yük uygulanmadan zamanla oluşan şekil değiştirme olarak adlandırılan rötreden farklıdır. Beton basınç altında kurumakta iken, genel olarak rötre ve sünme yapmaktadır. Ölçüler bize bu iki şekil değirtirmenin toplamını vermektedir. Bu nedenle sünme yük uygulanmış numunenin toplam şekil değıştirmesi ile yanı koşullarda ve aynı yaştaki numunenin rötre şekil değıştirmesi arasındaki fark olarak kabul edilir. Ancak gerçekte rötre ile sünmenin

birbirinden ayrılması çok güçtür.

Sünme olayı zaman ve uygulanan gerilme ile yakından ilgilidir. Uygulanan gerilmenin değeri büyüdükçe bunun meydana getireceği sünmenin değeri büyür. Beton gerilmenin etkisi altında kaldığı sürece ani deformasyondan sonra meydana gelen deformasyon zamanla devamlı bir artış göstermektedir. Böylelikle gerilmenin uygulama süresi artarken betonun yaptığı sünmede gittikçe büyük değerler alacaktır. Bu kısa açıklama sünmenin gerilme ve zamanın etkisi altında bulunduğunu hemen göstermektedir. Bütün sorun gerilmenin ve zamanın değişmesiyle sünmenin nasıl bir değişme gösterdiğinin saptanmasıdır. Sünme betonun mekanik karakteristikleri arasında yer almaktadır. Bu karakteristikler de betonun bulunduğu ortam şartlarının etkisi altında olduğundan betonun sünmesi de ortam şartlarının etkisi altındadır.

Betonun sünmesine etki eden faktörleri şöyle sıralamak mümkündür.

- Betonun bileşimi (ki bunlar bileşime giren çimento ve su miktarı; agreganın minerolojisi, dane çapı ve granülometrisi ile sürüklenmiş hava katkılardan oluşur.)
- Karışım süresi ve vibrasyon
- Kür süresi ve yükleme yaşı
- Gerilme/mukavemet
- Çevre rutubeti ve sıcaklığı

2.7.9 Isı İletkenliği

Agrega, işgal ettiği hacim nedeniyle genişlemede etkin rol oynar. Genleştirilmiş kil veya killi şist dışında, hafif agregalı betonlarda $4-6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 'lik bir genişleme beklenmelidir. Kil esaslılarda ise genişleme $5-11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ortalama olarak $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ alınabilir ki, bu da normal betonunkine yakındır.

Isı iletimi, beton yapısındaki su muhtevasına bağlıdır. Su,

kuru durumuna göre %25'lik artışa yol açabilir. Ancak, hafif agregalı betonun ısı iletkenliği normal betona kıyasla çok düşüktür. İnce agregalar olarak doğal kum yerine hafif agregalar kırıntılarının kullanılması halinde bu fark daha da artar. Isı iletkenliği ile yoğunluk arasında sıkı bir bağıntı vardır (41).

Isı yalıtımı enerji tasarrufu açısından önemlidir. İkinci bir yararı daha vardır. Soğuk havalarda duvar ve çatıların iç yüzeylerinde beton içindeki emici malzemelerde yoğunlaşma meydana gelir. Bu olay sağlık açısından zararlıdır. Ayrıca, eğer varsa, betondaki donatının korozyonunu hızlandırır. Yoğunlaşma nedeniyle malzemedeki nem oranının artması ısı iletkenliğini de arttırır.

Hafif betondaki hava boşlukları, ısı iletkenliğinin düşük olmasını sağlar. Havanın ısı iletkenliği suyunkinin 1/25'i kadardır.

2.7.10 Su Emme ve Su Geçirimsizliği

Hafif agregalar daha çok boşluk içerir. Ancak bunların irtibatlı olup olmaması ve agregalar yüzeyinin geçirimsiz olup olmaması, sonucu çok etkiler. Genel olarak su emmenin, normal betonunkinden fazla, fakat iki katından da az olduğu kabul edilir. Yüksek dayanımlı hafif betonlarda su emme, normal betonunkine eşdeğerdir (41).

2.7.11 Ultrases Hızı

2.7.11 bölümünde M.A. Taşdemir'in (82) çalışması olan hafif agregalı betonlarda ölçülen ultrases hızı deney sonuçlarına yer verilecektir. Yıkıntısız bir deney yöntemi olan ultrases hızına uygulamada sık sık başvurulur. Betonun basınç mukavemeti ultrases hızının bir fonksiyonudur. Genel olarak, ultrases hızı arttıkça betonun basınç mukavemeti artmaktadır. Basınç mukavemeti ile ultrases hızı arasında bağıntılar üstel fonksiyon, kuvvet fonksiyonu veya polinom fonksiyonu biçiminde

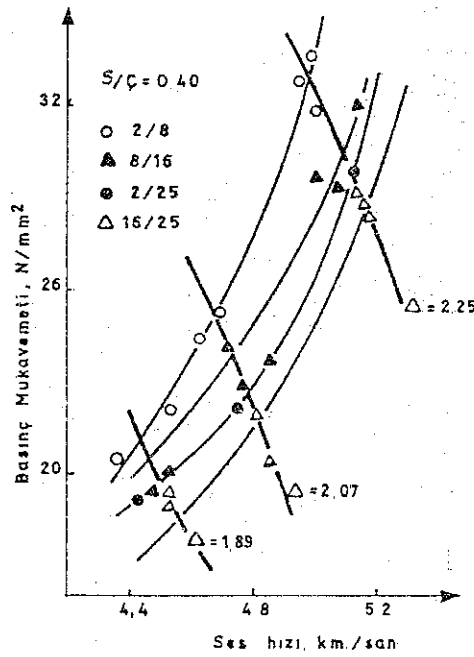
verilir. Burada önce basınç mukavmeti ile ultrases hızı arasındaki ilişkide ortalama hafif agrega boyutunun rolü üzerinde durarak, daha sonra ultrases hızının beton birim ağırlığına olan etkisi incelenmiştir.

Şekil-12'nin incelenmesinden görüldüğü üzere ultrases hızı arttıkça beton basınç mukavemeti genel olarak artmaktadır. Ancak, aynı bir birim ağırlık ve aynı bileşimdeki betonlar için boyuttan ileri gelen bazı değişmeler vardır. Bu şekil üzerinde eş birim ağırlık eğrilerini de çizersek şu sonuç elde edilir; aynı bir birim ağırlıktaki betonların basınç mukavemeti ultrases hızı arttıkça azalmaktadır. Ortalama hafif agrega boyutu arttıkça basınç mukavemetinin azaldığı kanıtlanmıştı. Şekil-12'deki basınç mukavemetinin ultrases hızına göre azalmasının nedeni şöyledir: Ortalama hafif agrega boyutu arttıkça ultrases hızı artmaktadır. Böylece söz konusu şekilden görüldüğü gibi basınç mukavemeti-ultrases hızı bağıntısında ortalama hafif agrega boyutu önemli bir işleve sahip olmaktadır. Bu şekil, etkin su/çimento oranı 0,40 olan betonları içermektedir. Benzer ilişkiler diğer etkin su/çimento oranına sahip hafif agregalı betonlar için de geçerlidir (82).

Ultrases hızının ortalama hafif agrega boyutundaki artma ile olan artışını şöyle açıklamak olanaklıdır. Ponza taşı hafif agregasının rijitliği bunu çevreleyen agregalı harç fazının rijitliğinden daha küçüktür. Dolayısıyla bu devamlı faz içinde hafif agrega kusur gibi düşünülebilir. Hafif agrega hacmi aynı iken, boyut küçüldükçe kusurların sayısı artmaktadır. Hafif agrega boyutunun büyümesi kusurların sayısını azaltmaktadır. Kusur sayısı fazla iken, ses dalgaları bu noktalara takılmakta, yön değiştirmekte ve sesin yayıldığı uzaklık artmaktadır. Yani kusurlar biraraya toplandığından ses dalgası kendine daha az kusur içeren bir geçiş yolu bulabilir. Bundan dolayı ortalama hafif agrega boyutu küçük iken, ses hızı küçük çıkmaktadır. Ortalama hafif agrega boyutu arttıkça tersi durum oluşmakta,

yani ses dalgaları daha az kusurlu noktaya takıldığından ortam içinden daha kolay ve erken yayılabilmektedir (82).

Şekil-12'den görüldüğü gibi, aynı bir ses hızına karşı gelen mukavemet değerleri iri bölümü hafif agregalı betonlar için düşük, ince bölümü hafif agregalı betonlar için daha yüksektir. Yani aynı bir birim ağırlıktaki betonlarda ortalama hafif agregalı boyutu arttıkça mukavemet azalmaktadır. Genelde, ses hızı arttıkça mukavemetin arttığı aynı şekilde görülmektedir.



Şekil 12- Baskın mukavemeti ile ultrases hızı bağıntısına ortalama hafif agregalı boyutunun etkisi (82).

Şekil-13'de ortalama hafif agregalı boyutu aynı olan değişik etkin su /çimento oranına sahip hafif agregalı betonların ultrases hızı ile baskın mukavemeti arasındaki bağıntılar görülmektedir. Bu şekilde hamur yapısının baskın mukavemeti ile ultrases hızı arasındaki ilişkiye olan etkisi anlatılmak istenmektedir. Yani aynı bir ultrases hızı için sağlam hamur yapısına sahip hafif agregalı betonların baskın mukavemeti zayıf olanına oranla daha yüksek olur (82).

Bütün ponza taşı hafif agregalı betonun baskın mukavemeti ile ultrases hızı arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntıyla gösterilebilir.

$$R = a \cdot v^n$$

(2.8.1)

Bu bağıntıda "R" basınç mukavemeti, "v" ultrases hızı olup, "a" ve "n" katsayıları ise sırayla 0,384 ve 2,59'dur. Bu (2.8.1) denkleminde ortalama hafif agregaya boyutuyla etkin su/çimento oranı ve birim ağırlığın etkisi gözönüne alınmaksızın bütün ponza taşı hafif agregalı beton deney sonuçları kullanıldı. Bu bağıntıdaki korrelasyon katsayısı ise 0,857'dir. Bu tip bir bağıntı aynı sayıdaki tek bir ortalama hafif agregaya boyutuna ait sonuçlar için düşünülürse korrelasyon katsayısı daha da artar.

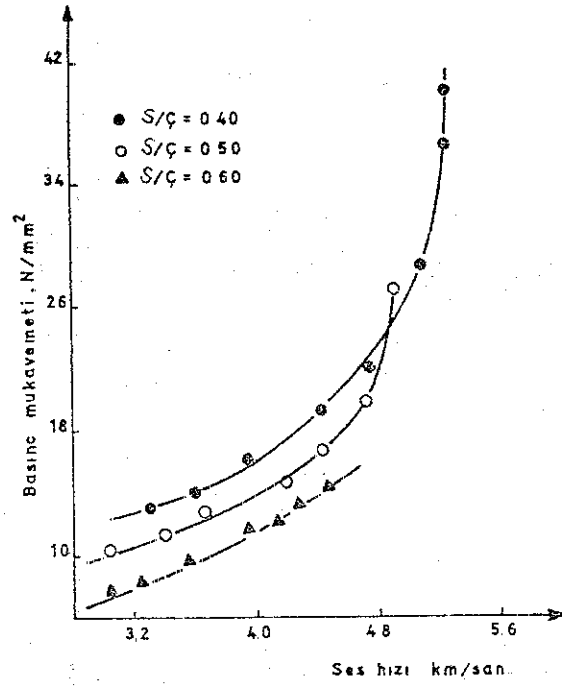
Şekil-14'de görüldüğü gibi beton birim ağırlığı arttıkça ultrases hızı artmaktadır. Bu şekil aynı bir ortalama hafif agregaya boyutu (13,8 mm) için çizildi. Söz konusu şekilden görüldüğü gibi aynı bir birim ağırlık için etkin su/çimento oranı düşük yani hamur yapısı sağlam betonun içinden geçen sesin hızı, hamur yapısı zayıf olanına göre daha yüksektir (82).

Söz konusu şekilden görüldüğü gibi ultrases hızı ile birim ağırlık arasında hemen hemen lineer bir bağıntı vardır. Ortalama hafif agregaya boyutu ile etkin su/çimento oranı faktörlerini gözönünde bulundurmadan hafif agregalı betonların birim ağırlığı (Δ) ile ultrases hızı (v) arasında aşağıdaki bağıntı kuruldu.

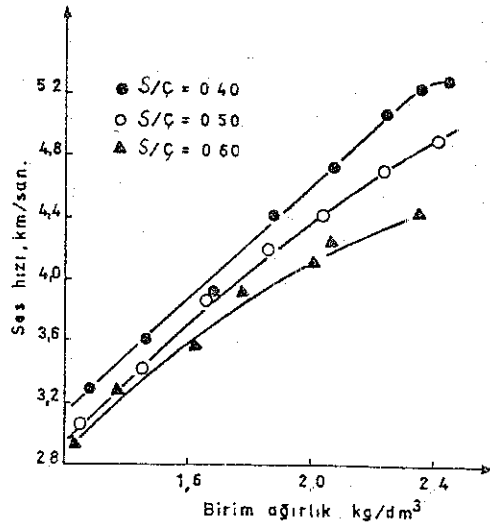
$$v = a\Delta + b$$

(2.8.2)

Burada a ve b katsayıları sırasıyla 1,76 ve 0,90'dır. Bu bağıntıdaki korrelasyon katsayısı 0,908'dir. Birim ağırlık ile ultrases hızı arasındaki bu bağıntı etkin su/çimento oranı düşük yani mukavemeti yüksek betonlarda daha iyi korrelasyon vermektedir (82).



Şekil 13- Basınc mukavemeti-ultrases hızı bağıntısına su/çimento oranının etkisi (82).



Şekil 14- Ultrases hızının birim ağırlığına göre değişimi (82).

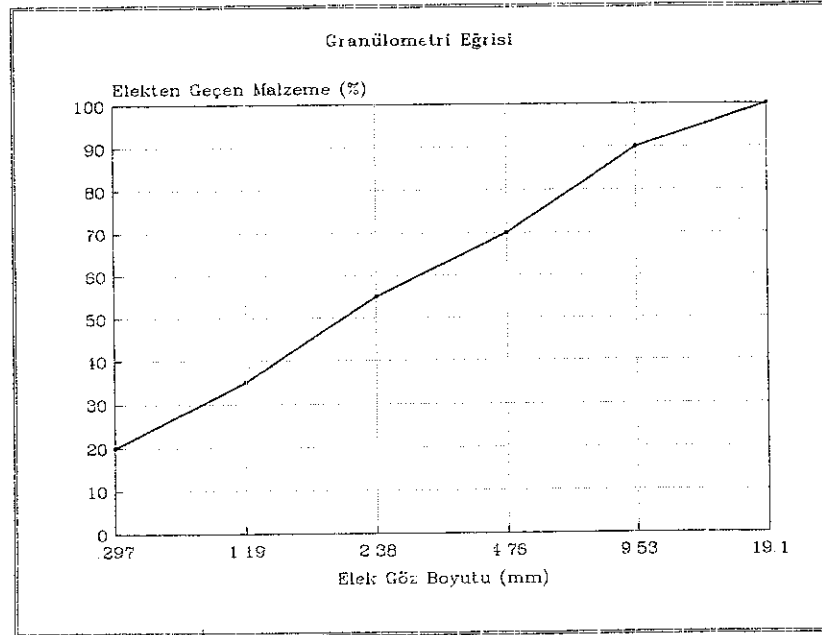
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Araştırmada kullanılan malzemelerin tanıtılmasından sonra, yapılan deneyler hakkında bilgi verilecektir.

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Agregalar

Çalışmada kullanılan hafif agregalar ve normal agregalar Isparta civarından getirilmiştir. Hafif agregalar olarak Isparta çevresinde zengin bir potansiyelde bulunan ponza taşı kullanılmıştır. Normal agregalar da Atabey ilçesindeki ocaktan getirilmiştir. Yarı hafif beton üretiminde, hafif agregalar yerine kullanılan normal agregalar, deneylerle saptanarak hafif agreganın hacmine karşılık gelen miktar kadar kullanılmıştır. Max. dane boyutu olarak $3/4'' = 19,1$ mm'lik agregalar kullanılmıştır. Agreganın granülometrik durumu yapılan tüm deneylerde aynı şekildedir. Granülometri eğrisini çizersek;



Şekil 15- Hafif Agregalar Granülometri Eğrisi

3.1.1.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Hafif agregalar üzerinde yapılan bu deneyde aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır. Bu deney TS 707 ve TS 1114'e göre yapıldı.

<u>Hafif Agregası Grubu</u>	<u>Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık</u>
1" - 3/4"	1,62 gr/cm ³
3/4" - 3/8"	1,65 gr/cm ³
3/8" - 4no	1,69 gr/cm ³
4no - 8no	1,89 gr/cm ³

3.1.1.2 Su Emme Miktarı

Hafif agregalar üzerinde yapılan bu deneyde şu sonuçlar elde edilmiştir.

<u>Hafif Agregası Grubu</u>	<u>Su Emme (%) 10 dk.</u>
1" - 3/4"	21
3/4" - 3/8"	19
3/8" - 4no	19
4no - 8no	18

3.1.2 Çimento

Araştırmada kullanılan çimento Isparta Göltaş Çimento Fabrikası üretimi KPÇ 325 (Katkılı Portland Çimentosu)'dur. Fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Özgöl ağırlığı	: 3,03
Litre ağırlığı	: 1160 g.

Pane inceliği

1 cm ² 'de 950 delikli elekten kalan	: % 0,8
1 cm ² 'de 4700 delikli elekten kalan	: %10,5
Özgöl yüzey (Blain'e göre)	: 3050 cm ² /g

Donma

Donma başlangıcı	: 2 saat 45 dakika
Donma sonu	: 4 saat 15 dakika

Çekme dayanımı (ortalama)

2 gün	: 39,9 kgf/cm ²
7 gün	: 52,0 kgf/cm ²
28 gün	: 67,7 kgf/cm ²

Basınç dayanımı (ortalama)

2 gün	:160,0 kgf/cm ²
7 gün	:268,0 kgf/cm ²
28 gün	:375,0 kgf/cm ²

Harçta kullanılan suyun sıcaklığı : 20°C

Ortam bağıl nemi : % 60

Hacim değişikliği (Le Chatelier'e göre) : 3 mm

3.1.3 Su

Araştırmada Isparta şehir içme suyu kullanıldı.

3.1.4 Katkı Maddeleri

Karışıma akışkanlaştırıcı madde olarak Tricosal BV çimento miktarının (kg) %0,15 ve %0,25 oranlarında, ayrıca süper akışkanlaştırıcı madde olarak yine çimento miktarının (kg) %1,8 oranında Multifluid katıldı. Bu iki katkı maddesi de sıvı olarak üretimde kullanıldı. Renkleri koyu kahverengidir.

3.2 Beton Bileşim Hesapları

3.2.1 Kabul Edilen Esaslar

Daha önce belirtildiği gibi bu çalışmadaki en büyük agreganın boyutu sabit ve 19,1 mm olan hafif betonun sürekli granülometrisinin çeşitli bölümleri normal agregaya ile değiştirilmekte, granülometri

daima aynı tutulmakta ve dozajda 250-300-350-400 olmaktadır. Su/çimento oranı sabit olmayıp, yeterli çökme değeri elde edilinceye kadar değiştirildi.

Araştırmada kullanılan betonların tipleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- a) Su/çimento oranı 0,50 olan, 300 dozajlı, katkısız, 17 adet hafif agregalı karışım.
- b) Su/çimento oranı 0,50 olan, 250 dozajlı, katkısız, 19 adet hafif agregalı karışım.
- c) Su/çimento oranı 0,50 olan, 350 dozajlı katkısız, 20 adet hafif agregalı karışım.
- d) Su/çimento oranı 0,50 olan, 400 dozajlı, katkısız, 20 adet hafif agregalı karışım.
- e) Su/çimento oranı 0,47 olan, 400 dozajlı, % 0,15 Tricosal BV katkılı, 20 adet hafif agregalı karışım.
- f) Su/çimento oranı 0,45 olan, 400 dozajlı, % 0,25 Tricosal BV katkılı, 20 adet hafif agregalı karışım.
- g) Su/çimento oranı 0,38 olan, 400 dozajlı, % 1,8 Multifluid (süper akışkanlaştırıcı) katkılı, 19 adet hafif agregalı karışım.
- h) Su/çimento oranı 0,52 olan, 400 dozajlı, katkısız, 20 adet No 4 altı normal agrega, No 4 üstü hafif agregalı karışım.
- ı) Su/çimento oranı 0,45 olan, 400 dozajlı, % 0,25 Tricosal BV katkılı, 20 adet No 4 altı normal agrega, No 4 üstü hafif agregalı karışım.
- i) Su/çimento oranı 0,42 olan, 400 dozajlı, % 1,8 Multifluid (süper akışkanlaştırıcı) katkılı, 19 adet No 4 altı normal agrega, No 4 üstü hafif agregalı karışım.
- k) Su/çimento oranı 0,48 olan, 400 dozajlı, % 0,25 Tricosal BV katkılı, 20 adet No 4 altı hafif agrega, No 4 üstü

normal agregalı karışım.

- 1) Su/çimento oranı 0,42 olan, 400 dozajlı, % 1,8 Multifluid (süper akışkanlaştırıcı) katkılı, 20 adet No 4 altı hafif agrega, No 4 üstü normal agregalı karışım.

3.2.2 Bileşim Hesapları

Daha önce de belirtildiği gibi, bu çalışmada en büyük agrega boyutlu sabit ve 19,1 mm olan hafif bir betonun sürekli granülometrisinin çeşitli bölümleri normal agregayla değiştirilmiştir.

Genel olarak hafif beton bileşim hesabında kullanılmak üzere başlıca yöntemler şöyle özetlenebilir:

1. Mutlak hacim yöntemi
2. Pikrometre ile bulunan özgül ağırlık faktörü yöntemi
3. Deneme karışımlarından bulunan özgül ağırlık faktörü yöntemi
4. Hacımsal yöntem
5. Ağırlık yöntemi
6. Etkin su/çimento yöntemi

Görüldüğü gibi hafif betonların karışım hesapları üstüne birçok yöntem önerilmektedir. Hafif beton karışım hesapları normal betona göre biraz karmaşıktır. Bu karmaşıklığın nedeni hafif agregaların su emmesidir. Harç fazındaki suyun emilmesi nedeniyle bu fazdaki su ve hava hacmi değişmektedir. Harç fazından suyun emilmesi agregadan agregaya da değişiklik gösterir. Bundan dolayı normal betondaki gibi hava hacminin hesapla bulunması güçtür. Taze hafif betonda agrega ve çimento hacminin dışındaki hacim "geri kalan (su+hava)" olarak verilir. Hava hacmi başka bir deneyle saptanmamış ise hesapla verilmesi tercih edilmez.

Bu çalışmadaki beton bileşim hesaplarında temel yöntemlerden olan mutlak hacim yöntemi kullanıldı. Ön deneyler de yaparak herbir

Üretimdeki agrega hacmi aynı tutuldu.

Beton bileşim hesaplarında izlenen yol:

- C : 1 m³ yerleşmiş betondaki çimentonun ağırlığı, (kg)
E : 1 m³ yerleşmiş betondaki suyun hacmi, (dm³)
 δ_c : Çimentonun özgül ağırlığı, (kg/dm³)
 δ_{ai} : (i) agregasının birim hacim ağırlığı, (kg/dm³)
Pi : (i) agregasının karışım yüzdesi
Va : Toplam agrega hacmi, (dm³)
w=E/C : Etkin su/çimento oranı (ağırlıkça)
h : 1 m³ yerleşmiş betondaki hava hacmi olduğuna göre,
(dm³)
Va : 1000-(C + E + h) yazılır.
Gi : (i) δ_c agregasının ağırlığı ise karışım şöyle elde edilir:

$$Gi = Va \times Pi \times \delta_{ai}$$

$$E = w \cdot c$$

3.2.3 Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme, Kür

Bütün betonlar resimde görülen küçük betoniyerde karıştırılarak üretildi.

Hafif agregalara üretimden önce 10 dk'lık bir ön emdirme uygulandı. Önceden agregalara emdirilen su, hafif agrega ağırlığının yaklaşık % 17'sidir. Böylece işlenebilme ve yerleştirmenin kolaylaşması sağlandı. Daha sonra karışıma girecek tüm malzemeler bu betoniye konularak iki dakika karıştırma uygulandı.

Üretilen betonlar 10x10x10 cm'lik resimde görülen küp kalıplara yerleştirildi. Yerleştirme yöntemi olarak şişleme ve kalıba 10 saniye süreyle vibratör uygulandı.



Bütün kalıplar tam olarak doldurulduktan sonra taze betonun üstü polietilen ile örtülüp çevreden lastik bandla sarıldı. 24 saat bu şekilde kalan numuneler kalıplarından çıkarıldıktan sonra 21.güne kadar nemli bir ortamda tutuldular. 28.güne kadar da oda sıcaklığında bekletildiler. 28.günde deneye tabi tutuldular.

3.2.4 Numune Boyutları, Sayıları ve Kullanıldığı Deneyler

Bütün beton numuneleri küp biçiminde olup, boyutları daha önce belirtildiği gibi 10x10x10 cm'dir. Her seri beton numuneler genelde 20 adettir. Bu 20 numuneden, 5 tanesi 24 saat suda bekletildi ve su emme değeri bulundu. 15 tanesi de basınç dayanımına tabi tutuldu. Yalnız bu 15 numuneden 3 tanesi kırılma yükünün yaklaşık % 90'ına kadar yüklendi. Daha sonra ses geçiş süresi bulundu ve tekrar yüklenecek kırılma yüke tesbit edildi.

3.3 Betonlar Üzerinde Yapılan Deneyler

3.3.1 Taze Beton Deneyleri

3.3.1.1 Abrams Konisi Çökme (Slamp) Deneyi

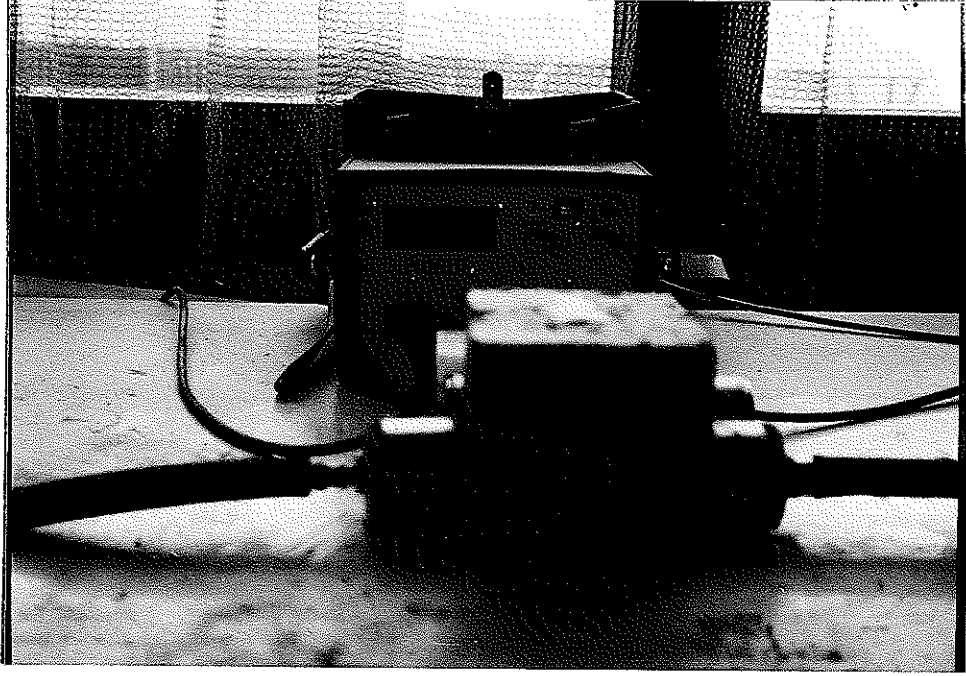
Abrams konisi beton karışımından meydana gelen çökme miktarını ölçmeye yarayan bir alettir. Bu ölçüm sayesinde karışıma su ilave yapıp yapılmayacağına karar verilir. Koninin 1/3'lük kısmı doldurulup 25 defa şişlenir. Geriye kalan 2/3'lük kısmı doldurularak tekrar şişlenir. Daha sonra tamamı doldurulup şişlenir. Koni karışımından dik olarak kaldırılıp çekilir ve çökme (slamp) miktarı ölçülür. Bu çalışmada çökme miktarının $5 \pm 1,5$ cm civarında olmasına dikkat edildi.

3.3.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş betonlar üzerinde yapılan deneyler şunlardır:

3.3.2.1 Ultrases Geçiş Süresi

Üretilen beton numunelerden ultrases geçiş süresi resimde görülen aletle ölçüldü.



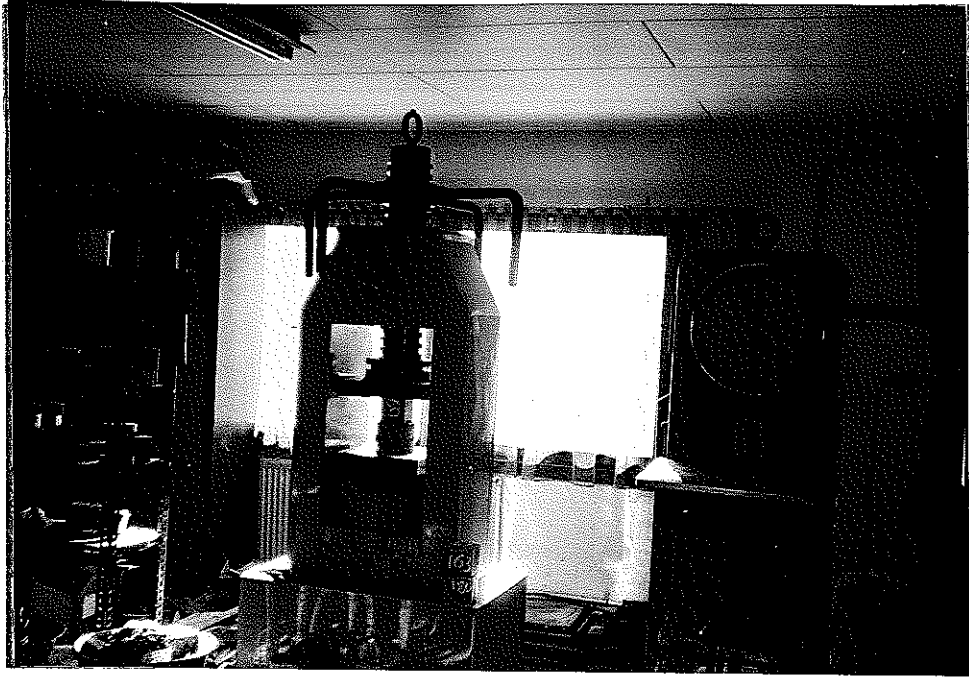
Tüm numuneler üzerinde yapılan bu deneyle betondan ses geçiş hızı hesaplandı. Numune boyunu, ses geçiş süresine bölerek ve gerekli birim değişikliklerini yaparak kilometre/saniye olarak hesaplandı. Ayrıca her numune grubundan 3 adet numune üzerinde basınç dayanımının % 90 değerindeki ses geçiş süresi hesaplandı.

3.3.2.2 Basınç Dayanımı

28 günlük numunelerin basınç dayanımları resimde görülen aletle ölçüldü. Her bir numunenin basınç dayanım değerlerini, numune yüzey alanına bölerek gerilme değeri hesaplandı. Her numune grubundan 5 tanesi hariç tüm numunelerin basınç dayanımı hesaplandı.

3.3.2.3 Özgül Ağırlık

Her numune grubundan 3 adet numune üzerinde yapıldı. İyice



ezilen beton numuneler 100 nolu elekten geçenler alınarak etüvde kurutuldu ve daha sonra özgül ağırlık deneyine tabi tutuldu.

3.3.2.4 Su Emme Değeri

28 gün sonunda her numune grubundan 5 tane numune 24 saat su içerisinde tutuldu. Yaş ağırlıkları tesbit edildikten sonra yaş ağırlıktan, kuru ağırlığı çıkarılarak sonuç kuru ağırlığa bölündü ve buradan beton numunelerin su emme değerleri hesaplandı.

3.3.2.5 Birim Hacim Ağırlık

28 gün sonundaki her numune tartılarak ağırlıkları bulundu. Bu ağırlıkları numune dış hacmine bölerek birim hacim ağırlıklar hesaplandı.

3.3.2.6 Komposite - Porozite

Komposite betonun dolu hacminin, tüm hacme oranıdır. Porozite

ise boşluk hacminin tüm hacme oranıdır. Komposite; birim hacim ağırlığının özgül ağırlığına oranı olarak, porozitede= 1-komposite olarak hesaplandı.

4.DENEY SONUÇLARI

Aşağıda, yapılan bu deneylerin, numunelerin gruplarına göre sonuçları görülmektedir.

ÜRETİMTARİHİ : 7.3.1988
DENEY TARİHİ : 4.4.1988
NUMUNE KODU : 300 dozajlı-katkısız-S/Ç=0,50 - Hafif Agregalı Beton

N	NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ² N/mm ²	SES GEÇ.HIZ km/sn	BİR HAC.AĞI gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOSITE	POROZİTE	SU EMME DEĞ (%)
1	86	9	3 001	1 523	---	---	---	---
2	---	---	3 243	1 524	---	---	---	5 5
3	112	11	3 159	1 473	2 500	0 589	0 411	---
4	---	---	3 175	1 574	---	---	---	4 2
5	91	9	3 135	1 487	---	---	---	---
6	99	10	3 104	1 600	---	---	---	---
7	107	11	3 181	1 538	---	---	---	---
8	95	10	3 099	1 519	---	---	---	---
9	---	---	3 150	1 427	---	---	---	8 7
10	92	9	3 054	1 424	---	---	---	---
11	98	10	3 135	1 430	2 460	0 581	0 419	---
12	90	9	3 064	1 474	---	---	---	---
13	96	10	3 091	1 452	---	---	---	---
14	---	---	3 236	1 586	---	---	---	3 6
15	104	10	3 071	1 521	2 190	0 694	0 306	---
16	---	---	3 083	1 524	---	---	---	6 3
17	94	9	3 129	1 548	---	---	---	---
ORT:	97	10	3 124	1 507	2 383	0 622	0 378	5 7

URETİM TARİHİ : 8.3.1988
DENEY TARİHİ : 5.4.1988
NUMUNE KODU : 250 dozajlı-katkısız-S/Ç=0,50-Hafif Agregalı Beton

N. NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ²	N/mm ²	SES GEÇ. HIZ. km/sn	BİR. HAC. AĞI gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEĞ. (%)
20	81	8	3.060	1.476	2.400	0.615	0.385	---
21	98	10	3.090	1.487	---	---	---	---
22	---	---	3.069	1.451	---	---	---	7.0
23	103	10	3.065	1.468	---	---	---	---
24	99	10	3.165	1.568	---	---	---	---
25	---	---	3.003	1.520	---	---	---	2.6
26	77	8	3.150	1.541	---	---	---	---
27	87	9	3.068	1.536	---	---	---	---
28	84	8	3.088	1.553	---	---	---	---
29	83	8	3.068	1.520	---	---	---	---
30	79	8	3.041	1.445	---	---	---	---
31	50	5	2.978	1.522	1.900	0.801	0.199	---
32	62	6	3.010	1.434	2.560	0.560	0.440	---
33	---	---	2.871	1.431	---	---	---	3.9
34	---	---	2.972	1.421	---	---	---	5.7
35	50	5	2.880	1.387	---	---	---	---
36	87	9	3.067	1.569	---	---	---	---
37	---	---	3.019	1.595	---	---	---	1.9
38	61	6	2.944	1.482	---	---	---	---
ORT:	79	8	3.032	1.495	2.287	0.659	0.341	4.2

URETİMTARİHİ : 9.3.1988
DENEY TARİHİ : 6.4.1988
NUMUNE KODU : 350 dozajlı-katkısız-S/Ç= 0,50-Slamp= 4,5cm-Hafif Agregalı Beton

N. NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ² N/mm ²	SES GEÇ. HIZ. km/sn	BİR HAC. AĞI gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEĞ. (%)
40	---	---	3 080	1 490	---	---	9.3
41	116	12	2 928	1 477	---	---	---
42	109	11	2 913	1 465	---	---	---
43	60	6	3 039	1 420	2 857	0 497	0 503
44	---	---	3 033	1 474	---	---	9.3
45	105	10	2 913	1 484	---	---	---
46	126	13	2 918	1 499	---	---	---
47	---	---	2 983	1 455	---	---	8.2
48	95	9	2 993	1 493	2 770	0 539	0 461
49	118	12	3 038	1 524	---	---	---
50	114	11	2 993	1 556	---	---	---
51	103	10	3 000	1 536	---	---	---
52	---	---	3 059	1 550	---	---	3.6
53	113	11	3 037	1 590	---	---	---
54	138	14	3 033	1 563	---	---	---
55	105	11	3 067	1 626	---	---	---
56	107	11	3 144	1 585	2 857	0 555	0 445
57	---	---	3 086	1 589	---	---	3.2
58	103	10	3 000	1 589	---	---	---
59	107	11	3 083	1 544	---	---	---
ORT:	108	11	3 017	1 526	2 828	0 530	0 470
							6.7

ÜRETİMTARİHİ : 14.3.1988
 DENEY TARİHİ : 11.4.1988
 NUMUNE KODU : 400 dozajlı-katkısız-S/Ç = 0,50-Slamp=5 cm-Hafif Agregalı Beton

N	NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ² N/mm ²	SES GEÇ.HIZ. km/sn	BİR HAC.AĞI gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEĞ (%)
60	115	11	3 163	1 576	---	---	---	---
61	---	---	3 140	1 506	---	---	---	5 9
62	115	12	3 069	1 595	---	---	---	---
63	119	12	2 915	1 489	---	---	---	---
64	112	11	3 037	1 557	---	---	---	---
65	115	11	2 985	1 494	---	---	---	---
66	107	11	3 015	1 525	---	---	---	---
67	114	11	3 033	1 553	---	---	---	---
68	107	11	2 977	1 503	---	---	---	---
69	---	---	3 056	1 566	---	---	---	3 3
70	119	12	3 037	1 570	---	---	---	---
71	---	---	3 113	1 552	---	---	---	4 6
72	124	12	2 822	1 507	---	---	---	---
73	---	---	2 907	1 470	---	---	---	9.1
74	120	12	2 950	1 526	---	---	---	---
75	123	12	2 920	1 525	2 770	0 551	0 449	---
76	120	12	2 795	1 581	2 857	0 553	0 447	---
77	117	12	2 964	1 571	2 857	0 550	0 450	---
78	104	10	2 835	1 508	---	---	---	---
79	---	---	2 977	1 529	---	---	---	5 0
ORT:	115	12	2 985	1 535	2 828	0 551	0 449	5 6

ÜRETİMTARİHİ : 15.3.1988
 DENEY TARİHİ : 12.4.1988
 NUMUNE KODU : 400 dozajlı-% 0,15 Akışkanlaştırıcı katkılı-S/Ç= 0,47 - Slamp=5,2cm-
 , Hafif Agregalı Beton

N. NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ²	N/mm ²	SES GEÇ HIZ km/sn	BİR HAC. AĞI gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEĞ. (%)
80	127	13	3 176	1 643	---	---	---	---
81	111	11	3 196	1 621	---	---	---	---
82	135	14	3 185	1 669	---	---	---	---
83	---	---	3 258	1 670	---	---	---	2 2
84	127	13	3 192	1 672	---	---	---	---
85	111	11	3 148	1 655	---	---	---	---
86	112	11	3 229	1 669	---	---	---	---
87	133	13	3 238	1 671	---	---	---	---
88	100	10	3 202	1 631	---	---	---	---
89	---	---	3 120	1 630	---	---	---	4 4
90	133	13	3 225	1 618	---	---	---	---
91	---	---	3 317	1 619	---	---	---	2 8
92	148	15	3 148	1 655	---	---	---	---
93	126	13	3 195	1 672	---	---	---	---
94	---	---	3 059	1 675	---	---	---	2 1
95	131	13	3 177	1 666	---	---	---	---
96	125	13	3 225	1 677	2 857	0 587	0 413	---
97	---	---	3 146	1 642	---	---	---	4 7
98	109	11	3 147	1 663	2 857	0 582	0 418	---
99	121	12	3 220	1 604	2 857	0 562	0 438	---
ORT:	123	12	3 190	1 651	2 857	0 577	0 423	3 2

ÜRETİM TARİHİ : 16.3.1988
DENEY TARİHİ : 13.4.1988
NUMUNE KODU : 400 dozajlı-% 0,25 Akışkanlaştırıcı katkılı-S/Ç=0,45-Slamp=4,5cm-
Hafif Agregalı Beton

N. NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm2 N/mm2	SES GEÇ. HIZ km/sn	BİR HAC. AĞI. gr/cm3	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm3	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEĞ (%)	
100	---	---	3 072	1 525	---	---	8 2	
101	---	---	2 978	1 560	---	---	7 1	
102	128	13	3 066	1 577	---	---	---	
103	142	14	3 075	1 605	---	---	---	
104	115	12	3 098	1 565	---	---	---	
105	112	11	3 056	1 570	---	---	---	
106	---	---	3 051	1 588	---	---	5 6	
107	122	12	3 212	1 608	---	---	---	
108	113	11	3 113	1 610	2 564	0 628	0 372	
109	114	11	3 157	1 613	---	---	---	
110	121	12	3 158	1 618	---	---	---	
111	140	14	3 104	1 573	---	---	---	
112	126	13	3 116	1 565	---	---	---	
113	---	---	3 198	1 634	---	---	3 4	
114	135	13	3 174	1 598	---	---	---	
115	136	14	3 085	1 570	---	---	---	
116	114	11	3 177	1 610	2 500	0 644	0 356	
117	115	11	3 157	1 619	2 631	0 615	0 385	
118	---	---	3 184	1 602	---	---	3 4	
119	120	12	3 152	1 614	---	---	---	
ORT:	124	12	3 119	1 591	2 565	0 629	0 371	5 5

ÜRETİMTARİHİ : 17.3.1988
 DENEY TARİHİ : 14.4.1988
 NUMUNE KODU : 400 dozajlı-%1,8 Süper Akışkanlaştırıcı katkılı-S/Ç=0,38-Slump=4,5cm
 Hafif Agregalı Beton

N NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ²	N/mm ²	SES GEÇ HIZ km/sn	BİR HAC. AĞI gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEĞ (%)
120	133	13	3 202	1 485	---	---	---	---
121	135	13	3 324	1 593	---	---	---	---
122	120	12	3 156	1 466	---	---	---	---
123	135	13	3 218	1 612	---	---	---	---
124	---	---	3 183	1 565	---	---	---	10 0
125	129	13	3 126	1 468	---	---	---	---
126	138	14	3 120	1 487	---	---	---	---
127	---	---	3 196	1 588	---	---	---	8 1
128	---	---	3 265	1 536	---	---	---	11 2
129	121	12	3 262	1 604	---	---	---	---
130	137	14	3 285	1 567	---	---	---	---
131	---	---	3 104	1 473	---	---	---	16 4
132	---	---	3 381	1 604	---	---	---	7 5
133	149	15	3 232	1 504	---	---	---	---
134	120	12	3 226	1 571	---	---	---	---
135	148	15	3 282	1 606	---	---	---	---
136	147	15	3 299	1 597	2 850	0 560	0 440	---
137	157	16	3 352	1 579	2 770	0 570	0 430	---
138	158	16	3 204	1 483	2 700	0 549	0 451	---
ORT:	138	14	3 232	1 547	2 773	0 560	0 440	10 6

ÜRETİM TARİHİ : 30.3.1988
 DENEY TARİHİ : 27.4.1988
 NUMUNE KODU : 400 dozajlı-katkısız-S/Ç=0,52-Slamp=4,6cm-No 4 altı normal agrega,
 No 4 üstü hafif agregalı Yarı Hafif Beton

N NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ²	N/mm ²	SES GEÇ. HIZ. km/sn	BİR HAC. AĞI. gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEG. (%)
140	145	15	3.748	1.937	---	---	---	---
141	161	16	3.665	1.916	---	---	---	---
142	132	13	3.622	1.949	---	---	---	---
143	145	15	3.598	1.885	---	---	---	---
144	155	16	3.632	1.906	---	---	---	---
145	131	13	3.378	1.923	---	---	---	---
146	---	---	3.788	1.924	---	---	---	0.8
147	143	14	3.669	1.911	---	---	---	---
148	160	16	3.608	1.927	---	---	---	---
149	---	---	3.469	1.903	---	---	---	0.8
150	155	15	3.640	1.969	---	---	---	---
151	173	17	3.611	1.856	---	---	---	---
152	---	---	3.416	1.850	---	---	---	1.6
153	---	---	3.645	1.951	---	---	---	2.7
154	153	15	3.659	1.889	---	---	---	---
155	190	19	3.656	1.892	---	---	---	---
156	180	18	3.557	1.886	2.850	0.662	0.338	---
157	134	13	3.659	1.937	2.940	0.659	0.341	---
158	142	14	3.620	1.918	2.700	0.710	0.290	---
159	---	---	3.790	1.834	---	---	---	1.8
ORT:	153	15	3.621	1.908	2.830	0.677	0.323	1.5

URETİMTARİHİ : 31.3.1988
DENEY TARİHİ : 28.4.1988
NUMUNE KODU : 400 dozajlı-%0,25 Akışkanlaştırıcı katkılı-S/Ç= 0,45-Slamp=4,5cm-
No 4 altı normal agrega, No 4 üstü hafif agregalı Yarı hafif beton

N. NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ²	N/mm ²	SES GEÇ HIZ. km/sn	BİR HAC. AĞI gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEĞ. (%)
160	153	15	3 610	1 957	---	---	---	---
161	155	15	3 529	1 925	---	---	---	---
162	182	18	3 599	1 909	---	---	---	---
163	---	---	3 558	1 899	---	---	---	3.2
164	168	17	3 561	1 819	---	---	---	---
165	160	16	3 558	1 879	---	---	---	---
166	155	16	3 552	1 929	---	---	---	---
167	---	---	3 552	1 923	---	---	---	2.2
168	142	14	3 485	1 920	---	---	---	---
169	156	16	3 488	1 942	---	---	---	---
170	152	15	3 590	1 914	---	---	---	---
171	---	---	3 602	1 884	---	---	---	3.2
172	---	---	3 121	1 755	---	---	---	---
173	155	15	3 610	2 020	2 700	0 748	0 252	---
174	159	16	3 558	1 924	2 850	0 675	0 325	---
175	185	19	3 453	1 882	2 940	0 640	0 360	---
176	152	15	3 407	1 937	---	---	---	---
177	---	---	3 427	1 927	---	---	---	3.3
178	---	---	3 602	1 931	---	---	---	1.7
179	151	15	3 665	1 889	---	---	---	---
ORT :	159	16	3 526	1 908	2 830	0 688	0 312	2.7

ÜRETİMTARİHİ : 4.4.1988
DENEY TARİHİ : 2.5.1988
NUMUNE KODU : 400 dozajlı-%1,8 Süper Akışkanlaştırıcı katkılı-S/Ç=0,42-Slump=5cm
No 4 altı normal agregası, No 4 üstü hafif agregalı Yarı hafif beton

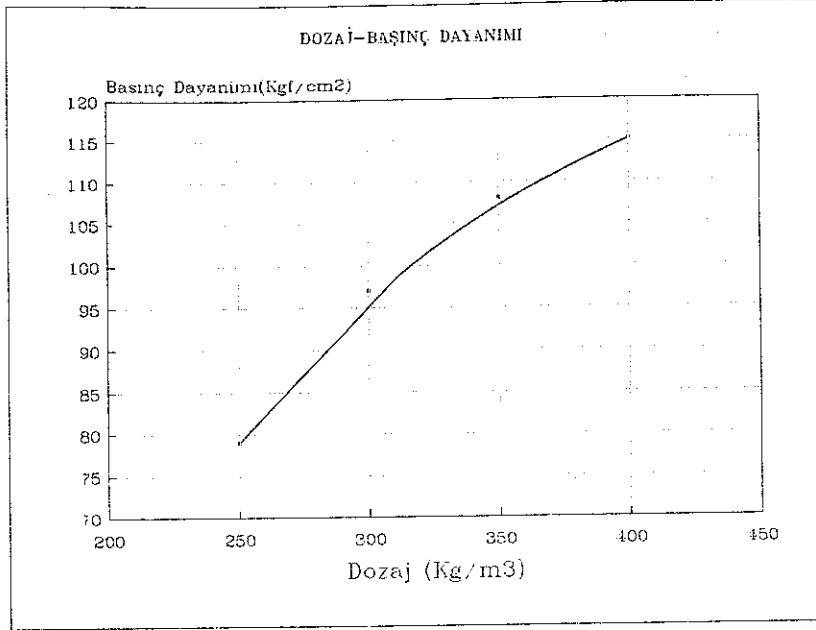
N	NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ²	N/mm ²	SES GEÇ HIZ. km/sn	BİR HAC. AĞI. gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEG (%)
180	---	---	---	3 861	1 986	---	---	---	2 6
181	157	16	---	3 877	1 905	---	---	---	---
182	170	17	---	3 966	1 960	---	---	---	---
183	---	---	---	3 932	1 889	---	---	---	4 0
184	172	17	---	3 951	2 018	---	---	---	---
185	234	23	---	3 870	1 954	2 850	0 686	0 314	---
186	157	16	---	3 887	1 892	---	---	---	---
187	---	---	---	3 965	1 945	---	---	---	3 3
188	185	18	---	3 969	1 968	---	---	---	---
189	156	16	---	3 826	1 934	---	---	---	---
190	---	---	---	3 881	1 982	---	---	---	2 5
191	174	17	---	3 884	1 914	2 850	0 672	0 328	---
192	204	20	---	3 801	1 987	---	---	---	---
193	---	---	---	3 854	1 987	---	---	---	3 4
194	189	19	---	3 866	1 964	---	---	---	---
195	149	15	---	3 838	1 991	---	---	---	---
196	218	22	---	3 944	1 986	2 700	0 736	0 264	---
197	185	18	---	3 851	1 935	---	---	---	---
198	191	19	---	3 766	1 924	---	---	---	---
ORT:	181	18	---	3 884	1 954	2 800	0 698	0 302	3 2

ÜRETİM TARİHİ : 5.4.1988
DENEY TARİHİ : 3.5.1988
NUMUNE KODU : 400 dozajlı-%0,25 Akışkanlaştırıcı katkılı-S/Ç=0,48-Slamp=4,7cm
No 4 altı hafif agrega, No 4 üstü normal agregalı Yarı hafif beton

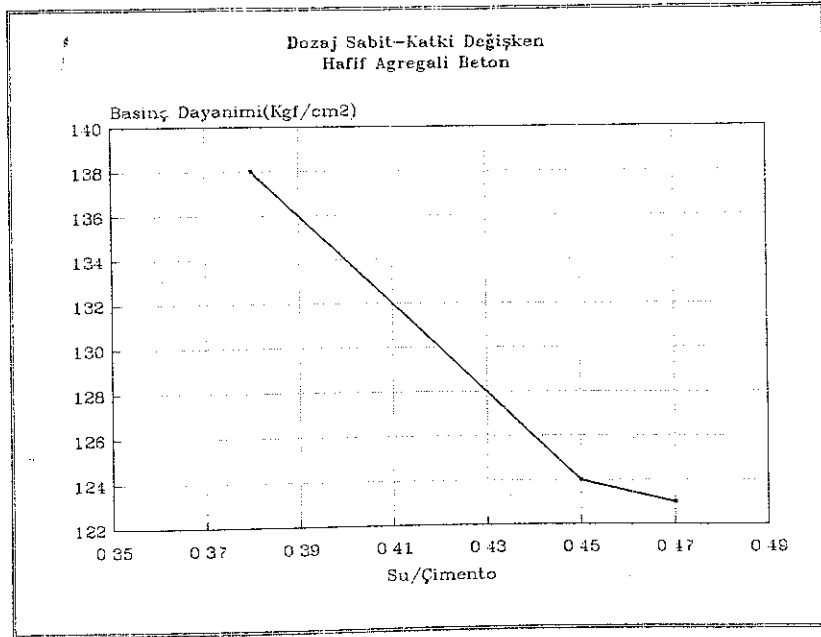
N. NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ²	N/mm ²	SES GEÇ HIZ km/sn	BİR HAC. AĞI gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEĞ (%)
200	---	---	3.956	1.888	---	---	---	4.5
201	196	20	3.760	1.939	---	---	---	---
202	216	22	3.806	1.916	---	---	---	---
203	187	19	3.782	1.945	---	---	---	---
204	---	---	3.556	1.856	---	---	---	4.1
205	166	17	3.710	1.915	---	---	---	---
206	155	15	3.768	1.928	---	---	---	---
207	165	17	3.833	1.959	---	---	---	---
208	254	25	3.727	1.947	2.630	0.740	0.260	---
209	171	17	3.825	1.914	---	---	---	---
210	179	18	3.681	1.920	---	---	---	---
211	189	19	3.774	1.947	2.770	0.703	0.297	---
212	---	---	3.599	1.934	---	---	---	3.3
213	153	15	3.838	1.921	---	---	---	---
214	149	15	3.599	1.914	2.700	0.709	0.291	---
215	188	19	3.728	1.924	---	---	---	---
216	191	19	3.605	1.892	---	---	---	---
217	172	17	3.552	1.905	---	---	---	---
218	---	---	3.652	1.931	---	---	---	4.6
219	---	---	3.559	1.915	---	---	---	5.1
ORT:	182	18	3.715	1.920	2.700	0.717	0.283	4.3

ÜRETİM TARİHİ : 6.4.1988
 DENEY TARİHİ : 4.5.1988
 NUMUNE KODU : 400 dozajlı-%1,8 Süper akışkanlaştırıcı katkılı-S/Ç=0,42-Slump=5,1cm
 No 4 altı hafif agrega, No 4 üstü normal agregalı Yarı hafif beton

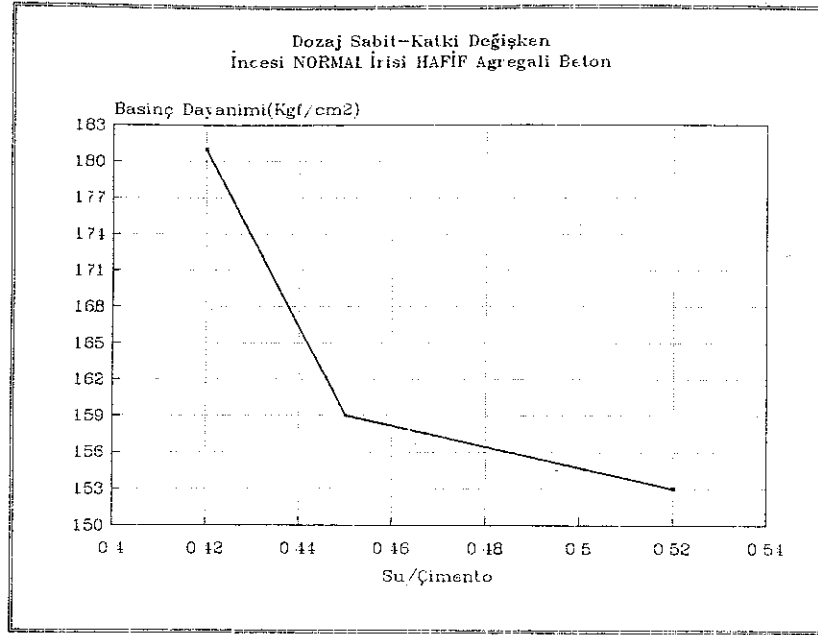
N NO	BASINÇ DAYANIMI kgf/cm ²	N/mm ²	SES GEÇ HIZ km/sn	BİR HAC. AĞI gr/cm ³	ÖZGÜL AĞIRLIK gr/cm ³	KOMPOZİTE	POROZİTE	SU EMME DEĞ (%)
220	176	18	3.639	1.993	---	---	---	---
221	177	18	3.695	1.975	2.270	0.870	0.130	---
222	237	24	3.816	1.975	---	---	---	---
223	---	---	3.456	1.963	---	---	---	6.2
224	187	19	3.717	1.979	---	---	---	---
225	177	18	3.653	1.953	---	---	---	---
226	177	18	3.831	1.976	---	---	---	---
227	214	21	3.775	1.953	---	---	---	---
228	---	---	3.739	1.994	---	---	---	2.9
229	187	19	3.705	1.970	---	---	---	---
230	136	14	3.571	2.007	---	---	---	---
231	---	---	3.710	1.944	---	---	---	3.7
232	204	20	3.761	1.946	---	---	---	---
233	174	17	3.507	1.938	2.700	0.718	0.282	---
234	149	15	3.685	2.018	2.560	0.788	0.212	---
235	---	---	3.567	1.973	---	---	---	2.8
236	179	18	3.745	1.980	---	---	---	---
237	177	18	3.708	1.993	---	---	---	---
238	---	---	3.760	1.954	---	---	---	3.4
239	192	19	3.656	2.018	---	---	---	---
ORT:	183	18	3.685	1.975	2.510	0.792	0.208	3.8



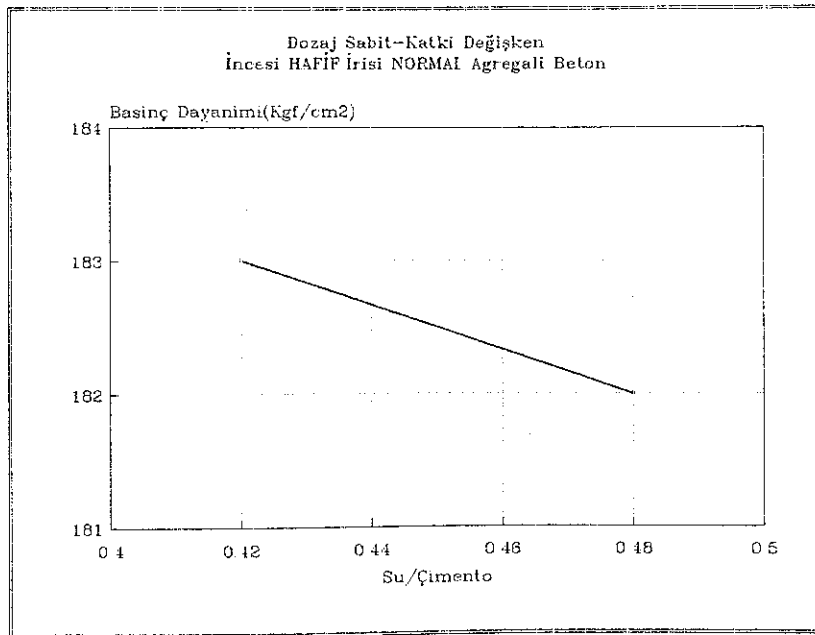
Şekil 16- Dozaj-Basınç Dayanımı İlişkisi



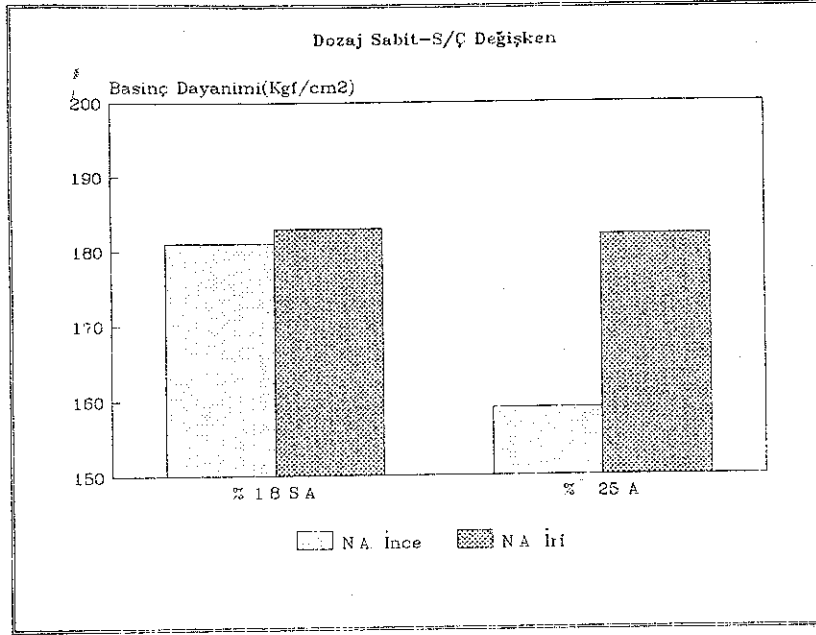
Şekil 17- Hafif Betonda Basınç Dayanımı-Su/Çimento İlişkisi



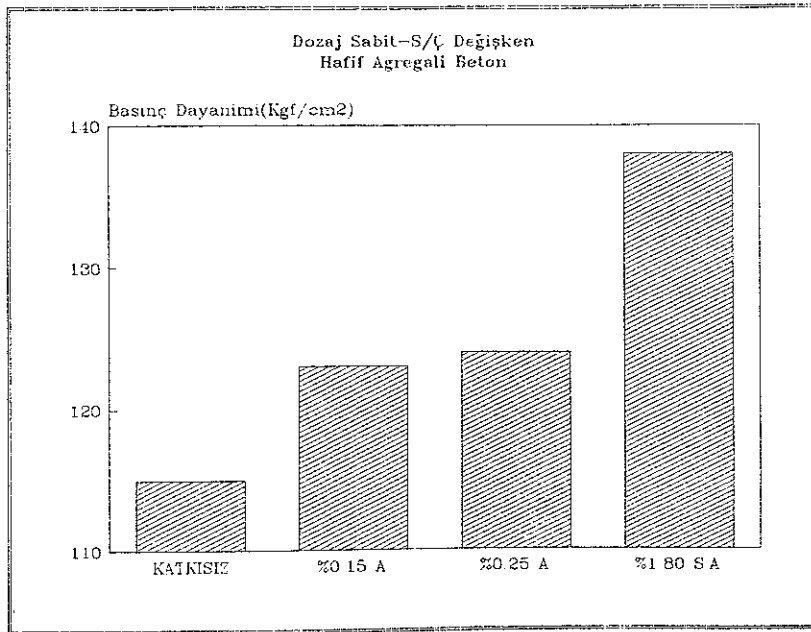
Şekil 18- Yarı Hafif Betonda Basınç Dayanımı-Su/Çimento İlişkisi



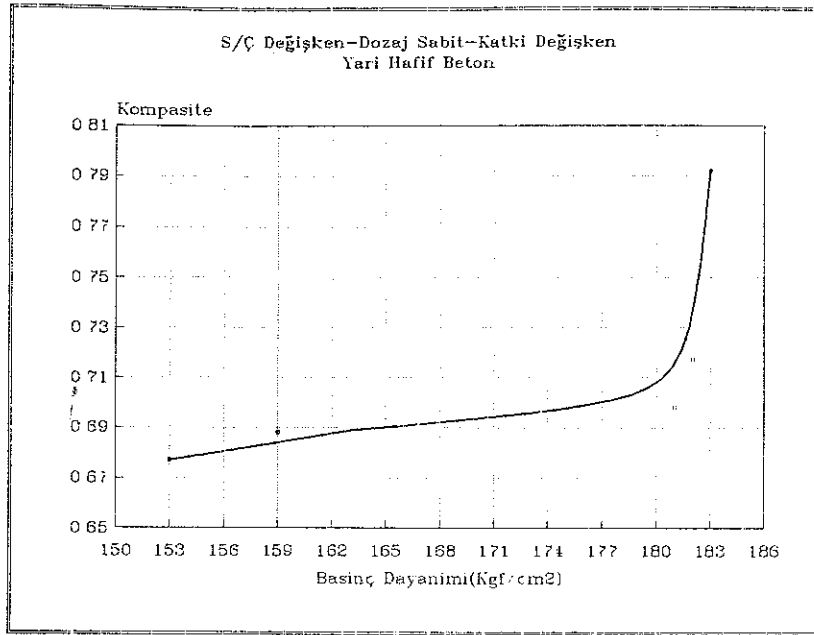
Şekil 19- Yarı Hafif Betonda Basınç Dayanımı-Su/Çimento İlişkisi



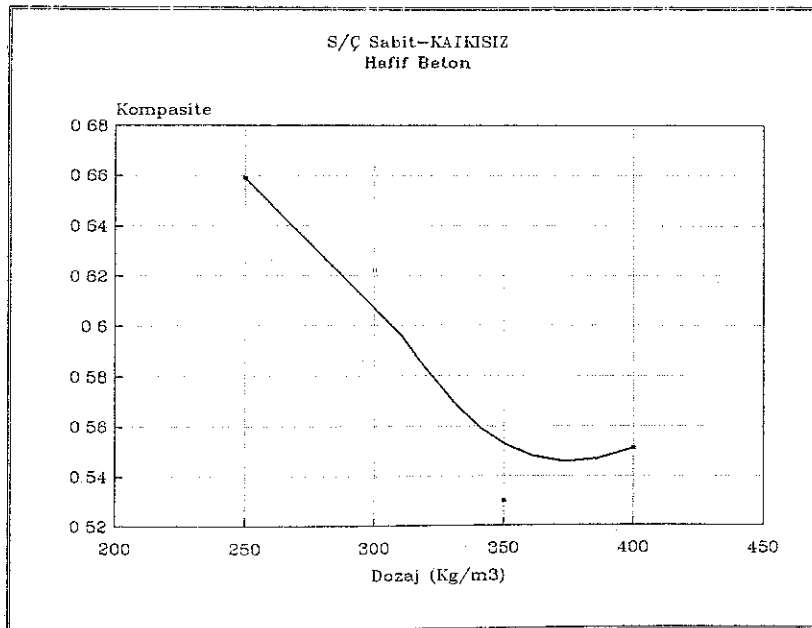
Şekil 20- Yarı Hafif Betonda Basmaç Dayanımının Normal Agreganın İnce veya İri Olmasına Göre Değişimi



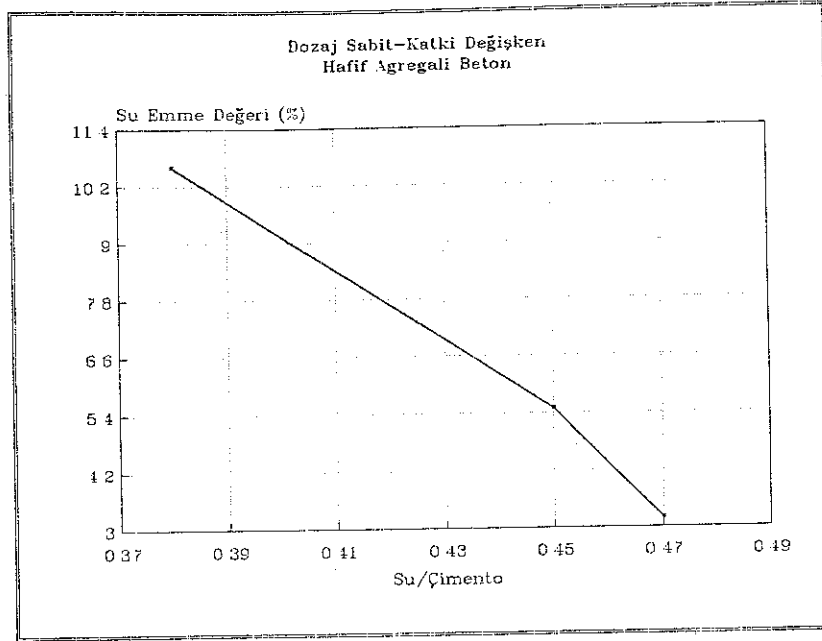
Şekil 21- Hafif Agregalı Betonda Basmaç Dayanımının Katkı Maddesine Göre Değişimi



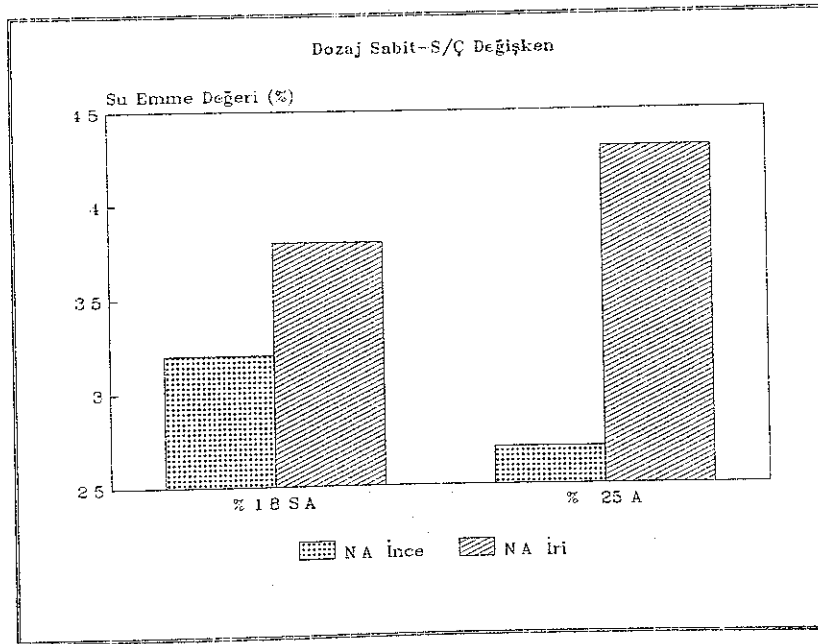
Şekil 22- Kompasite-Basınç Dayanımı İlişkisi



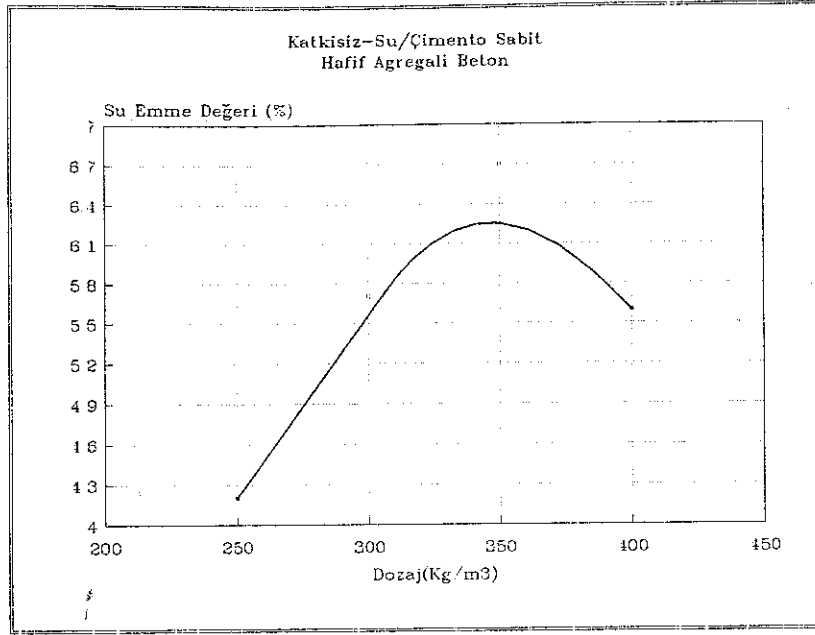
Şekil 23- Kompasite-Dozaj İlişkisi



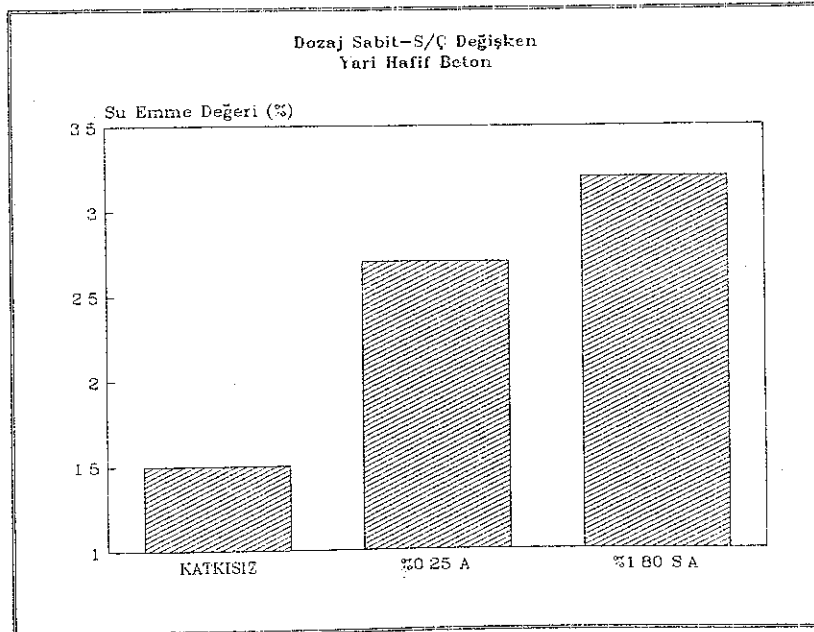
Şekil 24- Su Emme Değeri-Su/Çimento İlişkisi



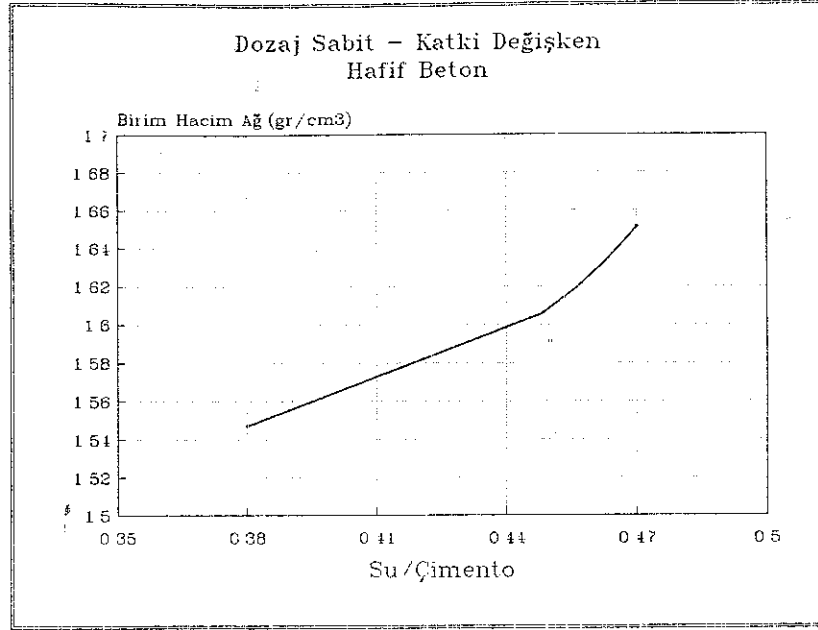
Şekil 25- Su Emme Değerinin Yarı Hafif Betonlarda Değişimi



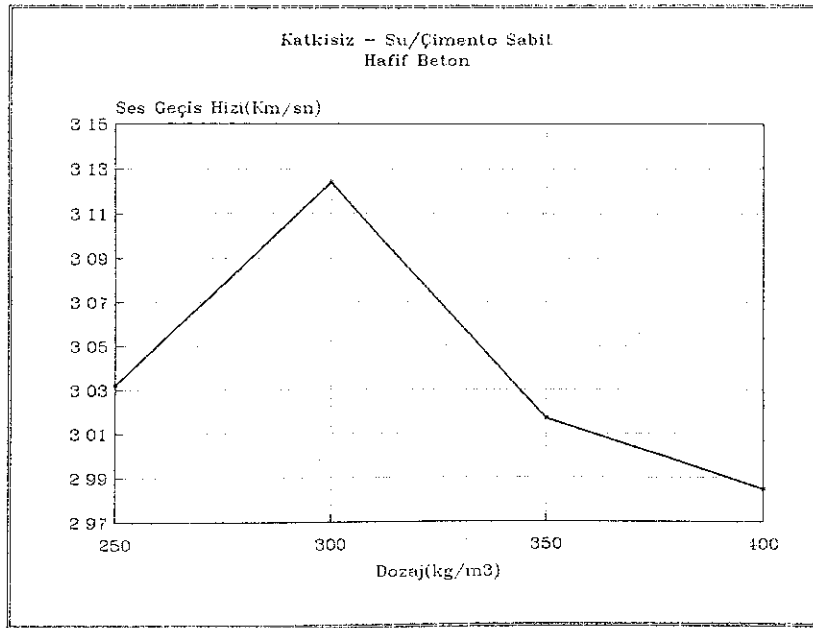
Şekil 26-- Su Emme Değerinin-Dozajla İlişkisi



Şekil 27- Su Emme Değerinin-Katkı Maddesiyle Değişimi



Şekil 28- Birim Hacim Ağırlık-Su/Çimento İlişkisi



Şekil 29- Ses Geçiş Hızı-Dozaj İlişkisi

5. SONUÇLAR

1- Dozaj arttıkça basınç dayanımı da artmaktadır. Şekil-16'dan görüldüğü gibi kullandığımız dozaj sınırları içinde dayanımın üst sınırı yoktur. Yüksek dozajlı hafif betonlar daha mukavemetli olmaktadır.

2- Şekil-17'den de görüldüğü gibi hafif betonlarda su/çimento oranı düştükçe basınç dayanımı artmaktadır. Yarı hafif betonlarda ise dayanım artışı aynı şekilde görülmektedir. (Şekil-18 , Şekil-19)

Katkı maddesi kullanılan aynı tip numunelerde katkı maddesinin arttırılmasıyla basınç dayanımı da artmaktadır. (Şekil-21) Akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri, betonun diğer özelliklerini bozmadan işlenebilmesini oldukça arttırarak beton dökümünü kolaylaştırıp hızlandırabilir, daha az insan gücü ile daha fazla betonlama yapılabilir, yerleştirme çok az vibrasyonla bile sağlanabilir, su/çimento oranı azaltılarak beton mukavemeti çok yüksek değerlere çıkartılabilir. Bu suretle yapıda taşınabilecek yükler artar ve dolayısıyla beton dökümü ve yapı daha ekonomik olur. Dolayısıyla katkı maddelerinin dozunu yüksek tutmak, mekanik özellikler açısından daha uygun sonuçlar verebilir.

3- Şekil-20'den de görüldüğü gibi yarı hafif betonlarda granülometrisinin iri bölümünün normal agregası olması, irisi hafif agregası olanlara nazaran dayanımı daha fazla arttırıyor. Yarı hafif betonların basınç mukavemetleri, özellikle elastisite modülleri hafif betonlara göre yüksektir. Bundan dolayı bu tür betonların gelecekte daha yaygın uygulama alanı bulacağı söylenebilir. Diğer taraftan bu betonların taze durumda iken ayrışması, iri daneleri hafif olanlara göre çok daha azdır. Ponza taşı hafif agregası gibi incesi irisinden daha fazla

bulunan agregaların ince bölümünün kullanılmasıyla ayrıca ekonomide sağlanmış olmaktadır.

4- Şekil 22'den de görüldüğü gibi yarı hafif betonlarda kompasite arttıkça basınç dayanımı da düzgün bir şekilde artmakta fakat, irisi normal agregaya olan betonda kompasite artışı çok büyük bir şekilde olmaktadır. Şekil-23'den de görüldüğü gibi dozaj arttıkça kompasite azalmaktadır.

5- Hafif agregalı betonlarda su/çimento oranı arttıkça Şekil-24'den de görüldüğü üzere su emme değeri azalmaktadır. Yarı hafif betonlarda irisi normal agregaya olan betonlar, incesi normal agregalı betonlara nazaran daha fazla su emmektedir. (Şekil-25). Şekil-26'da dozaj arttıkça su emme değeri artmaktadır. Katkı maddesi kullanmakla yarı hafif betonlarda su emme değeri fazlalaşmaktadır. (Şekil-27)

6- Kompasite (k) ile ultrases hızı (V) arasında $V=a+b.k$ bağıntısı kuruldu. Buradaki a ve b katsayısı sırasıyla 0,876 ve 3,902'dir. Bu bağıntıdaki korrelasyon katsayısı 0,883 bulundu.

Basınç dayanımı (f_c) ile ultrases hızı (V) arasında da $f_c = - 201,9 + 101,3 V$ bağıntısı kuruldu. Buradaki korrelasyon katsayısı 0,925 olarak bulundu.

Birim hacim ağırlıkla (Δ) ile ultrases hızı (V) arasında $V=0,752+1,516 \Delta$ bağıntısı kuruldu. Korrelasyon katsayısı da 0,958 olarak bulundu.

Birim hacim ağırlıkla (Δ) basınç dayanımı (f_c) arasında da $f_c = - 137,3 + 160,3 \Delta$ bağıntısı kuruldu. Burada da korrelasyon katsayısı 0,925 olarak bulundu.

Görülüyor ki sonuçlar arasında iyi bir korrelasyon vardır.

7- Bu çalışmada üretilen hafif ve yarı hafif betonları, yapıların yük taşıyıcı elemalarında kullanılamayacağı elde edilen basınç dayanımı sonuçlarından görülmektedir. Ancak çatı plağı yapımında donatılı olarak kullanılabilir.

KAYNAK DİZİNİ

- (1) : Neville, A.M., "Properties of concrete", Pitman Publishing, London, 1975.
- (2) : Akman, M.S., ve Taşdemir, M.A., "Taşıyıcı Malzeme olarak Perlit betonu", S.40-48. I.Ulusal Perlit Kongresi, 20-22, Aralık, 1977, Ankara.
- (3) : Price, W.H. and Cordan, W.A., "Tests of Leighweight Aggregate concrete", ACI. Journal, Proceedings, vol.45, No:8, April,1949, pp. 581-600.
- (4) : Taşdemir, M.A. "Taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları". Doktora tezi, Eylül,1981.
- (5) : ASIM C330-69, "Standart specification for leighweight aggregates for structures concrete".
- (6) : TS 2511: 1977, "Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları" T.S.E.
- (7) : Manuel CEB-FIB, "Béton de Granulats Légers"Annales de l'ITBTP béton no: 195, Mai 1980.
- (8) : Cormon,P., "Bétons Légers D'Aujourd'hui", Editions Eyrolles, 1973.
- (9) : ACI Committee 213: "Guide for structural lighthweight aggregate concrete", Paris 1970.
- (10) : Çetmeli, E., "Yeni Alman betonarme şartnamesi (DIN 1045, 1972) Betonarme hesap esasları, kesitlerin boyutlandırılması ve donatının yerleştirilmesi" Uluğ Kitabevi, İstanbul 1974.
- (11) : TS 2823:1977, Bims betondan mamul yapı elemanları, T.S.E.
- (12) : Heufers, H., "Leichter Normalbeton" (Lightweigh normal concrete), Betonwerk+Fertigteil+Technik, Heft 11/1976, pp.525-528.

- (13) : Wierig, H.-J. und Ruppert, H., "Über das Verformungsverhalten von "leichten normal betonen" unter kurzzeitig einwirkenden lasten" teil 1 (The deformation behaviour of "lightweight normal concrete" under short-period loads), Betonwerk+Fertigteil+Technik, Heft 11/1976, pp.629-533.
- (14) : Malhotra, V.M., "No-Fines Concrete-Its Properties and applications", ACI Journal, November 1976, pp.628-644.
- (15) : "Les Betons de granulats Legers". Les chroniques de La Recherche.
- (16) : Rilen Recommendation, ICI, "Terminology and definitions of leighweight concrete", 1975.
- (17) : Erciyes, Y., "Bims ve bims betonu üzerine araştırmalar", İmar ve İskân Bakanlığı Yayınları No.5-17, 1963.
- (18) : Ünlü, H., "Ponza taşı agregası kullanarak üretilen hafif betonların özelliklerinin araştırılması", İTÜ İnşaat Fakültesi Bitirme Ödevi 1978 (Y.Atan-Oktar yönetiminde)
- (19) : Findley W.N.-Lai J.S.-Onaran.K.: "Creep and Relaxation of non-linear viscoelastic metarials. "North-Holland series in applied mathematics and Nechanics, 18, 1976.
- (20) : IS 1114-1976, "HAFİF AGREGALAR" (Beton için), T.S.E.
- (21) : TS 3234-1978, "BİMSBETON YAPIM KURALLARI, KARIŞIM HESABI ve DENEY METODLARI", T.S.E.
- (22) : Dipl.Ing.H.Heufers, "STAHLLEICHTBETON, SPANNLEICHTBETON ZEMENT TASCHENBUCH" - Bauverlag GMBH, Wiesbaden, BERLIN, pp.347-372, 1972/73.
- (23) : Sturman, G.M.; Shah, S.P.; Winter, C., "MICROCRACKING AND INELASTIC BEHAVIOR OF CONCRETE", Proceedings of the International Symposium on the Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, ASCE-ACI, Miami, Florida, Nov.1964, pp.473-499.
- (24) : Bate, SCC., "THE INTERNATIONAL JOURNAL OF LIGHTWEIGHT CONCRETE"

Volume 2, Number 4, 1980.

- (25) : Teychenné, D.C., 1967 Structural Concrete Made With Lightweight Aggregates, Concrete Journal, Vol.1, No.4: 111-122.
- (26) : Teychenné, D.C. 1968 Lightweight Aggregates: Their Properties and Use in Concrete in the United Kingdom, Proceedings of the First International Congress on Lightweight Concrete, Vol.1; Papers: 23-37.
- (27) : Ryan, W.G., 1968 The Production and Properties of Structural Lightweight Concrete in Australia, Proceedings of the First International Congress on Lightweight Concrete, Vol.1; Papers: 17-21.
- (28) : PCA, 1960 a Cement Mason's Manual for Residential Construction, Portland Cement Association, Chicago.
- (29) : PCA, 1960 b Making Quality Concrete for Farm Construction, Portland Cement Association, Chicago.
- (30) : Shacklock, B.W., 1974 Concrete Constituents and Mix Proportions, Cement and Concrete Association, London.
- (31) : Davis, R.E., and Kelly, J.W., 1955 Lightweight Concrete and Concrete Aggregates, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Aggregates, ASTM, Special Technical Publication, 169:238-249.
- (32) : Alkan, Z., 1972 Zirai İnşaat, Atatürk Üniversitesi Yayınları No.252/A, Erzurum.
- (33) : Wesche, K., 1968 Regulations for Reinforced and Prestressed Lightweight-Aggregate Concrete in Various Countries, Proceedings of the First International Congress on Lightweight Concrete, Vol.1; Papers: 225-233.
- (34) : Nelson, G.H., and Frei, O.C., 1958 Lightweight Structural Concrete Proportioning and Control, ACI Journal, Proceedings, Vol.54:605-622.

- (35) : Murlin, J.A., and Willson, C., 1952 Field Practice in Lightweight Concrete, ACI Journal, Proceedings, Vol.49, No.1 : 21-36.
- (36) : Bennett, W.B., 1968 Lightweight Aggregates and Fresh Concrete in Relation to Site and Factory Operations: Properties, Testing and Mix Design Handling, Mixing, Transporting and placing, Proceedings of the First International Congress on Lightweight Concrete, Vol.2, Discussion:8-11.
- (37) : Timms, A.G., 1967 Lightweight Aggregate Concrete, Modern Concrete, Vol.31, No.3: 29-35.
- (38) : Lewis, D.W., 1966 Lightweight Concrete and Aggregates, ASTM Special Technical Publication, No.169-A: 359-375.
- (39) : Nesbit, J.K., 1966 Structural Lightweight-Aggregate Concrete, Concrete Publications Limited, London.
- (40) : Russel, P., 1976 The Curing of Concrete, Cement and Concrete Association, London.
- (41) : YAE Teknik Bülten 21, Yaz 1985.
- (42) : Sasse, H.R., "A structural interpretation of the cracking behavior of concrete", Ibac Mitteilungen 1974, pp.100-111.
- (43) : Popovics, S., "A review of stress strain relationships for concrete" ACI Journal, Proceedings, Vol.67, No.3, 1970, pp.243-248.
- (44) : Popovics, S., "Fracture mechanism in concrete: How much do we know?" Proceedings of the ASCE, June 1969, EM 3, pp.531-544.
- (45) : Shah, S.P. and Winter, G., "Inelastic Behavior and fracture of concrete", ACI Journal, Proceedings, Vol.63, No.9, 1966.
- (46) : Hsu, T.C., Slate, F.O., Struman, G.M. and Winter, G., "Microcracking of plain concrete and the shape of the

- stress-strain curve", ACI Journal, 1963, pp.209-224.
- (47) : Shah, S.P. and Slate, F.O., "Internal microcracking, mortar-aggregate bond and the stress-strain curve of concrete", Proc.of an Inter. Conf. on the Structure of Concrete and its behaviour under load, London 1965, pp.82-92.
- (48) : Grimer, F.J. and Hewitt, R.E., "The form of the stress-strain curve of concrete interpreted with a di phase concept of material behaviour", The Proceedings of the Southampton 1969 Civil Engineerin Materials Conference, Part 1, No.57, pp. 681-691.
- (49) : Illig, J.L., Terree, M. et Bressieux, H., "Diagrammes contraintes-déformations relatives de bétons d'argile expansée", Revue des Matériaux de Construction, Mai-Juin 1975, pp.154-157.
- (50) : Wesche, K., "Strength and deformation behaviour of structural lightweight concrete", National Seminar on "Materials science and Technology", Madras (India), Febr.1973.
- (51) : SWAMY, R.N., "Influence of Slow Crack Growth on the Fracture Resistance of Fibre Cement Composites", No.1, 1980.
- (52) : RASCH, C.H., "Stress-strain diagrams of concrete obtained by constant rates of strain" Bulletin Rilem, No.9, 1960.
- (53) : SHAH, S.P. and SLATE, F.O., "Internal microcracking, mortar-aggregate bond and the stress-strain curve of concrete", Proc.of an Inter. Conf. on the Structure of Concrete and its Behaviour Under Load, London, 1965.
- (54) : SHAH, S.P., "Inelastic behavior and fracture of concrete" 1966.
- (55) : GRIMER, F.J. and HEWITT, R.E., "The form of the stress-strain curve of concrete interpreted with a di phase concept of material behaviour", The Proceedings of the Southampton

- 1969, Civil Engineering Materials Conference, Part 1, No.57, pp.681.
- (56) : ILLIG, J.L., TERREE, M. et BRESSIEUX, H., "Diagrammes contraintes-deformations relatives de betons d'argile expansée", Revue des Matériaux de Construction, Mai-Juin 1975, pp.154-157.
- (57) : ACI Journal, 1981, "MICROCRACKING AND TIME-DEPENDENT STRAINS IN CONCRETE", pp.262-268 written by Ngab, A.S.; Slate, F.O. and Nilson, A.H.
- (58) : Hsu, T.C.; Slate, F.O.; Struman, G.M.; Winter, G., "MICROCRACKING OF PLAIN CONCRETE AND THE SHAPE OF THE STRESS-STRAIN CURVE", ACI Journal, 1963, pp.209-224.
- (59) : Grimer, F.J.; Hewitt, R.E., "THE FORM OF THE STRESS-STRAIN CURVE OF CONCRETE INTERPRETED WITH A DI PHASE CONCEPT OF MATERIAL BEHAVIOR" Civil Engineering Materials Conference, Part I, No.57, pp.681-691, Southampton, 1969.
- (60) : TAYLOR, M.A., TAI, M.K. and RAMEY, M.R., "Bi-axial Compressive Behaviour of Fibre Reinforced Mortar", ACI Journal, September, 1975.
- (61) : SLATE, O.F. and MEYERS, L.B., "Deformations of Plain Concrete", Paper for the Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968.
- (62) : JOHNSTON, C.D., "Strength and deformation of Concrete in uniaxial tension and compression", Magazine of Concrete Research, Vol.22, No.70, March 1970.
- (63) : BACHE, H.H. and CHRISTENSEN, P.N., "Observations on strength and fracture in lightweight and ordinary concrete", Proc. of and Inter. Conf. on the Structure of Concrete and its Behaviour Under Load, London 1965.
- (64) : TANIGAWA, L. and YAMADA, K., "Size effect in compressive

strength of concrete", Cement and Concrete Research, Vol.8, 1978.

- (65) : HANSEN, T.C., "Theories of the multi-phase materials applied to concrete, cement mortar and cement paste", Proceedings of an International Conference, London, September 1965.
- (66) : ZAITSEV, J.W., and WITTMANN, F.H., "Fracture of porous viscoelastic materials under multiaxial state of stress", Cement and Concrete Research, Vol.3, 1973.
- (67) : NEWMAN, K. and NEWMAN, J.B., "Failure theories and design criteria for plain concrete", The proceedings of the Southampton 1969 Civil Engineering Materials Conference, Part 2, pp.963-995.
- (68) : SHAH, S.P., WINTER, G., Proc. ACI, Vol. 63, 1966, pp.925-930.
- (69) : BONZEI-J., "Betontechnische Berichte 1971, pp. 33-54, Beton-Valag.
- (70) : LUSCHE, M., Schriftenreihe der Zementindustrie, Heft 39 (1972), Beton-Valag.
- (71) : WISCHERS, G., LUSCHE, M., Betontechnische Berichte 1972, pp.135-163, Beton-Verlag.
- (72) : AKYÜZ, S., "Doğentlik Tezi", İ.T.Ü. İnş.Fak., 1976.
- (73) : SASSE, H., Betonstein Zeitung, Heft 3, 1971, ss.151-155.
- (74) : KOCATAŞKIN, F., "Beton Özelliklerinin Kompozit Malzeme Kuralları İle İncelenmesi", İ.T.Ü. İnş. Fak. Yapı Malz. Semineri, Nisan 1985.
- (75) : TS 3453, Beton elemanlarda rötre tayin metodu, Kasım 1981.
- (76) : Bilge M.R. "Öngerilmeli Beton", İTÜ. İnşaat Fakültesi MMLS Ders notları.
- (77) : Atan.Y. : Yapı Malzemesi II ders notları, 1972.

- (78) : Atan.Y.-Taşdemir.M.A.-Babuş.İ."Kompozit malzeme olarak normal ve hafif betonların zamana bağlı davranışı".
- (79) : GRÜBL, P., "Die Zugfestigkeit von Leichtzuschlagen" (The tensile strength of lightweight aggregates), Betonwerk +Fertigteil+Technik, Heft 10/1979, pp.579-587.
- (80) : GRÜBL, P., "Mix design of lightweight aggregate concrete for structural purposes", The International Journal of Lightweight Concrete, Vol.1, No.2, 1979.
- (81) : GRÜBL,P., "Druckfestigkeit von Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge", beton 3/1979.
- (82) : Taşdemir, M.A., "TAŞIYICI HAFİF AGREGALI BEYONLARIN ELASTİK ve ELASTİK OLMAYAN DAVRANIŞLARI", Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 1981.

ÖZGEÇMİŞ

1965 yılında Antalya'da doğan Cem OĞUZ, ilk öğrenimini Alanya'da orta öğrenimini Antalya'da tamamlamıştır. 1982 yılında Isparta Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümüne girmiş, 1986 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun olmuştur. 1986 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans öğrenimine ve Araştırma Görevliliğine başlamıştır. 1988 yılı Haziran-Temmuz aylarında Milli Eğitim Bakanlığı'nın bursu ile Federal Almanya'nın Prien kentinde Goethe-Enstitüsü tarafından düzenlenen Almanca kurslarına katılmıştır. Kasım 1988 tarihinden itibaren Akdeniz Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'nda İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya başlamış ve halen bu görevi sürdürmektedir.

Akdeniz Üniversitesi
Rektörlüğü Kütüphanesi
Demirbaş No. 4949

P:20.000.-TL