

24865

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAFİF BETONDAN İMAL EDİLMİŞ BETONARME KİRİŞLERİN
DAYANIM VE DAVRANIŞI

A.Kerim İLGÜN

İNŞAAT ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez .../.../1992 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Doç.Dr.Muhammed D. TEKİN
(Danışman)

(Üye)

(Üye)

ÖZET

Bu çalışmada, hafif agregadan elde edilmiş betonlar ve bu betondan imal edilmiş betonarme kirişlerin dayanım ve davranışı teorik ve deneysel olarak incelendi. Hafif agregadan imal edilmiş betonarme kirişlerin kullanılabilirliği hakkında sonuca varıldı.

Birinci bölümde, hafif agregalar ve bu agregalardan beton taşıyıcı elemanlar ve kirişler imal etmenin faydaları sakıncalı yönleri anlatılmıştır.

İkinci bölümde, hafif agregadan imal edilen beton ve kirişler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ve sonuçları anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, deneylerde kullanılan Madenşehir hafif agregasının özellikleri TS 3529 ve TS 3526'ya göre incelenerek beton yapımında kullanılabilirliği incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, söz konusu hafif agreganın kullanılmasıyla taşıyıcı olarak kullanılacak beton imalı için gerekli birleşim hesapları verilmiştir.

Beşinci bölümde, birleşim hesapları yapılan hafif betonlar dökülerek laboratuvarında 28 günlük mukavemetleri ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Altıncı bölümde, kiriş deneylerinin yapımı için imalatı Konya Anadolu Sanayiinde yaptırılan beton kırma presinin özellikleri ile tasarım hesapları verilmiştir.

Yedinci bölümde, hafif betonarme kirişlerin yük altındaki dayanım ve davranışı teorik olarak incelenmiştir.

Sekizinci bölümde, hafif betondan imal edilmiş kirişler üzerinde yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Dokuzuncu bölümde, imal edilen betonarme kirişlerin teorik ve deneysel moment kapasiteleri ile sehim değerleri karşılaştırılarak sonuçlar karşılaştırılmış ve hafif betondan imal edilen kirişlerin emniyetle taşıyıcı kiriş olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT

This Study concrete and beams obtained from light weight aggregate are investigated from the point of view of strength and behaviour. Results are derived from the point of view of usability.

In the first chapter, some information about light weight aggregates and concret produced from this aggregate are given.

In the second chapter, previous studies made about the aboue subject are summarized.

In the third chapter, aggregates that will be used in this study and the properties of these aggregates due to TS 3529 and TS 3526 are investigated.

In the fourth chapter, the calculations of concrete mixes that will be produced according to TS 2511 are given.

In the fifth chapter, the phsical and mechanical results obtained from the concrete specimens are given.

In the six chapter, the properties and design of the flexural beam testing machine which is manufactured in Konya is given.

In the seventh chapter, reinforced concrete beams subjected to simple bending are investigated from the point of view of strength and behaviour.

In the eighth chapter, the laboratory results obtained from the testing of the four beams with requard to load and deflections are given.

In the nineth chapter, the theoratical and laboratory moment capacities and deflections of the beams tested in the laboratory are compared. It was denved that reinforced concrete beam with light weight aggregates can be used as load carrying beams in buildings.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma konusunu bana veren ve yaptırılan kiriş kırma presine ödenen paranın 13.300.000 TL sini çeşitli kurum ve kuruluşlardan yardım olarak presin yapılmasını gerçekleştiren ve çalışmamın bütün safhalarında beni yönlendiren danışmanım sayın Doç. Dr. Muhammed D. Tekin'e, çalışmalarımı yapabilmem için laboratuvar imkanlarını sonuna kadar kullanmama izin veren bölüm başkanımız Prof. Mustafa Karaduman'a, çalışmalarımı tamamlayabilmek için gerekli kiriş kırma presini yaptırmamızda teknik yönden yardımcı olan Öğr. Gör. Mak. Yük. Müh. M. Şekip Alp hocam'a, kiriş kırma presinin yapılmasına maddi katkıda bulunan, Sayın Konya Çimento Sanayii A.Ş. yetkililerine, Sayın İnş. Müh. Ali Sandıkçı'ya, Sayın İnş. Yük. Müh. Nazif Yardımcı'ya, Sayın Rıfat Öz'e, Sayın Müteahhit Yalçın Demiröz'e, Sayın Konya Ticaret Odası yetkililerine, İnş. Müh. Odası yönetim kurulu üyelerine, Sayın İnş. Müh. Remzi Akhan'a, Madenşehir Ponza ocağı işletmecisi Sayın Abdullah Yaman'a, laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen İnş. Müh. Ulviye Atay, Tekniker Naci Alatlı ve Tekniker Doğan Baldan'a ve ayrıca tez yazım sırasında yardımlarını esirgemeyen İnş. Müh. Sevil Çenesiz, İnş. Müh. Ramazan Günal'a, Emre grafik yazım bürosuna sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
TABLolar.....	VIII
KULLANILAN SEMBOLLER	IX
KISALTMALAR.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Gayesi	1
1.2. Hafif Betonlar.....	2
1.3. Hafif Betonun Üstünlükleri	3
1.4. Hafif Betonun Sakıncaları.....	4
1.5. Taşıyıcı Hafif Betonlar.....	4
1.6. Doğal Hafif Agregalar	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMA.....	6
3. MATERYAL VE METOD	8
3.1. Materyal	8
3.2. Metod	8
3.2.1. Ponza taşının özelliklerinin tayini	9
3.2.1.1. Birim ağırlık deneyleri	9
3.2.1.1.1. Sıkışık birim ağırlık deneyi.....	9
3.2.1.1.1.1. Kullanılan aletler	9
3.2.1.1.1.2. Deney numunesi.....	9
3.2.1.1.1.3. İşlem.....	9
3.2.1.1.1.4. Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi.....	10
3.2.1.2. Gevşek birim ağırlık deneyi	12
3.2.1.2.1. Kullanılan aletler	12
3.2.1.2.2. Deney numunesi	12
3.2.1.2.3. İşlem.....	12

3.2.1.2.4. Hesaplama ve Sonuçların gösterilmesi.....	12
3.2.1.3. Ponza taşının özgül ağırlık ve su emme oranı deneyleri.....	13
3.2.1.3.1. İnce agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi	13
3.2.1.3.1.1. Kullanılan aletler	13
3.2.1.3.1.2. Deney numunesi.....	13
3.2.1.3.1.3. İşlem.....	15
3.2.1.3.1.4. Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi.....	15
3.2.2.3.2. İri agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi	18
3.2.1.3.2.1. Kullanılan aletler	18
3.2.1.3.2.2. Deney numunesi.....	18
3.2.1.3.2.3. İşlem.....	18
3.2.1.3.2.4. Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi.....	19
3.2.3.4. Agreganın granülometrisinin tayini.....	21
3.2.1.4.1. Kullanılan aletler	21
3.2.1.4.2. Deney numunesinin hazırlanması.....	21
3.2.1.4.3. İşlem.....	21
3.2.1.4.4. Hesaplama	22
3.2.1.5. Özgül ağırlık faktörü deneyi	24
4. HAFİF BETON KARIŞIM HESAPLARI.....	25
4.1. Genel Kabüller	25
4.2. 350 Dozlu BS 14 Karışım Hesabı (PÇ325 için).....	25
4.2.1. 1 m ³ karışım için gerekli nemli agrega hesapları.....	25
4.2.2. Nemli agregaların karışım içinde kapladığı hacim hesabı.....	26

4.2.3. Çimentonun karışım içinde kapladığı hacmin hesabı.....	26
4.2.4. Gerekli suyun hesabı	26
4.2.5. Bir m ³ beton karışımındaki gerçek malzeme miktarlarının bulunması	26
4.3. 350 Dozlu BS14 Betonu Karışım Hesabı (PÇ400).....	27
4.4. 300 Dozlu % 20 Normal Agregalı Hafif Beton Karışım Hesabı (PÇ325)	27
4.4.1. 1 m ³ karışım için gerekli nemli agregaya hesabı.....	27
4.4.2. Nemli agregaların karışım içindeki kapladığı hacim hesabı.....	27
4.4.3. Çimentonun karışım içinde kapladığı hacmin hesabı.....	28
4.4.4. Gerekli suyun hesabı	28
4.4.5. 1 m ³ Beton karışımındaki gerçek malzeme miktarlarının bulunması	28
4.5. 300 Dozlu % 30 Normal Agregalı Hafif Beton Karışım Hesabı (PÇ 325)	29
4.5.1. 1 m ³ karışım için gerekli nemli Agregaya hesabı.....	29
4.5.2. Nemli Agreganın karışım içinde kapladığı hacmin hesabı.....	29
4.5.3. Çimentonun karışım içinde kapladığı hacmin hesabı.....	30
4.5.4. Gerekli suyun hesabı	30
4.5.5. 1 m ³ beton karışımındaki gerçek malzeme miktarının hesabı	30
4.6. 300 Dozlu % 40 Normal Agregalı Hafif Beton Karışım Hesabı (PÇ 325)	31
4.6.1. 1 m ³ Karışım için gerekli nemli agregaya hesabı.....	31
4.6.2. Nemli agregaların karışım içinde kapladığı hacmin hesabı	31
4.6.3. Çimentonun beton içinde kapladığı hacmin hesabı	32
4.6.4. Gerekli suyun hesabı	32
4.6.5. 1 m ³ Beton karışımındaki gerçek malzeme miktarının hesabı.....	32

4.7. 300 Dozlu % 50 Normal Agregalı Hafif Beton	
Karışım Hesabı (PÇ 325)	33
4.7.1. 1 m ³ karışım için gerekli nemli agrega hesabı	33
4.7.2. Nemli agreganın karışım içinde kapladığı hacmin hesabı.....	33
4.7.3. Çimentonun beton içinde kapladığı hacmin hesabı	34
4.7.4. Gerekli suyun hesabı	34
4.7.5. 1 m ³ Beton karışımındaki gerçek malzeme miktarının hesabı	34
4.8. 350 Dozlu Uçucu Kül Katkılı BS14 Karışım Hesapları.....	35
4.9. Deney Sonuçları	36
5. HAFIF BETON ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER	37
5.1. Taze Betonda Yapılan Deneyler.....	37
5.1.1. Taze beton birim hacim ağırlığı deneyi.....	37
5.1.2. Çökme deneyi	37
5.1.2.1. Kullanılan aletler.....	37
5.1.2.2. Deneyin yapılışı	39
5.1.2.3. Sonuç	39
5.2. Basınç Mukavemeti Tayini.....	39
5.2.1. Numune sayısı.....	39
5.2.2. Başlık yapılması.....	39
5.2.3. Kullanılan aletler	40
5.2.4. Hesaplama sonuçlarının gösterilmesi.....	40
5.5.5. Hafi betonun Elastisite modülünün tayini	40
6. KIRIŞ DENEY PRESİ	43
6.1. 250 kN Kiriş Eğilme Çerçevesi.....	43
6.2. Kirişe Uygulanan Yükün Bulunması	44
6.3. Kiriş Deney Presi Çerçevesinin Özellikleri	44
6.4. Kumanda ve Elektrik Motor Donanımı	44
7. HAFIF BETONDAN İMAL EDİLMİŞ BETONARME KIRIŞLARIN DAYANIM ve DAVRANIŞI.....	47

7.1. Basit Eğilme Etkisindeki Kirişlerin Davranışı	47
7.2. Betonarme Kiriş Davranışı İle İlgili ODTÜ Deneyleri	52
8. HAFİF BETONDAN İMAL EDİLMİŞ BETONARME KİRİŞLER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER	55
8.1. Deney Kirişleri	55
8.2. Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar	57
8.3. Deney Sonuçlarına Göre Hesaplanan Kırılma Momentleri	57
8.4. Kirişler için Hesaplanan Teorik Taşıma Gücü ve Sehim Değerleri	61
8.4.1. K1 Kirişleri için	61
8.4.2. K2 Kirişleri için	61
9. SONUÇ ve ÖNERİLER	62
9.1. Madenşehir Hafif Agregası	62
9.2. Hafif Agregadan Beton İmalatı	62
9.3. Betonarme Kirişlerin Teorik ve Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması	63
9.4. Öneriler	64
10. KAYNAKLAR	65

TABLolar

Tablo 3.1 Gevşek Birim Ağırlık Hesabı.....	11
Tablo 3.2 Sıkışık Birim Ağırlık Hesabı	14
Tablo 3.3 İnce Agrega Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Hesabı	17
Tablo 3.4 İri Agrega Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Hesabı	20
Tablo 3.5 Özgül Ağırlık Faktörleri	24
Tablo 4.1 Ponza Taşı Özelliklerinin Benzer Malzemeler İle Karşılaştırılması	36
Tablo 5.1 Taze Beton Birim Hacim Ağırlığı	38
Tablo 5.2 7 Günlük Basınç Mukavemeti Değerleri.....	41
Tablo 5.3 28 Günlük Basınç Mukavemeti Değerleri.....	42
Tablo 8.1 Deney Kirişlerinin Doneleri.....	56
Tablo 8.2 K1 Kirişlerinin Yükleme Deneyinden Elde Edilen Sonaçlar	56
Tablo 8.3 K2 Kirişlerinin Yükleme Deneyinden Elde Edilen Sonaçlar	56

KULLANILAN SEMBOLLER

A_s	:	Donatı alanı
B_g	:	Agraga gevşek birim hacim ağırlığı
B_s	:	Agraga sıkışık birim hacim ağırlığı
b_w	:	Kiriş genişliği
d	:	Kiriş faydalı yüksekliği
f_{cd}	:	Betonun hesap basınç dayanımı
f_{ctd}	:	Betonun aksenal çekme dayanımı
f_{ctf}	:	Betonun eğilmedeki çekme dayanımı
f_{yd}	:	Çeliğin hesap akma dayanımı
M_{cr}	:	Kiriş çatma momenti
m_e	:	Agrega su emme oranı
M_r	:	Kiriş taşıma gücü momenti
P	:	Beton basınç dayanımı
S_n	:	Elekten geçen malzeme oranı
V	:	Ölçü kabı hacmi
W_1	:	Ölçü kabı boş ağırlığı
W_2	:	Ölçü kabı dolu ağırlığı
y	:	Sehim
γ_d	:	Agrega doygun özgül ağırlığı
γ_g	:	Agrega görünen özgül ağırlığı
γ_k	:	Agrega kuru özgül ağırlığı
ρ	:	Donatı oranı

KISALTMALAR

N.A.	:	Normal Agregalı
U.K.	:	Uçucu Küllü

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Gayesi

Avrupa ve Amerika'da hafif agregadan yapılmış betonlarla köprüler ve çok katlı binalar yapılmıştır. Hafif agregadan yapılmış betonlar ölü yüklerde büyük azalma sağladığından deprem bölgelerinde deprem kuvvetlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Hafif agregadan imal edilmiş betonlarla yapılan binaların maliyetinde büyük indirimler sağlanacağından binalarda hafif betonların kullanımı büyük önem kazanmıştır. Bu sebepten hafif agregadan imal edilmiş kirişlerin dayanım ve davranışları incelenecektir.

Hafif betondan yapılmış kirişlerin dayanım ve davranışını inceleyebilmek için S.Ü. Araştırma Fonu ve Konya'daki çeşitli kuruluşların katkılarıyla, danışmanım Doç. Dr. Muhammed D. Tekin'le Konya Anadolu Sanayi Sitesinde yaptırdığımız 250 kN'luk kiriş kırma makinası kullanılmıştır.

Hafif agregalar Madenşehir'ndeki ponza yataklarından getirilmiş hem normal portlant çimentosu ve hem de yüksek mukavemetli portlant çimentoları kullanılarak hafif betonlar imal edilmiş ve mukavemetleri tesbit edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Karaman Madenşehir'ndeki ponzanın hafif agrega olarak beton yapımında kullanılarak imal edilen betonun taşıyıcı kiriş kullanımında kullanılabilirliğinin tesbitidir. Karışım hesaplarında TS 2511 kullanılmıştır.

Türkiye'de ve Konya'da hafif betondan imal edilmiş kirişler binalarda kullanılmamakta ve kullanılmasında tereddütler bulunmaktadır. Ancak hafif betonlar Avrupa'da yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışma ile hafif betonların kirişlerde kullanımındaki tereddütler kaldırılmaya çalışılacaktır.

1.2. Hafif Betonlar

Geleneksel betonarme inşaatlarda kullanılan klasik betonun birim hacim ağırlığının yüksek oluşu çoğu zaman bu betonun sakıncalı bir özelliği olmaktadır. Bu yapılar ya da yapı elemanları oldukça ağır olduğundan yüksek yapılarda önemli sakıncalar ortaya çıkarmakta, hatta pratik hayatta geçilmesi gerekli, normale göre, büyük açıklıkların bulunması halinde, bu elemanlar kendi öz ağırlıklarını bile taşıyamaz hale gelmektedir (1). Ağırlıklarının fazlalığı sebebi ile bu yapıların depremden de önemli derecede etkilendikleri bilinen bir gerçektir.

Betonun, bu sakıncalı yönlerini ortadan kaldırmak için başlıca üç yola başvurulur (2). Bunlar;

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

olmaktadır.

Görüldüğü gibi çok kullanılmakta olan hafif betonları üretmek için beton içinde çeşitli yöntemlerle boşluk oluşturmak genel kuraldır. Ancak boşluk oluşturma ya harç içinde, ya agrega daneleri arasında ya da agreganın içinde yapılır.

Hafif betonların kullanılmalarının başlıca sebepleri arasında hafiflikleri, ateşe dayanıklılıkları, ses ve ısıya karşı yalıtkan olmaları sayılabilir. Üstelik bazı bölgelerde kaliteli normal agreganın olmayışı ya da çok az oluşu; kil gibi çok yaygın bulunan malzemelerden ya da şist, letiye ve uçucu kül gibi sanayinin kullanılmayan yan ürünlerinden de hafif agrega yapımını zorunlu kılmaktadır. Bu betonların

birim hacim ağırlıkları çok farklı olduğundan yapım yöntemi de genellikle normal betonunkinden farklıdır

İlk uygulamalarda, hafif betonun ekonomik yararlarını birim hacim ağırlıklarının ve ısı iletkenlik katsayılarının küçüklüğü teşkil ediyordu. Ancak, dolgu ve yalıtım elemanı olarak kullanılmasından başarılı sonuçlar elde edilince, bugün artık yalıtım görevine ilaveten taşıyıcı özelliği olan elemanlarda da kullanılmaya başlanmış, dolayısıyla da mühendisler artık bu malzemenin mekanik karakteristiklerini de bilmek zorunda kalmıştır.

Bu hususların tümü dikkate alınarak hafif betonun geleneksel betona göre üstünlükleri, sakıncaları, özellikleri, önemi, geleceği ve Türkiye'de uygulama imkanları üzerinde durularak önemli sayılan sonuçlara varılacaktır.

1.3. Hafif Betonun Üstünlükleri

- a) Eğilme etkisindeki elemanlarda donatı ekonomisi sağlar,
- b) Hafif betonla üretilen elemanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle yapı yükleri azalır, bu azalma ile temeller ve diğer yapı elemanları daha küçük boyutlarda yapılabilir,
- c) Isı ve ses yalıtımı daha iyidir,
- d) Donmaya karşı dayanıklı olduğu gibi ateşe karşı da dayanıklıdır,
- e) Hafif betonun kullanıldığı yapılar depremden daha az etkilenir.

1.4. Hafif Betonun Sakıncaları

- a) Boşluklu olmaları nedeniyle mukavemetleri düşüktür. Bundan dolayı birçok yüksek mukavemetli beton uygulamalarında tercih edilen bir malzeme değildir,
- b) Aşınmaya karşı dayanıksızdır,
- c) İmalat ve yerine konması daha çok özen ister. Dolayısıyla da normal betone göre ek masraf gerektirir,
- d) Anî ve geciken şekil değiştirmeleri daha büyüktür.

1.5. Taşıyıcı Hafif Betonlar

28 günlük silindir mukavemeti 170 kg/cm^2 değerinden küçük olmayan ve birim ağırlığı 1850 kg/m^3 değerini aşmayan betonlar, birçok standartlar tarafından ve bu arada ASTM (c-330-77) standardına göre, taşıyıcı beton olarak kabul edilmektedir (3). Bu tür betonların betonarme yapılarda kullanılmasıyla öz ağırlığın, % 25 gibi belirgin bir ölçüde, azalması sağlanmaktadır. Bundan dolayı betonarme yapı tekniğinde hafif taşıyıcı beton kullanılması eğilimi gittikçe artmaktadır. O kadar ki evvelce yalnız binaların yapımında kullanılan bu tür betonlarla günümüzde 140 m. açıklığında betonarme köprü yapımına başlanmıştır (3). Bu tür malzemeye yönelmenin başlıca sebebi yapımının tüm ağırlığının azalmasından yararlanarak taşıyıcı elemanların kesitlerini küçültmek ve böylelikle işin maliyet bedelini düşürmektedir.

Taşıyıcı hafif betonların muhtelif agregalarla elde edilmesi mümkündür. Bunlar arasında en ekonomik olanı doğal agregalar kullanılmasıyla bu betonların üretilmesidir. Ülkemizde çok geniş doğal agrega rezervleri bulunmaktadır. Bu bakımdan doğal hafif agregalardan yararlanmak doğru bir çözüm olacaktır.

1.6. Doğal Hafif Agregalar

Doğal hafif agregalar içinde en önemlisi volkanik bir kökene sahip olan sünger taşıdır. Bu taşın çok fazla boşluklu bir yapıya sahip olmasından dolayı bunların parçalanmasından meydana gelen agregaların düşük özgül ağırlığı (1.6 kg/dm^3 dolayında) ve düşük birim hacim ağırlığı (0.75 kg/dm^3 dolayında) vardır. Bu agregaların boyutları da genel olarak 20 mm den küçük bulunmaktadır (3).

Ülkemizde bims (ponza) olarak bilinen bu agregaların Nevşehir, Kayseri, Van ve Karaman civarında bulunmaktadır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

TAŞDEMİR, M.A., yaptığı deneysel çalışmalarda taşıyıcı doğal hafif agregalı betonların mukavemetinin belirli bir değerin üstünde olmasını sağlayan beton bileşiminin tesbitini amaçlamıştır. Bunu sağlamak için belirli boyutlar arasındaki normal agregataneleri karışımından çıkarılarak, bunların yerine aynı boyutlar arasında kalan hafif agregataneleri konulmuştur. Bu şekilde sistemli olarak yürütülen deneyler sonunda genellikle karışımda yer alan hafif agregatanelerinin boyutları veya ortalama tane boyutu küçüldükçe beton mukavemetinin yüksek değerler aldığı görülmüştür.

KILIÇ, R., KOÇ, Ş., Madenşehir güney batısındaki (Konya-Karaman) ponza taşının etüdünü yaparak yapılarda hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğinin tesbiti için fiziksel özelliklerini araştırmışlardır. TS 1114 ve DIN 4226 ya göre , Beton İçin Hafif Agregalar standartlarına göre kullanılabilirlik araştırmaları yapmışlardır.

KILIÇ, R., ŞİMŞEK, O., Madenşehir (Karaman) doğusundaki ponza taşının rezervi, işletme imkanı, hafif agregat ve beton özelliklerini araştırmışlardır. Depolardan alınan örnekler DIN 4226 ve TS 1114 Standartlarına göre inceleyerek hafif agregat özellikleri ile ilgili standartlara uygunluğunu göstermişlerdir. Hafif beton üretiminde 350 kg/m³ çimento ve 0.662 kg/m³ ponza taşı olarak karışım yapmışlardır. Karışımda çimento miktarını hacimce % olarak 5, 10, 20, 25, 30, 35, 40 oranlarında azaltarak yerine Soma B termik Santral baca külü ilave etmişlerdir. Bu oranlarla üretilen betonlardan en uygununun % 40 uçucu kütle elde edildiğini göstermişlerdir. Bu betonun 28 günlük basınç dayanımını 16.2 MPa (162 kg/cm²) olarak bulmuşlardır.

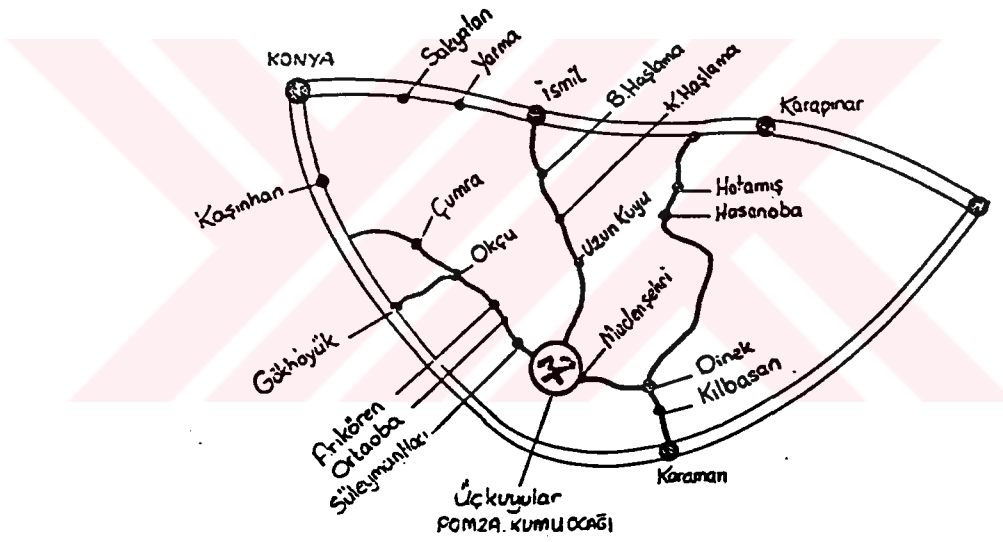
POSTACIOĞLU, B., Hafif betonların betonarme yapılarda kullanılabilirliği konusunda bir fikir edinmek için İTÜ Yapı Laboratuvarı'nda hafif betondan bir betonarme kiriş yapmıştır. Kesiti 20x27 cm olan ve içinde 4 \emptyset 12 donatı bulunan ve 28 günlük mukavemeti 170 kg/cm² olan, betonun kullanıldığı bu kiriş 370 cm. lik bir açıklıkta simetrik yük ile eğilme deneyine tabi tutmuştur. Taşıma gücü esasına göre kirişin 6957 kgf 'lık bir toplam yük altında kırılacağını hesaplamıştır. Deneyde bulunduğu kırılma yükü ise 7440 kgf olup hesapladığı değerden % 7 gibi bir fazlalık elde etmiştir.



3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Araştırma malzemesi Karaman ili Madenşehir köyü batısından alınan ponza taşıdır (Şekil 3.1.). Ayrıca bağlayıcı olarak Konya Çimento Fabrikası'ndan alınan PÇ 325 ile Adana Çimento Fabrikasından alınan PÇ 400 kullanılmıştır. Karışımlarda karma suyu olarak Konya şehir şebeke suyu kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Malzeme sahası ulaşım haritası

3.2. Metod

Ponza taşından numune alınması ve numune üzerinde yapılan deneyler TS 1114, TS 3529, TS 2511, TS 2529 ve TS 130'a göre yapılmıştır. Bütün deneyler Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yapı Laboratuvarında yapılmıştır.

3.2.1. Ponza taşının özelliklerinin tayini

3.2.1.1. Birim ağırlık deneyleri

TS 3529'a göre ince, iri ve tuvenan agregada sıkışık birim ağırlık ile gevşek birim ağırlık deneyleri yapılmıştır.

3.2.1.1.1. Sıkışık birim ağırlık deneyi

3.2.1.1.1.1. Kullanılan aletler

- Terazî
- Şişleme çubuğu: 600 mm boyunda, 16 mm çapında, ucu yarım küre biçimli düz bir çubuk,
- Ölçü kabı: Alt ve üst yüzeyleri düz ve silindir ekseninin dik, su geçirmez, kullanma sırasında biçimi bozulmayacak silindir biçimli kap. Ölçü kabının hacmi, içine doldurulan 16.5 °C deki suyun ağırlığı belirlenerek bulunmuştur. Bunun için kabın içi su ile dolu iken bulunan gram cinsinden ağırlığı ile, boş iken bulunan gram cinsinden ağırlığı arasındaki farkın 16.5 °C deki suyun birim ağırlığına (1.00 g/cm³) bölünmesiyle dm³ olarak elde edilir (V).

3.2.1.1.1.2. Deney numunesi

Deneyde kullanılan numune miktarı 5 kg dır.

3.2.1.1.1.3. İşlem

Ağırlığı (W_1) bilinen ölçü kabı, hava kurusu (ortam sıcaklığında ve ortam şartlarında bekletilen agreganın değişmez ağırlığına erişmesi

durumu) durumuna getirilmiş deney numunesi ile kabın yüksekliğinin 1/3'ne kadar dolduruldu. Numune, şişleme çubuğu ile yüzeyin her tarafına yayılacak şekilde 25 vuruş yapılarak şişlenip sıkıştırıldı. Sıkıştırma işlemi, kap ikinci kez 2/3'ü, üçüncü kez tamamı taşarcasına doldurularak oluşturulan ikinci ve üçüncü tabakalar içinde 25 kez şişlenerek tekrarlandı. Ölçü kabı üst yüzeyi bir mala ile düzenlendi. Şişleme işlemi tamamlandıktan sonra ponza taşı ile dolu olan ölçü kabı tartıldı (W_2).

3.2.1.1.1.4. Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi

Ponza taşının sıkışık birim ağırlığı aşağıdaki formül ile tam sayıya yuvarlatılarak hesaplandı

$$B_s = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (3.1)$$

Burada;

B_s : sıkışık birim ağırlığı (g/dm^3)

W_2 : sıkışık ağrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (g)

V : Ölçü kabının iç hacmi (dm^3).

Sıkışık birim ağırlık deneyi, iki deney numunesi üzerinde yapıldı. Arasındaki fark $5 kg/m^3$ den büyük olmadığından dolayı TS 3529 da belirtildiği gibi üçüncü kez yapılmadı. Sonuçlar Tablo 3.1 de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Sıkışık Birim Ağırlık Hesabı

AGREGA	Max Dane Çapı (mm)	Ölçü Kabı Su dolu Ağırlığı (g)	Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (W_1) (g)	Ölçü Kabı Hacmi (V) dm^3	Sıkışık Agregaya İle dolu ölçü Kabı Ağırlığı (W_2) (g)		Sıkışık Agregaya Ağırlığı ($W_2 - W_1$) (g)		Sıkışık Agregaya Birim Ağırlığı (g/dm^3) B_s		
					1. Den.	2. Den.	1. Den.	2. Den.	1. Den.	2. Den.	Ort.
İRİ	20	2390	435	1.96	1864	1874	1429	1439	729	734	732
İNCE	4	2390	435	1.96	2724	2732	2289	2297	1168	1172	1170
TUVENAN	20	2390	435	1.96	2266	2256	1831	1821	934	929	932

3.2.1.2. Gevşek birim ağırlık deneyi

3.2.1.2.1. Kullanılan aletler

- Terazî
- Ölçü kabı
- Kürek

3.2.1.2.2. Deney numunesi

Deneyde kullanılan numune miktarı 5 kg dır.

3.2.1.2.3. İşlem

Hava kurusu durumuna getirilmiş deney numunesi, ağırlığı (W_1) bilinen ölçü kabına kürek ile taşarcasına dolduruldu. Küreğin ölçü kabı üst yüzeyinden 5 cm'den daha yükseğe kaldırılmamasına, agreganın sıkışmamasına ve ayrışmamasına özen gösterildi. Ölçü kabı üst yüzeyi, fazla agrega elle sıyrılarak düzenlendi. Ölçü kabı dolu haliyle tartıldı (W_2).

3.2.1.2.4. Hesaplama ve Sonuçların gösterilmesi

Agreganın gevşek birim ağırlığı aşağıdaki formül ile tamsayıya yuvarlatılarak hesaplandı.

$$B_g = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (3.2)$$

Burada;

B_g : Gevşek birim ağırlığı (g/dm^3)

W_2 : Gevşek agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (g)

V : Ölçü kabının iç hacmi (dm^3)

Gevşek birim ağırlık deneyi, iki deney numunesi üzerinde uygulandı. Deney sonuçları arasındaki fark 5 kg/m^3 'den büyük olmadığından dolayı TS 3529 da belirtildiği gibi üçüncü kez yapılmadı. Sonuçlar Tablo 3. 2 de gösterildi.

3.2.1.3. Ponza taşının özgül ağırlık ve su emme oranı deneyleri

TS 3526 ya göre iri ve ince agregada özgül ağırlık ve su emme oranı tayin edilmiştir (8).

3.2.1.3.1. İnce agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi

3.2.1.3.1.1. Kullanılan aletler

- Teraziler : 2 kg çekerli 0.1 g duyarlı,
- Tablalı ısıtıcı : Deney numunesinin sıcaklığını $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5$ $^\circ\text{C}$ 'ye çıkarabilecek bir tabla ve elektrik ısıtmalı bir ısıtıcı
- Ölçü kabı : 1000 ml'lik cam bir ölçü kabı
- Havlu ve benzeri kurutma bezleri

3.2.1.3.1.2. Deney numunesi

Deneylerde kullanılan malzeme miktarı en büyük dane büyüklüğüne bağlı olarak max tane çapı 4 mm olan ince agreganın için 0.8 kg'dır.

Tablo 3.2 Gevşek Birim Ağırlık Hesabı

AGREGA	Max Dane Çapı (mm)	Ölçü Kabı Su dolu Ağırlığı (g)	Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (W_1) (g)	Ölçü Kabı Hacmi (V) dm^3	Gevşek Agregata İle dolu ölçü Kabı Ağırlığı (W_2) (g)		Gevşek Agregata Ağırlığı ($W_2 - W_1$) (g)		Gevşek Agregata Birim Ağırlığı (g/dm^3) B_s		
					1. Den.	2. Den.	1. Den.	2. Den.	1. Den.	2. Den.	Ort.
İRİ	20	2390	435	1.96	1707	1699	1272	1264	649	646	647
İNCE	4	2390	435	1.96	2289	2299	1854	1864	946	951	949
TUVENAN	20	2390	435	1.96	2048	20566	1613	1621	823	827	825

3.2.1.3.1.3. İşlem

0.8 kg deney numunesi su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra ince taneleri kaybolacak şekilde suyu süzüldü ve bir tava içine yayıldı. Tava tablalı ısıtıcı üzerine konarak agrega kurutuldu ve doygun kuru yüzey haline getirildi. Doygun kuru yüzey hali ince agreganın koyu (ıslak) renkten, açık (kuru) renge değişmeye başladığı anın hemen sonrasındır. Numunenin çok kurumamasına özen gösterildi. Doygun kuru yüzey haline erişilip erişilmediği kesme metodu ile kontrol edildi (6).

Doygun kuru yüzey durumuna getirilmiş olan numune tartılarak doygun kuru yüzey ağırlığı kaydedildi (W_2). Etüv kurusu (sıcaklığı 105 ± 5 °C tutabilen etüvde en az 24 saat bekletildikten sonra çıkarılan agreganın değişmez ağırlığa erişmesi durumu) durumuna getirildi. Ölçü kabının daha önce belirlenmiş olan ağırlığı bu tartıdan çıkarılarak numunenin kuru ağırlığı belirlendi (W_1). Ölçü kabı yaklaşık 20 °C daki su ile yarıya kadar dolduruldu ve düz bir yüzey üzerine hafif hafif vurularak ve aynı zamanda döndürülerek hava kabarcıklarının çıkması sağlandı. Bir saat beklendikten sonra ölçü kabı yaklaşık 20 °C daki su ile 1000 ml işaret çizgisine kadar dolduruldu ve tartıldı (W_3).

3.2.1.3.1.4. Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi

İnce agreganın kuru özgül ağırlığı, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı, görünen özgül ağırlığı ve su emme oranı aşağıdaki formüller ile yüzde bir hanesine yuvarlatılarak hesaplandı.

- İnce agreganın kuru özgül ağırlığı:

$$\gamma_k = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3} \quad (3.3)$$

- İnce agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı:

$$\gamma_d = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3} \quad (3.4)$$

- İnce agreganın görünen özgül ağırlığı:

$$\gamma_g = \frac{W_1}{W_1 + W_4 - W_3} \quad (3.5)$$

- Su emme oranı:

$$m_e = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \cdot 100 \quad (3.6)$$

Burada;

γ_k : İnce agreganın kuru özgül ağırlığı (g/dm^3)

γ_d : İnce agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı (g/dm^3)

γ_g : İnce agreganın görünen özgül ağırlığı (g/dm^3)

m_e : İnce agreganın su emme oranı (%)

W_1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g),

W_2 : Numunenin doymun kuru yüzey durumundaki ağırlığı (g),

W_3 : Ölçü kabı, su ve numunenin toplam ağırlığı (g),

W_4 : 1000 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g).

İnce agreganın özgül ve su emme oranı tayini deneyi, iki deney numunesine uygulandı. Özgül ağırlık tayini deney sonuçları arasındaki fark 0.02 den daha küçük olduğundan sonuçların ortalaması, ince agreganın özgül ağırlığı olarak kabul edildi.

Su emme oranı sonuçları arasındaki fark 0.2 den daha küçük olduğundan sonuçların ortalaması su emme oranı olarak kabul edildi. Sonuçlar Tablo 3. 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3 İnce Agrega Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Hesabı

Dene y Numunesinin		Ölçü Kabı		Kuru Ağır. (W_1)		Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (W_3) (g)		Kuru Özgöl Ağ. (γ_k)			Doygun Kuru Yüzey Özgöl Ağ. (γ_d)			Görünen Özgöl Ağ. (γ_g)			Su Emme Oranı (%) (m_e)		
		1. Den.	2. Den.	1. Den.	2. Den.	1. Den.	2. Den.	1. Den.	2. Den.	Ort.	1. Den.	2. Den.	Ort.	1. Den.	2. Den.	Ort.	1. Den.	2. Den.	Ort.
1. Den.	556	1258	1258	429	419	1430	1425	1.117	1.05	1.084	1.45	1.42	1.435	1.67	1.66	1.67	0.29	0.35	0.32
2. Den.	566	1258	1258	429	419	1430	1425	1.117	1.05	1.084	1.45	1.42	1.435	1.67	1.66	1.67	0.29	0.35	0.32

3.2.2.3.2. İri agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi

3.2.1.3.2.1. Kullanılan aletler

- Terazî
- Kafes örgülü sepet : 4 mm açıklıklı elek telinden yapılmış bir sepet
- Sepeti terazî kafesine bağlama düzeni
- Kova : Tel sepeti içerisine alabilecek bir kova
- Kurutma bezleri : Havlu ve benzeri bez

3.2.1.3.2.2. Deney numunesi

Deneylerde kullanılan deney numunesi miktarı en büyük dane büyüklüğüne bağlı olarak max. dane çapı 20 mm. olan iri agrega (dane çapı 4 mm'den büyük olan agrega) için 2 kg'dır.

3.2.1.3.2.3. İşlem

2 kg deney numunesi su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra çıkarıldı, suyu süzöldü ve taneleri üzerinde gözle görölebilen su tabakası kalmayınca kadar kurutuldu. (Kurutma işlemi havlu veya bezle yapıldı) Kurutma biter bitmez numune hemen tartılarak doygün kuru yüzey ağırlığı bulundu (W_2). Doygün kuru yüzey halindeki numune tartıldıktan hemen sonra kafes örgülü tel sepete konarak su dolu kovanın içine su yüzeyinden en az 5 cm daha aşağıda kalacak şekilde tartıldı. Daha sonra sepetin kova kenarına dokunmamasına dikkat edilerek özel düzende, terazî kafesinin ortasına yerleştirildi ve doygün malzemenin sudaki ağırlığı bulundu (W_3). Numune sudan çıkarılarak havadaki durumuna getirildi. Oda sıcaklığına kadar soğutularak havadaki kuru ağırlığı kaydedildi (W_1).

3.2.1.3.2.3. Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi

İri agreganın kuru özgül ağırlığı, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı, görünen özgül ağırlığı ve su emme oranı aşağıdaki formüller ile yüzde bir hanesine yuvarlatılarak hesaplandı.

İri agreganın kuru özgül ağırlığı:

$$\gamma_k = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \quad (3.7)$$

- İri Agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı:

$$\gamma_d = \frac{W_2}{W_2 - W_3} \quad (3.8)$$

- İri agreganın görünen özgül ağırlığı:

$$\gamma_g = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \quad (3.9)$$

- Su emme oranı

$$m_e = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \cdot 100 \quad (3.10)$$

Burada;

γ_k : İri agreganın kuru özgül ağırlığı (g/dm³),

γ_d : İri agreganın doymun kuru yüzey ağırlığı (g/dm³),

γ_g : İri agreganın görünen özgül ağırlığı (g/dm³),

m_e : İri agreganın su emme oranı (%),

W_1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g),

W_2 : Numunenin doymun kuru yüzey durumundaki ağırlığı (g),

W_3 : Numunenin sudaki ağırlığı (g).

İri agreganın özgül ağırlıkları ve su emme oranı tayini deneyi iki deney numunesi üzerinde denendi. Deney sonuçları arasındaki fark 0.02 den küçük olduğundan sonuçların ortalaması alındı.

Su emme sonuçları arasındaki fark 0.02'den küçük olduğundan sonuçların ortalaması su emme oranı olarak kabul edildi. Sonuçlar Tablo 3. 4'de gösterilmiştir.

3.2.3.4. Agreganın granülometrisinin tayini

TS 130 'a göre agreganın granülometrisi hesaplanmıştır (9).

3.2.1.4.1. Kullanılan aletler

- Terazî
- Elekler : TS 1227'ye uygun, elek çapları 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16, 31.5 mm olan kare gözlü elekler,
- Etüv : 105 ± 5 °C a ayarlanabilen bir etüv.

3.2.1.4.2. Deney numunesinin hazırlanması

Maksimum tane çapı 20 mm olan tuvenan agreganın elek analizi yapılmıştır. Deney numunesi miktarı TS 130'dan faydalanılarak maksimum tane çapına göre tayin edilmiştir. Agreganın ocaktan çıkarılmış hali olan tuvenan malzemedен alınan deney numunesi ağırlığı 12 kg'dır.

3.2.1.4.3. İşlem

Deney numunesi 105 ± 5 °C ayarlanmış etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulup tartıldı (W_0)

Deney elekleri, göz açıklıklarına göre yukarıdan aşağıya doğru küçülecek şekilde alt alta yerleştirildi. Kurutulup tartılmış deney numunesi en üstteki eleğin içine kondu ve eleme işlemine başlandı. Bu şekilde, elekler, içindeki malzeme ile birlikte yaklaşık 5 dakika süre ile kuvvetlice karıştırılarak çalkalanır.

Yeterince sürdürülen eleme işlemi sonunda her elek üzerinde kalan malzeme hassas olarak tartıldı (W_n).

3.2.1.4.4. Hesaplama

Elek analizi deneyi sonunda her elek üstünde kalan malzeme oranı bütün deney numunesi ağırlığının yüzdesi olarak, aşağıdaki formül ile tam sayıya yuvarlatılarak hesaplandı.

$$S_n = \frac{W_n}{W_0} \cdot 100 \quad (3.11)$$

Burada;

S_n : Herhangi bir elekten geçen malzeme oranı (%),

W_n : Göz açıklığı (n) olan elekten geçen malzeme ağırlığı (g),

W_0 : Deney numunesinin ağırlığı (g).

Hesaplamalar sonucu çizilen granülometri eğrisi Şekil 3. 1'de gösterilmiştir.

Buna göre deney sonucu elekleri üzerinde kalan numune ağırlıkları ve yüzdesi:

Elek çapı (mm)

31.5	-
16	735 g.
8	2205 g.
4	3100 g.
2	2450 g.
1	2205 g.
0.5	900 g.
0.25	325 g.
Elekalı	80 g.

$$S_{31.5} = \frac{12000}{12000} \times 100 = 100$$

$$S_{16} = \frac{12000-735}{12000} \times 100 = 94$$

$$S_8 = \frac{11265-2205}{12000} \times 100 = 76$$

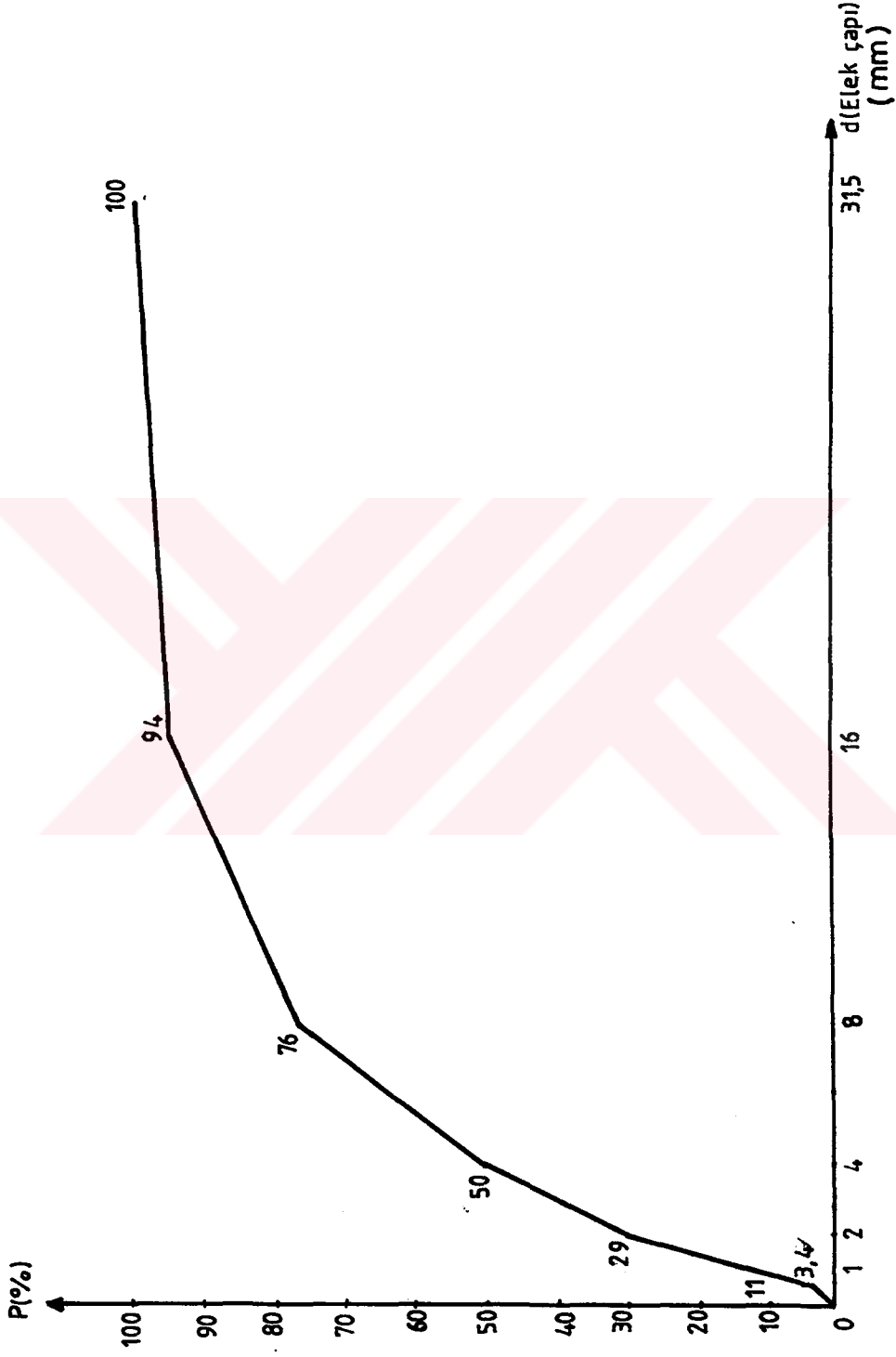
$$S_4 = \frac{9060-3100}{12000} \times 100 = 50$$

$$S_2 = \frac{5960-2450}{12000} \times 100 = 29$$

$$S_1 = \frac{3510-2205}{12000} \times 100 = 11$$

$$S_{0.5} = \frac{1305-900}{12000} \times 100 = 3.4$$

$$S_{0.25} = \frac{405-325}{12000} \times 100 = 0.7$$



Şekil 3.2 Madenşehir Pona taşının granülometri eğrisi

3.2.1.5. Özgül ağırlık faktörü deneyi

Ponza taşının özgül ağırlık faktörleri, piknometre metodu ile TS 2511'deki esaslara göre tayin edilmiş ve aşağıdaki formülle hesaplanmıştır

$$S_{gf} = \frac{B}{B + D - C} \quad (3.12)$$

Burada;

S_{gf} : Ponza taşının özgül ağırlık faktörü (g/dm^3)

B : Ponza taşının kullanıldığı nemlilikteki ağırlığı (g/dm^3)

C : Piknometre ve 1000 ml işaret yerine kadar su ile dolu ağırlık (g)

Ocaktan çıkarılan ponza taşı elenerek iki guba ayrılmıştır. İnce agregaya tane çapı 4 mm ve aşağısı, iri agregaya ise 4 mm nin üzerinde kalan kısımlardır. Karışımlarda kullanılmak amacı ile ince, iri ve tuvenan malzemelerinin ayrı ayrı özgül ağırlık faktörleri hesap edilmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Özgül Ağırlık Faktörleri

MALZEME	Agreganın Ağırlığı (B) (g)	Ölçü kabı + Agregaya + Su Ağırlığı (C) (g)	Ölçü kabı + Su ağırlığı (D) (g)	Özgül ağırlık faktörü (S_{gf}) (g/dm^3)
İnce agregaya 4 mm'den küçük	304	1367	1258	1.56
İri agregaya 4 mm'den büyük	300	1308	1258	1.20
Tuvenan	296	1355	1258	1.49

4. HAFİF BETON KARIŞIM HESAPLARI

4.1. Genel Kabüller

BS 14 betonu için karışım hesabı, TS 2511'deki ağırlık esasına göre yapılmıştır. Karışım hesabında çökme değeri 1 cm olarak alınmıştır.

İki türlü karışım yapılmıştır. Birinci karışımında özgül ağırlığı 3.1 g/dm^3 olan Konya Çimento Fabrikası'nın üretimi, PÇ325 kullanılmıştır. İkinci karışım olarak agrega miktarlarını değiştirmeden, sadece Adana Çimento Fabrikasının üretimi olan PÇ400 kullanılmıştır.

İri agreganın gevşek birim ağırlığı 647 kg/m^3 , inceninki ise 949 kg/m^3 tür. Ayrıca normal iri agreganın birim hacim ağırlığı 1590 kg/m^3 , inceninki ise 1680 kg/m^3 tür. Karıştırma sırasında agrega nemlilikleri, iri agregada % 5, ince agregada % 8 olarak alınmıştır.

TS 2511'e göre çimento dozu BS14 için $300 - 450 \text{ kg/m}^3$ arasında olmalıdır. Hesaplarda 350 kg/m^3 dozaj kullanılmıştır.

1 m^3 beton imali için yaklaşık 1.15 m^3 kuru gevşek agrega gerekeceğinden hesaplarda bu değer kullanılarak iri ve ince agrega % 50'şer olarak alınmıştır.

4.2. 350 Dozlu BS 14 Karışım Hesabı (PÇ 325 için)

4.2.1. 1 m^3 karışım için gerekli nemli agrega hesapları

İri agrega ağırlığı (% 5 nemli) $= 1.15 / 2 \times 647 \times 1.05 = 415 \text{ kg}$.

İnce agrega ağırlığı (% 8 nemli) $= 1.15 / 2 \times 949 \times 1.08 = 589 \text{ kg}$.

4.2.2. Nemli agregaların karışım içinde kapladığı hacim hesabı

Bu hesapta o andaki nemlilik durumuna ait özgül ağırlık faktörü kullanılmıştır. Özgül ağırlık faktörleri % 5 nemli iri agregada 1.20, % 8 nemli ince agregada 1.49 olarak deneyle tesbit edilmiştir.

$$\text{- İri agrega hacmi} = 415 / 1.20 = 346 \text{ dm}^3$$

$$\text{- İnce agrega hacmi} = 589 / 1.49 = 395 \text{ dm}^3$$

4.2.3. Çimentonun karışım içinde kapladığı hacmin hesabı

$$\text{Çimento hacmi} = 350 / 3.1 = 113 \text{ dm}^3$$

4.2.4. Gerekli suyun hesabı

Karışımı 1 m³'e tamamlamak için gerekli su miktarı, çimento ve agrega hacimlerinin toplamından geriye kalan hacimdir.

$$\text{Su hacmi} = 1000 - (113 + 395 + 346) = 146 \text{ dm}^3.$$

4.2.5. Bir m³ beton karışımındaki gerçek malzeme miktarlarının bulunması

TS 2511'in tavsiyesine göre karışımında % 3 oranında hava olduğu kabul edildi.

$$\text{Çimento} = 350 \text{ dm}^3$$

$$\text{Hava} = 30 \text{ dm}^3$$

$$\text{İri agrega} = 346 \text{ dm}^3$$

$$\text{İnce agrega} = 395 \text{ dm}^3$$

$$\text{Su} = 146 \text{ dm}^3$$

$$\text{Toplam hacim} = 1030 \text{ dm}^3$$

1 m³ için gerekli malzeme miktarları, 30 dm³ hava bulunduğu için bütün malzemenin ağırlıkları ve hacimlerinin 1000 / 1030 = 0,97 katsayısı ile çarpılarak bulundu.

Malzeme	Ağırlık, kg	Hacim, dm ³
Çimento	340	110
Hava	-	30
İri Agregata	403	335
İnce Agregata	571	383
Su	142	142

4.3. 350 Dozlu BS 14 Betonu Karışım Hesabı (PÇ 400 için)

Bu karışımında çimento, su, ince agregata ve iri agregata değerleri sabit tutulmuştur. Ancak karışımındaki PÇ325 yerine PÇ400 çimentosu kullanılmıştır.

4.4. 300 Dozlu % 20 Normal Agregata Hafif Beton Karışım Hesabı (PÇ325)

4.4.1. 1 m³ karışım için gerekli nemli agregata hesabı

$$H. iri a. \quad 1,15/2 \times 647 \times 1,05 \times 0,8 = 313 \text{ kg}$$

$$N. iri a. \quad 1,15/2 \times 1590 \times 1,05 \times 0,20 = 192 \text{ kg}$$

$$H. ince a. \quad 1,15 / 2 \times 949 \times 1,08 \times 0,80 = 472 \text{ kg}$$

$$N. ince a. \quad 1,15/2 \times 1680 \times 1,08 \times 0,20 = 209 \text{ kg}$$

4.4.2. Nemli agregatların karışım içindeki kapladığı hacim hesabı

Özgül ağırlık olarak % 5 nemli hafif iri agregata, 1.20, normal iri agregata 2.35, % 8 nemli hafif ince agregata 1.49, normal ince agregata 2.25 g/dm³ alınarak hesap yapılmıştır.

$$\text{H. iri a. } 313 / 1.20 = 261 \text{ dm}^3$$

$$\text{N. iri a. } 192 / 2.35 = 82 \text{ dm}^3$$

$$\text{H. ince a. } 472 / 1.49 = 317 \text{ dm}^3$$

$$\text{N. ince a. } 209 / 2.25 = 93 \text{ dm}^3$$

4.4.3. Çimentonun karışım içinde kapladığı hacmin hesabı

$$\text{Çimento hacmi} = 300 / 3,1 = 97 \text{ dm}^3$$

4.4.4. Gerekli suyun hesabı

$$\text{Su hacmi} = 1000 - (97 + 93 + 317 + 82 + 261) = 150 \text{ dm}^3$$

4.4.5. 1 m³ Beton karışımındaki gerçek malzeme miktarlarının bulunması

TS 2511'in tavsiyesine göre karışımında % 3 oranında hava olduğu kabul edildi.

Çimento	97 dm ³
Hava	30 dm ³
H. iri a.	261 dm ³
N. iri a.	82 dm ³
H. ince a.	317 dm ³
N. ince a.	93 dm ³
Su	150 dm ³
Toplam Hacim	1030 dm ³

1 m³ için gerekli malzeme miktarları, 30 dm³ hava olduğu için bütün malzemenin ağırlıkları ve hacimleri $1000/1030 = 0,97$ katsayısı ile çarpılarak bulundu.

Malzeme	Ağırlık, kg	Hacim, dm ³
Çimento	291	94
Hava	-	30
H. iri a.	304	253
N. iri a.	186	83
H. ince a.	458	307
N. ince a.	203	86
Su	146	146

4.5. 300 Dozlu % 30 Normal Agregalı Hafif Beton Karışım Hesabı (PÇ 325)

4.5.1. 1 m³ karışım için gerekli nemli Agregaya hesabı

$$\text{H. iri a. } 1.15/2 \times 647 \times 1.05 \times 0.7 = 273 \text{ kg}$$

$$\text{N. iri a. } 1/15 \times 1590 \times 1.05 \times 0.3 = 288 \text{ kg}$$

$$\text{H. ince a. } 1.15/2 \times 949 \times 1.08 \times 0.7 = 413 \text{ kg}$$

$$\text{N. ince a. } 1.15/2 \times 1680 \times 1.08 \times 0.3 = 313 \text{ kg}$$

4.5.2. Nemli Agreganın karışım içinde kapladığı hacmin hesabı

$$\text{H. iri a. } 273/1.20 = 228 \text{ dm}^3$$

$$\text{N. iri a. } 288/2.35 = 123 \text{ dm}^3$$

$$\text{H.ince a. } 413/1.49 = 277 \text{ dm}^3$$

$$\text{N. ince a. } 313/2.25 = 139 \text{ dm}^3$$

4.5.3. Çimentonun karışım içinde kapladığı hacmin hesabı

$$\text{Çimento hacmi} = 300/3,1 = 97 \text{ dm}^3$$

4.5.4. Gerekli suyun hesabı

$$\text{Su hacmi} = 1000 - (97+139+277+123+228)=136 \text{ dm}^3$$

4.5.5. 1 m³ Beton karışımındaki gerçek malzeme miktarlarının hesabı

Karışıma % 3 oranında hava olduğu kabul edildi.

Malzeme	Hacmi, dm ³
Çimento	97 dm ³
Hava	30 dm ³
H. iri a.	228 dm ³
N. iri a.	123 dm ³
H. ince a.	277 dm ³
N.ince a.	139 dm ³
Su	136 dm ³
Toplam Hacim	1030 dm ³

1 m³ için gerekli malzeme miktarları, 30 dm³ hava olduğu için- bütün malzemenin ağırlıkları ve hacimleri $1000/1030 = 0,97$ katsayısı ile çarpılarak bulundu.

Malzeme	Hacim, dm ³	Ağırlık, kg
Çimento	94	291
Hava	30	-
H. iri a.	221	265
N. iri a.	119	279
H. ince a.	269	401
N. ince a.	135	304
Su	132	132

4.6. 300 Dozlu % 40 Normal Agregalı Hafif Beton Karışım Hesabı (PÇ 325)

4.6.1. 1 m³ Karışım için gerekli nemli agrega hesabı

$$\text{H. iri a. } 1.15/2 \times 647 \times 1.05 \times 0.6 = 234 \text{ kg}$$

$$\text{N. iri a. } 1.15/2 \times 1590 \times 1.05 \times 0.4 = 384 \text{ kg}$$

$$\text{H. ince a. } 1.15/2 \times 949 \times 1.08 \times 0.6 = 354 \text{ kg}$$

$$\text{N. ince a. } 1.15/2 \times 168 \times 1.08 \times 0.4 = 417 \text{ kg}$$

4.6.2. Nemli agregaların karışım içinde kapladığı hacmin hesabı

$$\text{H. iri a. } 234/1.20 = 195 \text{ dm}^3$$

$$\text{N. iri a. } 384/2.35 = 163 \text{ dm}^3$$

$$\text{H. ince a. } 354/1.49 = 238 \text{ dm}^3$$

$$\text{N. ince a. } 417/2.25 = 185 \text{ dm}^3$$

4.6.3. Çimentonun beton içinde kapladığı hacmin hesabı

$$\text{Çimento hacmi} = 300/3,1 = 97 \text{ dm}^3$$

4.6.4. Gerekli suyun hesabı

$$\text{Su hacmi} = 1000 - (97 + 195 + 163 + 185) = 122 \text{ dm}^3$$

4.6.5. 1 m³ Beton karışımındaki gerçek malzeme miktarının hesabı

Karışımında % 3 oranında hava olduğu kabul edildi.

Malzeme	Hacim, dm ³
Çimento	97
Hava	30
H. iri a.	195
N. iri a.	163
H. ince a.	238
N. ince a.	185
Su	122
Toplam	1030 dm³

1 m³ için gerekli malzeme miktarları; 30 dm³ hava olduğu için bütün malzemenin ağırlıkları ve hacimleri $1000/1030 = 0,97$ katsayısı ile çarpılarak elde edildi.

Malzeme	Hacim, dm ³	Ağırlık kg
Çimento	94	291
Hava	30	-
H. iri a.	189	227
N. iri a.	158	373
H. ince a.	231	343
N. ince a.	180	405
Su	119	119

4.7. 300 Dozlu % 50 Normal Agregalı Hafif Beton Karışım Hesabı (PÇ 325)

4.7.1. 1 m³ karışım için gerekli nemli agrega hesabı

$$\text{H. iri a.} \quad 1.15/2 \times 647 \times 1.05 \times 0.50 = 195 \text{ kg}$$

$$\text{N. iri a.} \quad 1.15/2 \times 1590 \times 1.05 \times 0.50 = 480 \text{ kg}$$

$$\text{H. ince a.} \quad 1.15/2 \times 949 \times 1.08 \times 0.50 = 295 \text{ kg}$$

$$\text{N. ince a.} \quad 1.15/2 \times 1680 \times 1.08 \times 0.50 = 522 \text{ kg}$$

4.7.2. Nemli agreganın karışım içinde kapladığı hacmin hesabı

$$\text{H. iri a.} \quad 195/1.20 = 163 \text{ dm}^3$$

$$\text{N. iri a.} \quad 480/2.35 = 204 \text{ dm}^3$$

$$\text{H. ince a.} \quad 295/1.49 = 198 \text{ dm}^3$$

$$\text{N. ince a.} \quad 522/2.25 = 232 \text{ dm}^3$$

4.7.3. Çimentonun beton içinde kapladığı hacmin hesabı

$$\text{Çimento hacmi} = 300/3,1 = 97 \text{ dm}^3$$

4.7.4. Gerekli suyun hesabı

$$\text{Su hacmi} = 100 - (97 + 232 + 198 + 204 + 163) = 106 \text{ dm}^3$$

4.7.5. 1 m³ Beton karışımındaki gerçek malzeme miktarının hesabı

Karışımında % 3 oranında hava olduğu kabul edildi.

Malzeme	Hacim, dm ³
---------	------------------------

Çimento	97
---------	----

Hava	30
------	----

H. iri a.	163
-----------	-----

N. iri a.	204
-----------	-----

H. ince a.	198
------------	-----

N. ince a.	232
------------	-----

Su	106
----	-----

Toplam Hacim	1030 dm ³
--------------	----------------------

1 m³ Beton için gerekli malzeme miktarları; 30 dm³ hava olduğu için bütün malzemelerin ağırlıkları ve hacimleri $1000/1030 = 0,97$ katsayısı ile çarpılarak elde edildi.

Malzeme	Hacim, dm ³	Ağırlık, kg
Çimento	94	291
Hava	30	-
H. iri a.	158	189
N. iri a.	198	466
H. ince a.	192	286
N. ince a.	225	506
Su	103	103

4.8. 350 Dozlu Uçucu Kül Katkılı BS14 Karışım Hesapları

Uçucu kül, beton karışımlarına, karışım içinde bulunan çimentonun % 10, % 20, % 30, % 35 oranlarında karıştırılarak denenmiştir. Deney sonuçlarına göre % 35 oranında uçucu kül katılarak bulunan karışım kullanılabilir durumdadır (Tablo 5.1).

4.9. Deney Sonuçları

Agrega üzerinde yapılan birim ağırlık deneyleri; TS 1114 'de beton için kullanılan hafif agregalara ait verilen değerlerle ve Bims beton yapımında kullanılan Bims agregalarının TS 3234 'te verilen birim ağırlık sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Ponza Taşı Özelliklerinin Benzer Malzemeler İle Karşılaştırılması

Malzeme	Agrega Cinsi	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)
Hafif Beton Agregası (TS 1114)	İnce	1200
	İri	1000
	Tuvenan	1100
Madensehri Ponzataşı Agregası	İnce	949
	İri	647
	Tuvenan	825
Bims Agregası (TS 3234)	İnce	700
	İri	500
	Tuvenan	600

5. HAFİF BETON ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER

5.1. Taze Betonda Yapılan Deneyler

5.1.1. Taze beton birim hacim ağırlığı deneyi

Taze beton birim hacim ağırlığı tayini, her karışım için 3 numune üzerinde yapılmıştır. Beton doldurulmadan önce kalıpların ağırlığı hassas olarak tayin edildi (W_1). Beton doldurulduktan sonra tekrar tartıldı (W_2). Her numune için kalıbın ağırlığı çıkarılarak net beton ağırlığı bulunduğundan sonra, aşağıdaki formülle taze betonun birim ağırlığı en yakın 1 kg/m^3 değerine yuvarlatılarak ifade edildi (10).

$$B = \frac{W_n}{V_k} \quad (5.1.)$$

Burada;

B = Taze betonun birim hacim ağırlığı (kg/m^3)

W_3 = Kalıbın içine doldurulan taze betonun net ağırlığı (kg)

V_k = Kalıbın hacmi (m^3) = 0.004 m^3

Her bir karışım için taze beton birim hacim ağırlığı Tablo 5.1'de verilmiştir.

5.1.2. Çökme deneyi

TS 2871'e göre çökme hunisi metodu ile taze beton kıvam deneyi yapılmıştır.

5.1.2.1. Kullanılan aletler

- Çökme hunisi: Tabanı 203 mm, üst yüzü 102 mm çapında yüksekliği 305 mm, metalden yapılmış kesik huni.

- Şişleme çubuğu: 16 mm çapında 600 mm boyunda ucu yuvarlatılmış çelik çubuk.

- Mala.

Tablo 5.1 Taze Beton Birim Hacim Ağırlığı

Karışım No	Numune No	B kg/m ³	Ortalama (B) kg/m ³
1 (PÇ 325)	1	1112	1175
	2	1238	
2 (PÇ 400)	1	1300	1312
	2	1324	
3 (PÇ 325) % 20 N. A.	1	1452	1454
	2	1456	
4 (PÇ 325) % 30 N. A.	1	1535	1545
	2	1555	
5 (PÇ 325) % 40 N. A.	1	1640	1640
	2	1640	
6 (PÇ 325) % 50 N. A.	1	1815	1810
	2	1805	
7 (PÇ 400) % 10 U. K.	1	1170	1170
	2	1170	
8 (PÇ 400) % 20 U. K.	1	1170	1165
	2	1160	
9 (PÇ 400) % 30 U. K.	1	1145	1155
	2	1165	
10 (PÇ 400) % 35 U. K.	1	1135	1140
	2	1145	

5.1.2.2. Deneyin yapılışı

Çökme hunisi içi ıslak bezle silindi ve huni düz, nemli ve su emmez bir yüzey üzerine yerleştirildi.

Taze beton, huniye 3 tabaka halinde ve her tabaka huninin yaklaşık 1/3 'ünü dolduracak şekilde yerleştirildi. Yerleştirilen her tabaka 25 defa kenarlarından ortaya doğru dairesel olarak düşey bir tarzda şişlendi.

Şişleme bittikten sonra huninin üst mala veya şişleme çubuğu ile tesviye edildi ve huninin etrafına dökülen beton temizlendi.

Bu işlemden sonra huni saplarından tutularak yavaşça yukarıya doğru çekildi. Taze beton yığınının yanına konan huni üzerine yatay olarak yerleştirilen şişleme çubuğunun alt seviyesi ile çöken taze betonun üst yüzünün ortalama yüksekliği arasındaki mesafe bir cetvelle ölçüldü.

5.1.2.3. Sonuç

Yapılan karışımlarda çökme deneyi sonucunda çökme miktarı 0-10 mm arasında bulunmuştur.

5.2. Basınç Mukavemeti Tayini

5.2.1. Numune sayısı

Basınç mukavemeti deneyi TS 500'e göre 7 günlük ve 28 günlük numunelerden her karışımdan 2'şer tanesine yapılmıştır.

5.2.2. Başlık yapılması

Deneyde kullanılacak silindir numunelerin yükün tesir doğrultusundaki üst yüzüne, çimento-alçı karışımı ile başlık yapıldı. Bir

hacim çimento ile bir hacim alçı yoğrulabilecek kıvama gelinceye kadar su ilave edilerek 5 mm kalınlığında olmak üzere silindir numunenin üst yüzüne sürüldü. Bu şekilde başlık yapılan numune en az 24 saat bekletildikten sonra deneye tabii tutuldu.

5.2.3. Kullanılan aletler

Beton numuneleri kırmak için Üniversal pres kullanıldı.

5.2.4. Hesaplama sonuçlarının gösterilmesi

Betonun basınç mukavemeti aşağıdaki formülle bulundu.

$$P = P_m \cdot \frac{A_p}{A_s} \quad (5.2)$$

Burada;

P = Beton numunesi basınç mukavemeti (kg/cm^2)

P_m = Üniversal prestren okunan basınç değeri (kg/cm^2)

A_p = Pres pistonunun kesit alanı (cm^2)

A_s = Silindir numunesinin kesit alanı (cm^2)

Her silindirin mukavemeti ve her karışımın 7 ve 28 günlük basınç mukavemeti değerleri Tablo 5.2 ve 5.3 'de verilmiştir.

5.2.5. Hafif betonun Elastisite modülünün tayini

Üretilen betonun, Elastisite modülü;

$$E = 4000 \cdot \sqrt{\Delta^3 \cdot f_{ck}}$$

formülünden hesaplandı (3).

Δ : Betonun birim hacim ağırlığı, kg/cm^3

f_{ck} : Betonun karakteristik basınç dayanımı, kg/cm^2

E : Elastisite modülü, kg/cm^2

Tablo 5.2 7 Günlük Basınç Mukavemeti Değerleri

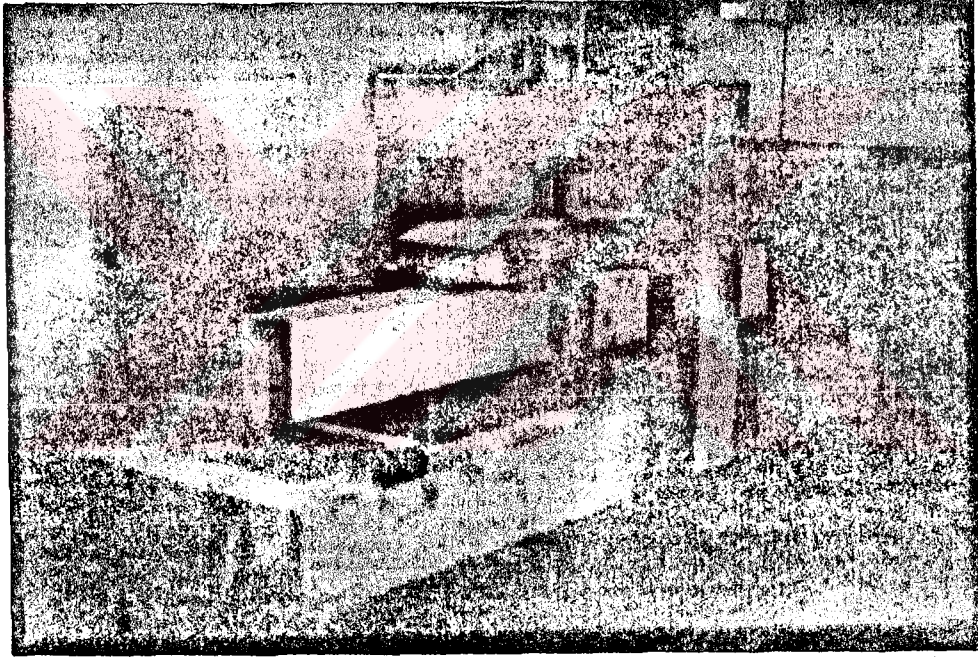
Karışım No	Numune No	Basınç Muk. (P) kg/cm ²	Ort. P. kg/cm ²
1 (PÇ 325)	1	76,96	79,72
	2	82,88	
2 (PÇ 400)	1	115,44	113,96
	2	112,48	
3 (PÇ 325) % 20 N.A.	1	112,50	113,97
	2	115,44	
4 (PÇ 325) % 30 N.A.	1	94,74	97,7
	2	100,66	
5 (PÇ 325) % 40 N.A.	1	106,59	106,58
	2	106,58	
6 (PÇ 325) % 50 N.A.	1	118,42	124,34
	2	130,26	
7 (PÇ 400) % 10 U.K.	1	88,81	88,81
	2	88,81	
8 (PÇ 400) % 20 U.K.	1	88,81	91,78
	2	94,74	
9 (PÇ 400) % 30 U.K.	1	97,70	99,18
	2	100,66	
10 (PÇ 400) % 35 U.K.	1	106,58	103,62
	2	100,66	

Tablo 5.3 28 Günlük Basınç Mukavemeti Değerleri

Karışım No	Numune No	Basınç Muk. (P) kg/cm ²	Ort. P. kg/cm ²
1 (PÇ 325)	1	112,50	115,46
	2	118,42	
2 (PÇ 400)	1	167,77	169,74
	2	171,71	
3 (PÇ 325) % 20 N.A.	1	165,79	167,27
	2	168,74	
4 (PÇ 325) % 30 N.A.	1	142,10	145,06
	2	148,02	
5 (PÇ 325) % 40 N.A.	1	159,87	162,83
	2	165,79	
6 (PÇ 325) % 50 N.A.	1	177,63	183,55
	2	189,47	
7 (PÇ 400) % 10 U.K.	1	153,94	150,46
	2	150,98	
8 (PÇ 400) % 20 U.K.	1	156,91	157,65
	2	158,39	
9 (PÇ 400) % 30 U.K.	1	159,87	159,87
	2	159,87	
10 (PÇ 400) % 35 U.K.	1	162,83	164,31
	2	165,79	

6. KIRIŞ DENEY PRESİ

"Hafif betondan imal edilen kirişlerin dayanım ve davranışı" konulu tez çalışmasını deneysel olarak yapmak için S.Ü.Müh-Mim. Fakültesi yapı laboratuvarında kullanabilecek bir presi bulunmamaktaydı. Bunun üzerine 25 ton kapasiteli bir kiriş kırma presi yaptırılmasına karar verildi. Bu presin tüm proje, detay ve resimleri tarafımızca hazırlanarak presin imalatı Konya Anadolu Sanayi'inde yaptırıldı.



Resim 6.1 Kiriş deney presi

6.1. 250 kN Kiriş Eğilme Çerçevesi

Bu yük kaynakla birleştirilmiş çelik kutu elemanların konstrüksiyonundan yapılmış olup betonarme ve diğer malzemelerden yapılmış kirişlerin deneyinde kullanılacaktır. Kuvvet karşılıklı dengelenmiş şahmerdan aracılığı ile kirişe tatbik edilmektedir. Yük tatbiki tekil ve iki noktadan yükleme şeklinde olmaktadır.

6.2. Kiriş Uygulanan Yükün Bulunması

Test cihazının hidrolik donanımına konan bir manometreden kirişin yükleme başlangıcından kırılıncaya kadar uygulanan hidrolik basınç okunabilir. Kiriş kırıldığı anda manometrenin ibresi en son gösterdiği max. basınç değeri üzerinde kalır. Bu değer okunarak cihaz üzerinde bulunan basınç - yük grafiğinin apsisine taşınır. Buradan yukarı çıkılarak eğri kestirilir. Kesim yerinden sola doğru yatay bir çizgi çizilirse ordinattan kirişin kırıldığı andaki yük tesbit edilir. Manometreden ± 1 bar duyarlılığında okuma yapılabilir. Bu değer kırılma yükü için ± 40 kg toleransa karşı gelmektedir.

6.3. Kiriş Deney Presi Çerçevesinin Özellikleri

Deney presinin,

Ortamala boyutlar: 1.3, 1.3, 3.6 m. (yükseklik, genişlik, derinlik)

Yatay taşıyıcılar arasındaki max. mesafe: 3.5 m.

Düşey taşıyıcılar arasındaki max. mesafe: 0.80 m.

max. numune genişliği: 0.80 m.

max. numune yüksekliği: 0.50 m.'dir.

6.4. Kumanda ve Elektrik Motor Donanımı

Elektrik motorunun,

Tam yükte akım kullanımı: 380 V, 3.8 A.

ve

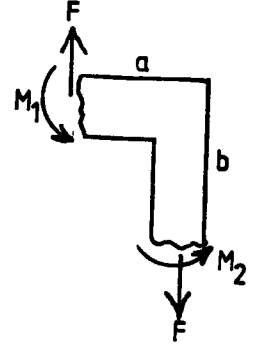
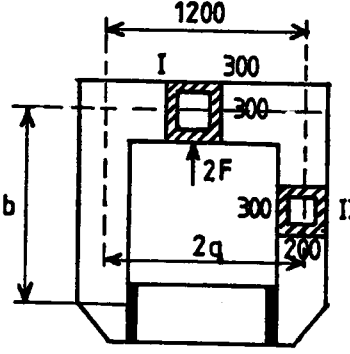
Hidrolik kısmın yağ hazne kapasitesi 16 litre'dir.

ÇERÇEVENİN MUKAVEMETİ

$$2F = 300 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Üst Kirişte Eğilme: $2b$

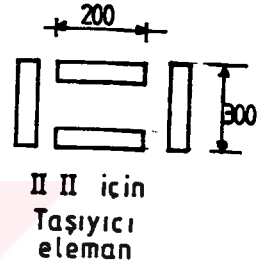
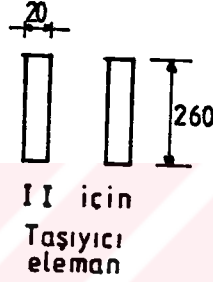
$$M_1 = F \cdot a \cdot \frac{\frac{a}{2} + b}{a + b}$$



$$M_1 = 150000 \cdot 600 \cdot \frac{\frac{600}{2} + 550}{600 + 550}$$

$$M_1 = 66.52 \cdot 10^6 \text{ Nmm.}$$

$$\sigma_{e1} = \frac{M_1}{W_x} = \frac{66.52 \cdot 10^6}{\frac{2 \cdot 20 \cdot 300^2}{6}}$$



Kullanılan malzeme St 37 olduğundan $\sigma_k = 370 \text{ N/mm}^2$

$$S = \frac{\sigma_k}{\sigma_{e1}} = \frac{370}{110 \cdot 86} = 3.33 \text{ Kat emniyetlidir.}$$

Üst kiriş sehimi:

$$y = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_x} = \frac{300 \cdot 10^3 \cdot 1200^3}{48 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot \frac{20 \cdot 260^3}{12}} = 0.877 \text{ mm.}$$

$y_{\max} = 1 \text{ mm}$ alınabilir, sonuç uygundur.

Yan kollarda çekme + eğilme

$$\Sigma M = 0 \text{ dan, } M_1 + M_2 - F \cdot a = 0$$

$$M_2 = F \cdot a - M_1 = 150 \cdot 10^3 \cdot 600 - 66.52 \cdot 10^6 = 23.48 \cdot 10^6 \text{ Nmm.}$$

$$\sigma_{eII} = \frac{23 \cdot 48 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{20 \cdot 200^2}{6}} = 88 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varphi} = \frac{F}{A} = \frac{150 \cdot 10^3}{2 \cdot 200 \cdot 20 + 2 \cdot 260 \cdot 20} = 8.152 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{eII} + \sigma_{\varphi} = 88 + 8.152 = 96.152 \text{ N/mm}^2$$

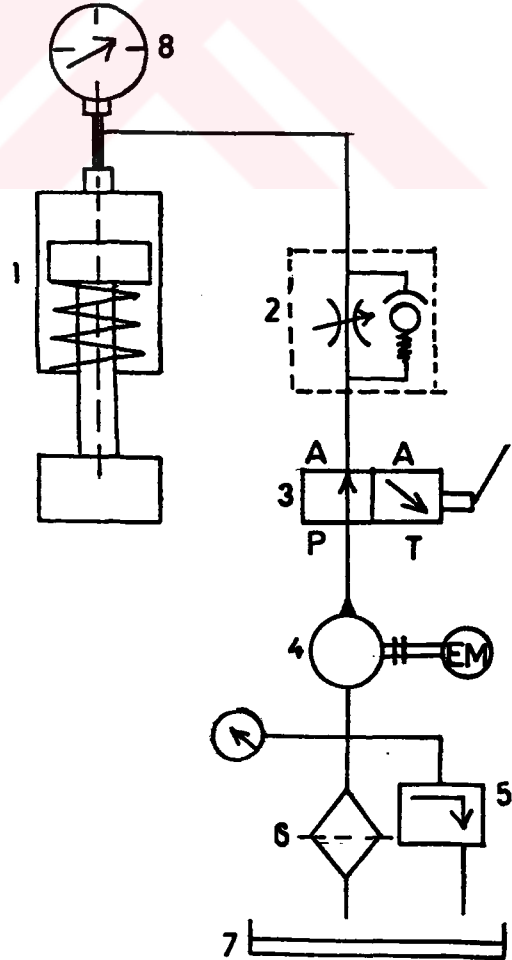
$$S = \frac{370}{96.152} = 3.84 \text{ Katemniyetli}$$

HİDROLİK SİSTEM ŞEMASI

- 1 Ana silindir
- 2 Hız ayar valfi
- 3 Yön kontrol valfi
- 4 Pompa
- 5 Basınç ayar valfi
- 6 Filtre
- 7 Yağ tankı
- 8 Yük göstergesi

Pompa kapasitesi = 8 lt/d

Motor gücü = 2 Kw



7. HAFİF BETONDAN İMAL EDİLMİŞ BETONARME

KİRİŞLERİN DAYANIM ve DAVRANIŞI

7.1. Basit Eğilme Etkisindeki Kirişlerin Davranışı

Eğilmeye maruz betonarme bir kirişin analizini yapmadan önce böyle bir kirişin yük altındaki davranışının bilinmesinde büyük yarar vardır (15).

Betonarme kirişlere yerleştirilen çekme donatısı kirişin çatlamasına engel olamaz. Kirişin çekme bölgesindeki ilk çatlaklar, en dış çekme lifindeki birim uzamanın, betonun çekmedeki birim deformasyon sınırına ulaşması ile oluşur. Deformasyonla hesap pratik olmayacağından, çatlak oluşması, en dış lifteki betonun eğilme-çekme dayanımına erişmesi olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, çatlama momenti donatısız bir kirişin kırılma momentine eşittir (14).

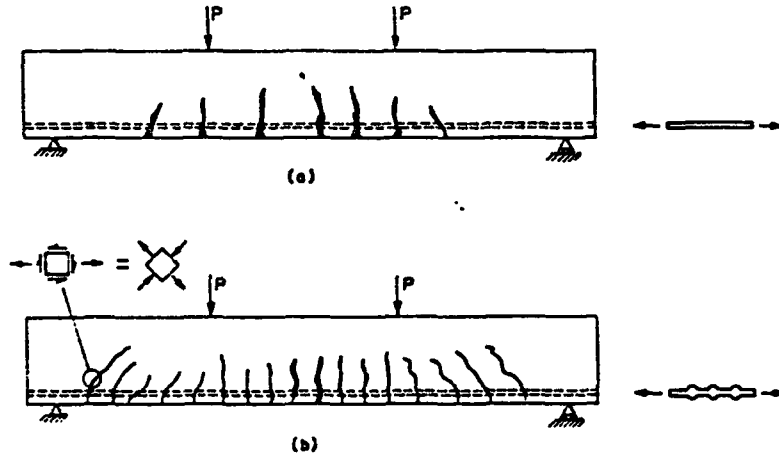
$$M_{cr} = f_{ctf} \cdot \frac{I}{y} \quad (7.1)$$

Kesitdik dörtgense çatlama momenti aşağıdaki gibi yazılabilir. f_{ctf} betonun eğilmedeki çekme dayanımıdır ve eksenel çekme dayanımının iki katı olarak alınabilir.

$$M_{cr} = f_{ctf} \cdot \frac{b_w \cdot h^2}{6} = 2 \cdot f_{ct} \cdot \frac{b_w \cdot h^2}{6} \quad (7.2)$$

İlk çatlaklar momentin en yüksek olduğu yörede oluşur. Bu çatlaklar kılcal olduğundan görülmeleri son derece zordur. Yük artırıldıkça bu çatlakların boyu ve genişliği artmaya başlar. Betonda çatlama asal çekme gerilmesine dik yönde oluşur.

Yük arttıkça yük ve mesnet arasındaki kesitlerde de çatlama momentine erişileceğinden, bu bölgede de çatlamlar görülür. Ancak söz konusu bölgede kayma gerilmeleri de bulunduğu için, asal çekme gerilmeleri şekil 7.1 (b) de görüldüğü gibi kiriş eksenine paralel değildir. Bu nedenle, yük ve mesnet arasında oluşan çatlaklar kiriş eksenine belirli bir açıda, eğik olarak oluşurlar.

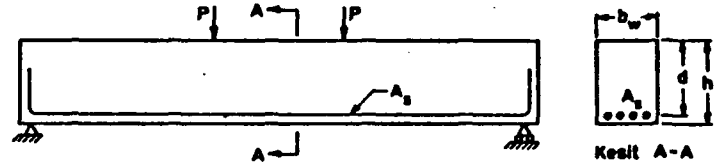


Şekil 7.1

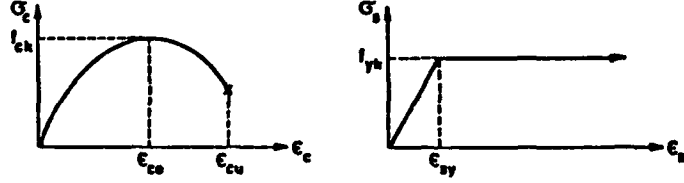
Şekil 7.1 de gösterilen iki kiriş arasındaki tek fark, (a)'da düz yüzeyli, (b)'de ise nervürlü donatı kullanılmasıdır. Görüldüğü gibi, düz yüzeyli donatı kullanıldığında az sayıda çatlak oluşmakta, ancak çatlak genişliği büyük olmaktadır. Nervürlü donatı kullanıldığında ise düz yüzeyliye göre çatlak sayısı artmakta, ancak çatlak genişliği azalmaktadır. Bu fark nervürlü donatı ile sağlanan daha iyi kenetlenmeden kaynaklanmaktadır.

Bir kirişin, çatlak oluşmasından sonra taşıma gücüne nasıl eriştiğini adım adım izlemek, davranışın anlaşılması açısından son derece yararlıdır. Bu amaçla Şekil 7.2 (a)'da gösterilen kirişin yük altındaki davranışı izlenecektir.

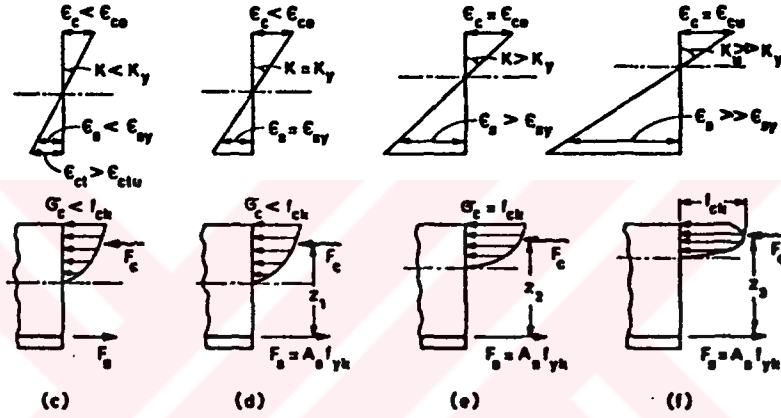
Kirişte, çatlama sonrası oluşacak birim defarmonyon dağılımı ve iç kuvvetler, Şekil 7.2 (c)'de gösterilmiştir. Birim defarmonyon değerlerinin ve basınç bölgesindeki gerilme dağılımının bir anlam ifade edebilmesi için, Şekil 7.2 (b)'de verilen malzeme σ - ϵ eğrilerinin de birlikte ele alınması gerekir.



(a)



(b) Malzemeler



Şekil 7.2

Görüldüğü gibi, en alt çekme lifindeki beton birim deformasyonu betonun çekme sınır birim deformasyonunu aştığından, $\epsilon_{ct} > \epsilon_{ctu}$, kiriş çatlamaştır. Çekme donatısındaki birim deformasyon ise, henüz akma sınırına ulaşmamıştır, $\epsilon_s < \epsilon_{sy}$, basınç bölgesindeki gerilme dağılımının aksel basınç altında elde edilen σ - ϵ eğrisine benzetilebilir. Şekil 7.2 (c)'den görüldüğü gibi, en dış lifteki beton birim kısalması henüz max. gerilmeye karşılık olan ϵ_{c0} değerine ulaşmamıştır.

Kirişe uygulanan yük arttıkça, eğilme momenti büyüyecek ve belirli bir yük düzeyinde çekme donatısı akma birim uzamasına ulaşacaktır. Bu durum şekil 7.2 (d)'de gösterilmiştir. Lifteki beton birim kısalması ϵ_{c0} dan küçüktür. Şekil 7.2 (d)'de gösterilen iç kuvvetler, donatı akma birim uzamasına ulaştığı andaki iç kuvvetlerdir. Donatısı akma gerilmesine ulaştığında $F'_s = A_s \cdot f_{yk}$ olarak yazılabilir.

Bu aşamadan sonra yük artmaya devam ederse, doğal olarak beton ve donatıdaki birim deformasyon da artacaktır. Ancak, donatı akma sınırına ulaşmış olduğundan, şekil 7.2 (b)'de gösterilen σ - ϵ eğrisinin özelliği nedeni ile birim deformasyonu aynı gerilme altında çok hızlı bir artış gösterecektir. Birim deformasyon dağılımı doğrusal kalmak zorunda olduğundan, beton ve donatıdaki farklı artış, ancak tarafsız eksenin yukarı doğru kayması ile mümkündür. Bu aşamadaki birim deformasyon dağılımı şekil 7.2 (e)'de gösterilmiştir. Bu aşamadaki dağılım bir önceki ile kıyaslandığında, tarafsız eksenin yükselmesi açıkça görülür. Şekil 7.2 (d)'de gösterilen aşamadan, (e)'de gösterilene geçirilirken, donatıdaki gerilme sabit kaldığından ($\sigma_s = f_{yk}$), toplam çekme kuvveti de değişmeyecektir, $F_s = A_s \cdot f_{yk}$. Bu, denge şartı sebebiyle beton basınç bileşkesinin de sabit kalması demektir.

$$F_s = A_s \cdot f_{yk} = F_c$$

Şekil 7.2 (e)'den görüleceği gibi, artık en dış lifte ϵ_{c0} ve f_{ck} değerlerine ulaşılmıştır. Bunun anlamı, betonda ezilmeler başladığından, deformasyon artımının ancak gerilme azalması ile mümkün olacaktır. Tarafsız eksen yükselmiş olduğundan, moment kolunun bir miktar artması doğaldır, $z_2 > z_1$, ancak bu artış oldukça küçüktür.

Bu aşamadan sonra kirişe uygulanan yük arttığı takdirde, şekil 7.2. (b)'deki σ - ϵ eğrilerinden görüldüğü gibi beton dış lifindeki ϵ_{c0} ötesinde bir artış ancak gerilme azalması ile mümkün olurken, donatı çeliğinde sabit gerilme altında birim deformasyon hızla artmaktadır. Donatı çeliğindeki birim deformasyon artış hızının betona oranla daha hızlı olması, tarafsız eksenin daha yukarı kaymasını gerektirir. Tarafsız eksen yukarı kaydıkça, betonun basınç alanı azalmaktadır. Denge şartı sebebi ile beton basınç kuvvetinin sabit kalması gerektiğinden ($F_c = F_s - A_s \cdot f_{yk}$), tarafsız eksenin yükselmesi, en dış lifteki beton birim kısalmanın sınır kısalma değerine ulaşmasına kadar

devam edecektir. Bu sınır değere ulaştığında ($\epsilon_c = \epsilon_{cu}$), basınç bölgesindeki betonun ezilmesi görülür. Donatıda akmış olduğundan kiriş çökerek kırılacaktır (Şekil 7.2 (f)).

Tarafsız eksenin yukarı kayması sebebiyle moment kolundaki artış, iç kuvvetlerin sabit kalmasına rağmen moment kapasitesini bir miktar artırmaktadır.

$$\text{Akma anındaki moment kapasitesi } M_y = A_s \cdot f_{yk} \cdot (Z_1)$$

$$\text{Kırılma anındaki (taşıma gücü) moment kap. } M_r = A_s \cdot f_{yk} \cdot (Z_3)$$

Moment kolları farklı olduğundan ($Z_3 > Z_1$), taşıma gücü momentinin akma anındaki momentten büyük olacağı açıktır. Moment kolundaki artış çok küçük olduğundan, bu iki moment arasındaki fark oldukça azdır ($\Delta M = \% 5$). Bu nedenle momentin akmadan sonra sabit kaldığı varsayımının getireceği hata oranı oldukça küçüktür.

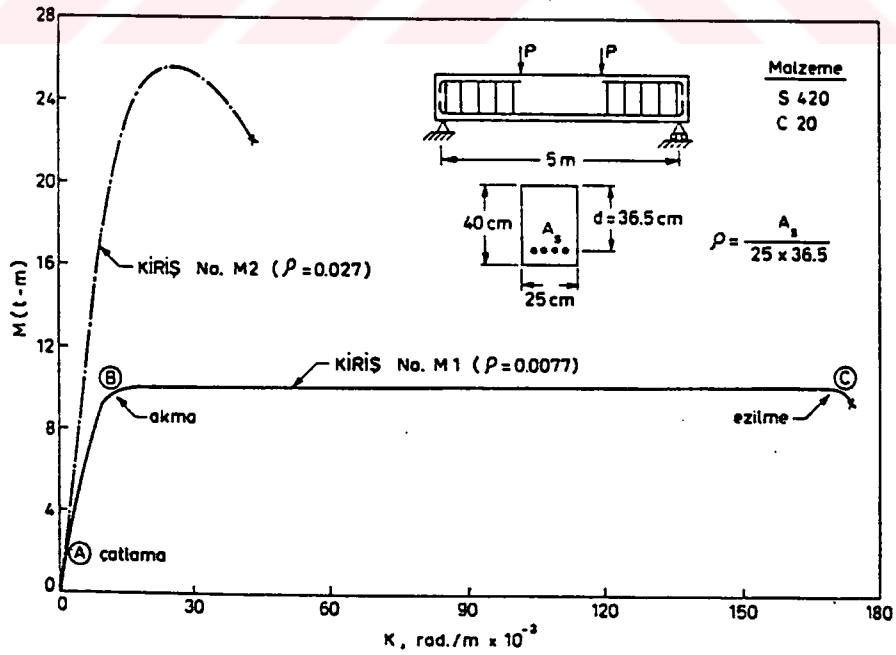
Görüldüğü gibi, kiriş davranışındaki en önemli değişiklik, çekme donatısının akması ile meydana gelir, şekil 7.2 (d). Bu noktadan sonra eğriliğin (K) hızla artmasına karşın, moment sabit kalır. Çok az artan moment altında eğriliğin hızla artması, en dış lifdeki betonun sınır birim deformasyona erişmesine kadar devam eder. Sabit moment altında deformasyonda büyük artışlar olması ve kırılma konumuna ulaşıldığındaki eğriliğin, akmaya karşı olan eğrilikten çok büyük olması ($K_u > K_y$) davranışın sünekliğini gösterir.

Kirişe aşırı çekme donatısı yerleştirildiğinde, davranışta büyük bir değişme gözlenecektir. Fazla donatı, şekil 7.2 (c) ve (d) de gösterilen tarafsız eksenin konumunu değiştirecektir. Tarafsız eksenin çekme donatısına doğru kayması sonucu ϵ_s/ϵ_s oranı artacak, böylece $\epsilon = \epsilon_{cu}$ ol-

duğunda donatı henüz akma sınırına ulaşmayacaktır, $\epsilon_s < \epsilon_{sy}$. Bunun doğal bir sonucu olarak kırılma son derece gevrek ve ani olacaktır.

7.2. Betonarme Kiriş Davranışı ile ilgili ODTÜ Deneyleri

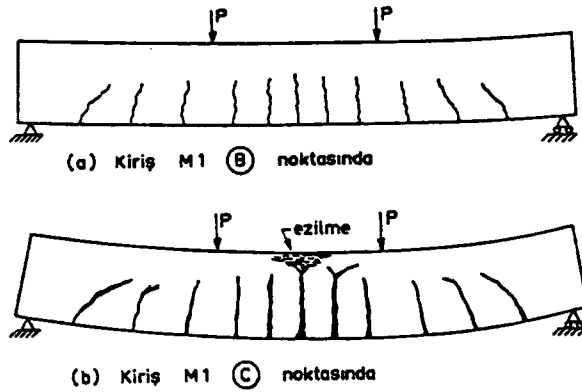
Çekme ve basınç kırılması veya sünek ve gevrek davranışı biraz daha irdelemekte yarar vardır. Şekil 7.3 te ODTÜ Yapı Mekanik Laboratuvarında denenen iki kirişten elde edilen moment - eğrilik, ilişkileri gösterilmiştir. İki kiriş çekme donatısı oranları dışında özdeştir. Şekil 7.3. teki M-K eğrilerinden, çekme donatısı oranının kiriş davranışı üzerindeki etkisi kolayca izlenebilir. Yönetmeliklerde donatı sınırlaması yapılarak M2 olarak gösterilen kirişin davranışına benzer bir gevrek davranış kesinlikle önlenmiştir. Donatı oranı düşük olan M1 kirişinin ne denli sünek davrandığı, şekildeki M-K eğrisinden açıkça görülmektedir.



Şekil 7.3

Şekil 7.3 teki M1 kirişi sünek bir davranış göstermekte ve akmadaki eğriliğin yaklaşık 20 katına ulaştıktan sonra, basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile kırılmaktadır. Eğrilikteki bu büyük artışa karşın, moment kapasitesindeki artış oldukça az olmaktadır. Şekildeki eğriden, kırılma anındaki momentin (taşıma gücü), akma anındaki momente oranının yaklaşık 1.07 olduğu görülür, $M_u/M_y = 1.07$.

Şekil 7.3 teki M-K eğrisi üzerinde B noktası olarak gösterilen akma konumu ile C olarak gösterilen taşıma gücü konumu arasında, deformasyon ve çatlama açısından çok büyük farklar vardır. Bu iki konuma erişildiğinde kirişin deformasyon ve çatlama durumu Şekil 7.4 de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, B noktasına erişildiğinde, çatlak genişliği, uzunluğu ve kiriş deformasyonu (sehim) olara kabul edilir büyüklüktedir. Buna karşın, şekil 7.4 (b) de gösterildiği gibi, kiriş taşıma gücüne erişirken gözlenen deformasyon kabul edilemeyecek büyüklüklere ulaştığı gibi, çatlak genişlikleri de gözleneceği gibi, tarafsız eksenin yukarı kayması nedeniyle çatlaklar hemen basınç yüzüne kadar ulaşmıştır.



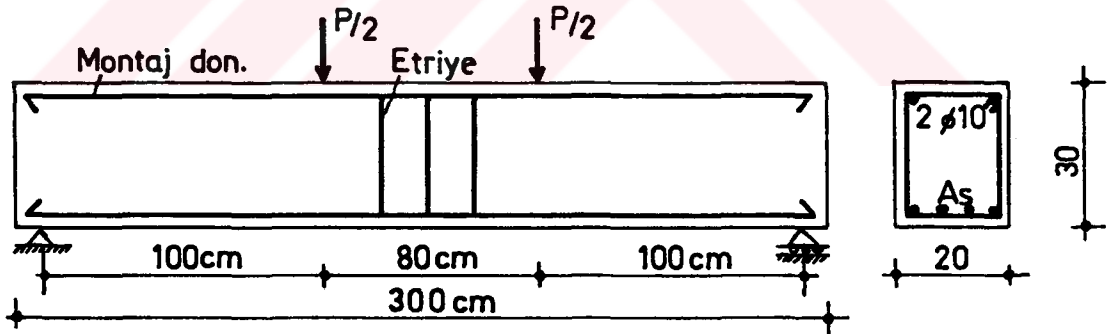
Şekil 7.4

8. HAFİF BETONDAN İMAL EDİLMİŞ BETONARME KİRİŞLER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER

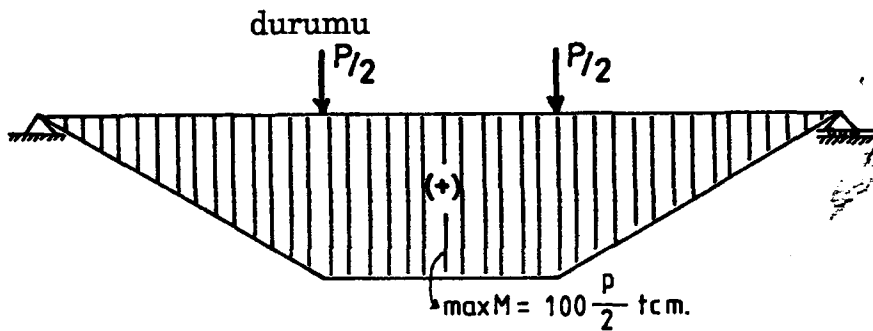
8.1. Deney Kirişleri

Deneylerde kullanılmak üzere imal edilen 4 adet kirişte; % 20 normal agrega katılarak elde edilen hafif beton, donatı olarak ise BÇI ve BÇIII kullanılmıştır. Kiriş ölçüleri 20 . 30. 300 cm'dir. Birinci tip kirişte çekme donatısı olarak (BÇI) 4 Ø 14, ikinci tip kirişte ise (BÇIII) 3Ø 12 kullanıldı. Her iki tip kirişte etriyeler Ø 8 / 15, montaj donatısı olarakta 2 Ø 10 kullanılmıştır.

Kirişler üzerinde simetrik yük uygulanarak deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.1). Her iki tip kiriş denge altı donatı oranına göre donatılmıştır (14). BÇIII tor çeliktir. BÇIII metaş çeliği, fabrika üretim yapmadığından bulunamamıştır.



Şekil 8.1 Deneylerde kullanılan kirişlerin boyutları ve yükleme



Şekil 8.2 Kirişlerin yükleme durumuna göre Moment diyagramı

Şekil 7.4 (b) de gösterilen deformasyon ve çatlama, taşıma gücünün betondaki ezilme yerine ($\epsilon_c = \epsilon_{cu}$), donatıdaki akma ile tanımlanmasının belki de daha doğru olacağı izlenimini uyandırabilir. Ancak, taşıma gücünün, Şekil 7.3 te gösterilen C noktasına göre hesaplanması ne kadar kolaysa, donatının akma anını belirleyen B noktasına göre hesaplanması o kadar zor ve belirsizdir. Bu, ve B ve C noktalarındaki moment kapasitesi farkının az olması nedeni ile, taşıma gücü, betonun ezilmesini simgeleyen C noktası temel alınarak tamamlanır ve bu noktaya göre hesaplanır.



Tablo 8.1 Deney Kirişlerinin Doneleri

Kiriş	Malzeme	Donatı	$\rho_1 = 0.235 \cdot f_{cd}/f_{yd}$
K1 (2 adet)	BÇI, BS 14	4 Ø 14 (6.16 cm ²)	0.0117
K2 (2 adet)	BÇIII, BS 14	3 Ø 12 (3.39 cm ²)	0.0061

Tablo 8.2 K1 Kirişlerinin Yükleme Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Uygulanan Yük P (ton)	Kiriş ortasında ölçülen Sehim y (mm)
2.5	1
4.5 Çatlaklar	2
6	3
6.5	4
8	5
9	6
10	7
11	8
13 akma	9
13 ezilme	60

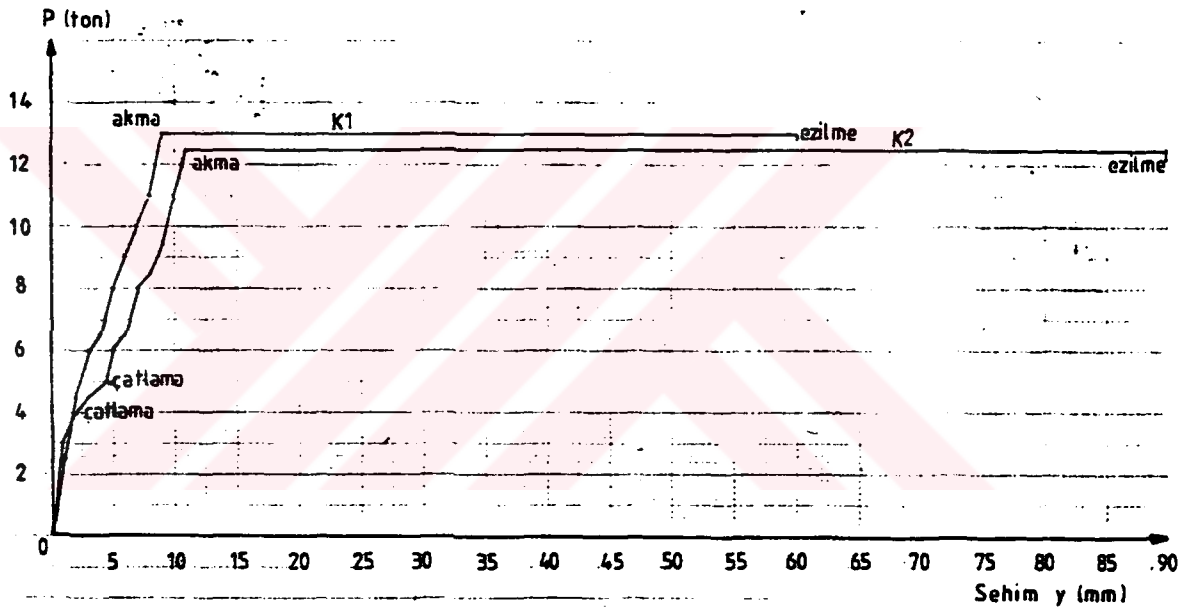
Tablo 8.3 K2 Kirişlerinin Yükleme Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Uygulanan Yük P (ton)	Kiriş ortasında ölçülen Sehim y (mm)
3	1
4	2
4.5	3
5 Çatlama	4
6	5
6.5	6
8	7
8.5	8
9.5	9
11	10
12.5 Akma	11
12.5 Ezilme	90

8.2. Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

K1 kirişleri ortalama 4.5 ton yük altında çatlamaya başlamış olup bu durumda sehim 2 mm olarak okundu. Aynı kirişte donatıdaki akma 13 ton yük altında gerçekleşti. Yükte bir artış olmadan kirişteki sehim artışı devam etti ve 60 mm sehimde kiriş ezildi (Resim 8.1, 8.2).

K2 kirişleri ortalama 5 ton yük altında çatlamaya başlamış olup bu durumda sehim 4 mm olarak okundu. Donatıdaki akma ise 12.5 ton yük altında gerçekleşti (Şekil 8.3). Yük aynı değerde dururken sehim artışı devam etti ve 90 mm'de kiriş ezildi (Resim 8.3, 8.4, 8.5).



Şekil 8.3 Yük - Sehım Diyagramları

8.3. Deney Sonuçlarına Göre Hesaplanan Kırılma Momentleri

K1 kirişleri için,

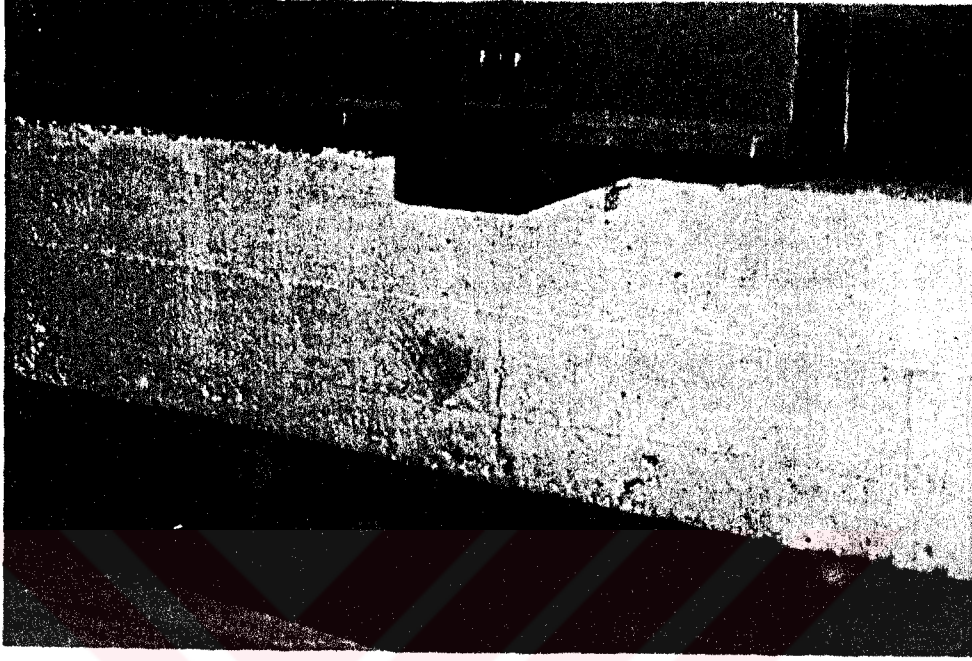
Akma Yüğü $P = 13$ ton

$$M = 100 \cdot \frac{P}{2} = 100 \cdot \frac{13}{2} = 650 \text{ tcm}$$

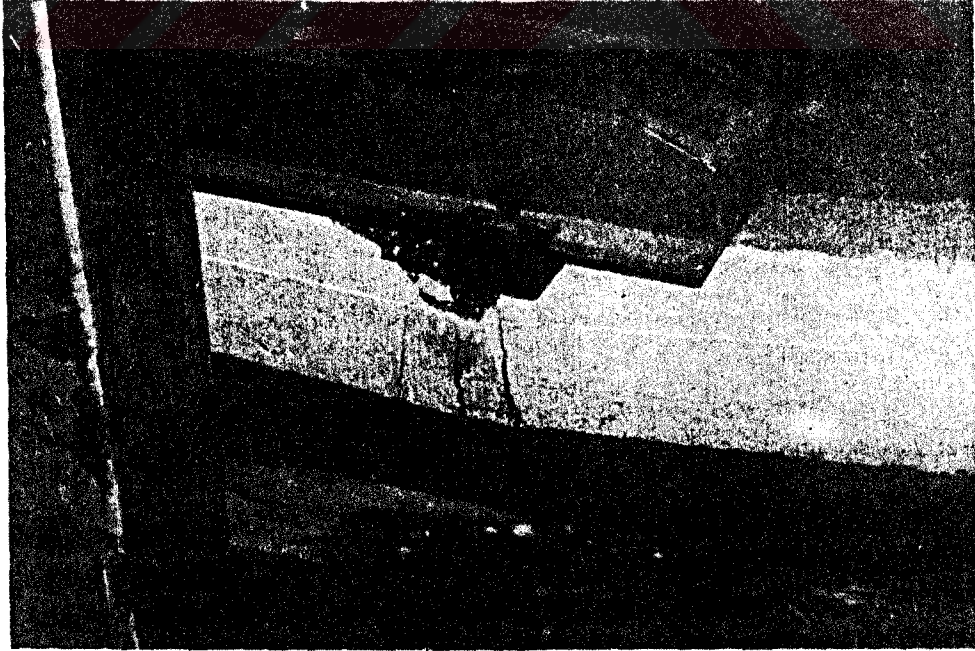
K2 kirişleri için,

Akma Yüğü $P = 12.5$ ton

$$M = 100 \cdot \frac{P}{2} = 100 \cdot \frac{12.5}{2} = 625 \text{ tcm}$$



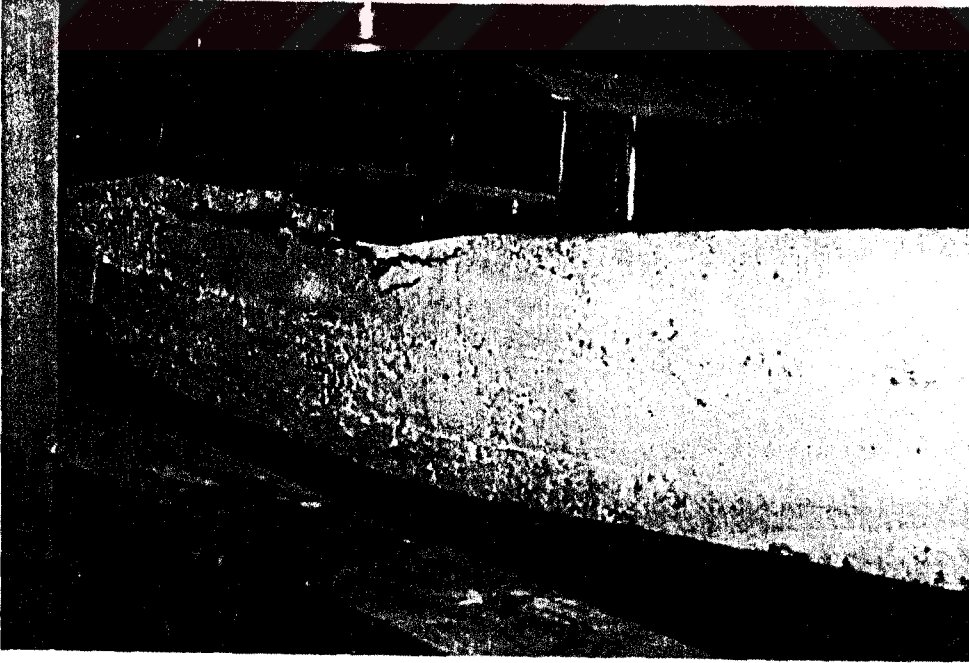
Resim 8.1 K1 Kirişinin beton çatlamaya başladığı andaki durumu



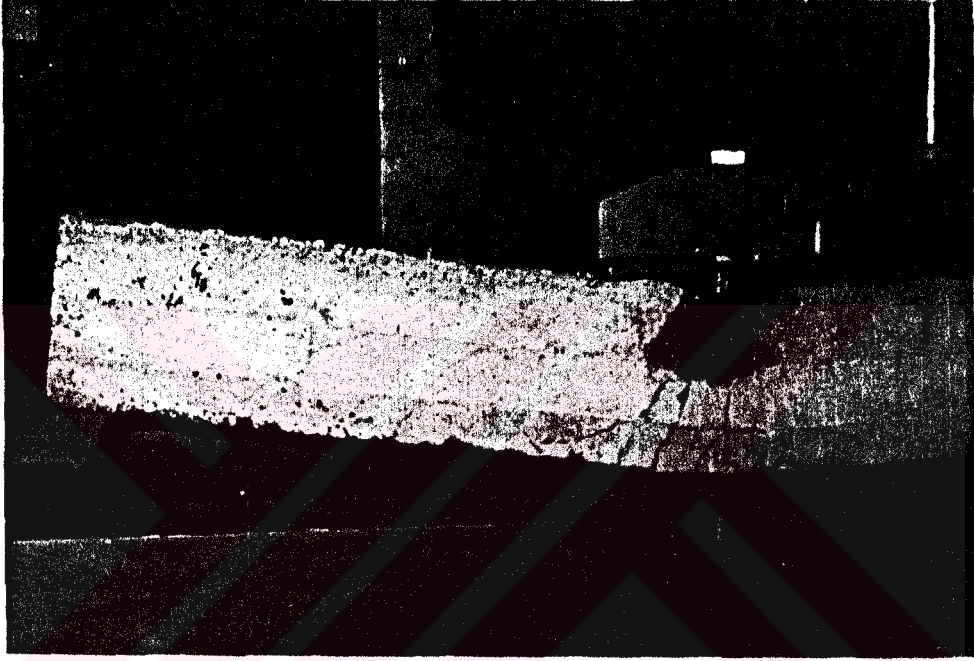
Resim 8.2 K1 Kirişinin beton ezilmeye başladığı andaki durumu



Resim 8.3 K2 Kirişinin beton çatlamaya başladığı andaki durumu



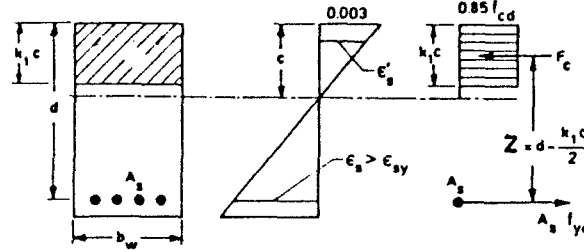
Resim 8.4 K2 Kirişinin donatı akma limitine ulaştığı andaki durumu



Resim 8.5 K2 Kirişinin beton ezilmeye başladığı andaki durumu

8.4. Kirişler İçin Hesaplanan Teorik Taşıma Gücü ve Sehim Değerleri

8.4.1. K1 Kirişleri için



Denge şartından; $F_s = F_c$

$$A_s \cdot f_{yk} = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot k_{lc} \cdot b_w \Rightarrow 6.16 \cdot 2.2 = 0.85 \cdot 0.167 \cdot k_{lc} \cdot 20$$

Taşıma gücü momenti; $k_{lc} = 4.8 \text{ cm}$

$$M_r = F_s \cdot Z = 6.16 \cdot 2.2 \cdot \left(27 - \frac{4.8}{2}\right) = 333 \text{ tcm}$$

Teorik sehim hesabı;

$$y = \frac{0.41 \cdot 10^6 \cdot P}{E \cdot I} \text{ (cm)} \quad y = \frac{0.41 \cdot 10^6 \cdot 4500}{85000 \cdot 45000} = 0.48 \text{ cm} = 4.8 \text{ mm}$$

8.4.2. K2 Kirişleri için

Denge şartından; $F_s = F_c$

$$A_s \cdot f_{yk} = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot k_{lc} \cdot b_w \Rightarrow 3.39 \cdot 4.2 = 0.85 \cdot 0.167 \cdot k_{lc} \cdot 20$$

Taşıma gücü momenti; $k_{lc} = 5 \text{ cm}$

$$M_r = F_s \cdot Z = 3.39 \cdot 4.2 \cdot \left(27 - \frac{5}{2}\right) = 349 \text{ tcm}$$

Teorik sehim hesabı;

$$y = \frac{0.41 \cdot 10^6 \cdot P}{E \cdot I} \text{ (cm)} \quad y = \frac{0.41 \cdot 10^6 \cdot 5000}{85000 \cdot 45000} = 0.54 \text{ cm} = 5.4 \text{ mm}$$

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1. Madenşehir Hafif Agregası

Deneylelerimizde hafif agregaya olarak kullandığımız ponza taşı üzerinde; özgül ağırlık, birim ağırlık, su emme deneyleri TS 3526'ya göre yapılmıştır. Bu değerler TS 1114 "Hafif Beton Agregaları" ve TS 3234 "Bims Agregası" ile karşılaştırılmıştır. Ponza taşı özelliklerinin bu iki TS arasında bir değerde olduğu ve hafif agregaya olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

9.2. Hafif Agregadan Beton İmalatı

TS 2511 'e göre karışım hesapları yapılarak BS14 elde edilmeye çalışılmıştır. Bu deneylerde de hafif agregaya ile birlikte iki ayrı çimento kullanılmıştır. Bu deneyler sonucunda PÇ 400 ile yapılan üretimde 28 günlük 169.74 kg/cm^2 , PÇ 325 ile yapılan üretimde 115.46 kg/m^2 silindir basınç değerleri elde edilmiştir.

Ayrıca, Konya Çimento Fabrikasında PÇ 400 imali yapılmadığından bu çimentonun diğer illerden getirileceği düşünülerek bu karışımın ekonomik olmayacağı gözlenmiştir. Bunun yerine Konya Eğribayat kum ocağından getirilen normal agregaya kullanarak başka karışımlarda yapılmıştır. Bu yapılan karışımlarda hafif agregaya içerisinde % 20, % 30, % 40, % 50 oranında normal agregaya kullanılmıştır. % 20 normal agregaya katkılı betonun 28 günlük basınç mukavemeti 167 kg/cm^2 olarak bulunmuştur.

Termik santrallerde artık madde olarak üretilen uçucu külün çimento yerine % 10, % 20, % 30, % 35 oranlarında kullanılarak ayrı bir karışım yapılmıştır. Bu karışımlardan % 35 uçucu kül katılarak elde edilen betonun 28 günlük basınç dayanımı 164.32 kg/cm^2 olarak elde edilmiştir. Uçucu külün kullanılması ile de hafif beton üretiminde bir miktar maliyet azalmasına sebep olacağı görülmüştür.

9.3. Betonarme Kirişlerin Teorik ve Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması

Üretilen hafif betonların betonarme taşıyıcı kirişlerde kullanılabilirliği konusunda fikir edinmek için iki ayrı kalitede donatı kullanılarak 4 adet betonarme kiriş imal edilmiştir.

K1 kirişinde teorik olarak hesaplanan taşıma gücü momenti 333 tcm, sehim 4.8 mm'dir. Deney sonucu taşıma gücü momenti 650 tcm, sehim ise 2 mm olarak ölçüldü.

K2 kirişinde ise teorik olarak hesaplanan taşıma gücü momenti 349 tcm, sehim ise 5.4 mm'dir. Deney sonucu taşıma gücü momenti 625 tcm, sehim ise 4 mm olarak ölçüldü.

Kirişlere konan donatı, dengeli donatının altında olup, limit donatı yüzdesine eşittir (14). Her iki kirişte akmadan sonra yük sabit olarak kalırken sehim artmaya devam etmiştir. Bu kirişlerin sünek davranış yaptığını ve kırılmanın çekme kırılması olduğunu göstermiş ve basınç bölgesinde betonun ezilmesiyle tamamlanmıştır. Her iki kirişe konan donatı denge altı ve limit donatı değerinde olduğundan kirişlerin teorik olarak sünek davranış yapıp çekme kırılması ile kırılması beklenmekteydi. Teorik ve deneysel sonuçlar bu açıdan uyum içindedir.

K1 kirişinde deneysel kırılma momentinin taşıma gücü momentine oranı $M_{deney} / M_{teorik} = 1.97$ olarak bulunmuştur. Bu da deney sonucunun teorik hesaba göre 1.97 kat fazla olduğunu ve kirişte kırılmaya karşı 1.97 oranında emniyetli olduğunu gösterir. Bu da oldukça iyi bir sonuçtur.

K2 kirişinde bu oran 1.90 olarak bulunmuştur. K2 kirişinin taşıma gücü momenti emniyet katsayısı, K1 kirişinin emniyet katsayısından düşük bulunmuştur. Buda BÇI ile imal edilen kirişin emniyet katsayısının yüksekliğini gösterir.

Deney sonucuna göre BÇIII donatılı K2 kirişinde ezilme anındaki sehimin akma anındaki sehime oranı 8.18 iken, K1 kirişinde bu oran 6.66'dır. Buradan BÇIII donatılı kirişin daha sünek bir davranışa sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

9.4. Öneriler

Her iki tip betonarme kiriş deneylerinden elde edilen teorik ve deneysel sonuçları karşılaştırdığımızda, hafif betondan imal edilen taşıyıcı kirişlerin yeterli emniyet katsayısına sahip olduğunu görürüz. Betonarme yapılarda taşıyıcı kiriş olarak hafif betondan imal edilmiş kirişler kullanılabilir.



10. KAYNAKLAR

1. DURMUŞ, A., 1986, Hafif Betonarme Yapılar, T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Bülteni Shf. 12-15, Doğmuş Matbaası, ANKARA.
2. TAŞDEMİR, M.A., 1982, Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları, Doktora Tezi, İTÜ, İSTANBUL.
3. POSTACIOĞLU, B., 1987, Beton Cilt 2, İTÜ, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İSTANBUL.
4. KILIÇ, R., KOÇ, S., 1988, Madenşehir (KARAMAN) Güney Batısındaki Ponza Taşının Etüdü ve Hafif Beton Agregası Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doğa Dergisi, c-12, sayı 3, TÜBİTAK, ANKARA.
5. KILIÇ, R., ŞİMŞEK, O., 1991, Madenşehir (KARAMAN) Doğusundaki Ponza Taşı İle Üretilen Hafif Beton Dayanımına Uçucu Kül Oranının Etkisinin İncelenmesi, Doğa Dergisi, c-15, shf. 3, TÜBİTAK, ANKARA.
6. ALBAYRAK, H.F., 1985, Hafif Agregalar Ve Beton Karışım Hesabı Prensipleri, D.S.İ. Genel Müdürlüğü, ANKARA.
7. TS 3529, 1980, Beton Agregalarının Ağırlıklarının Tayini, T.S.E. ANKARA.
8. TS 3526, 1980, Beton Agregalarının Özgül Ağırlık Ve Su Emme Oranlarının Tayini, T.S.E., ANKARA.
9. TS 130, 1978, Agregalar Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metod, T.S.E., ANKARA.

10. TS 2511, 1977, Taşıyıcı Hafif Betonlarının Karışım Hesapları, T.S.E., ANKARA.
11. TS 3234, 1978, Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metodları, T.S.E, ANKARA.
12. TS 2941, 1978, Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim Ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemiyle Tayini, T.S.E., ANKARA.
13. TS 2871, 1977, Taze Beton Kıvam Deneyi, T.S.E., ANKARA.
14. ERSOY, U., 1983, Betonarme c-1, Dizerkonca Matbaası, İSTANBUL.
15. ERSOY, U., ATIMTAY. E., 1975, Betonarme, ODTÜ, Güven Yayınevi, ANKARA.