

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYISI ÇEKİRDEĞİ KABUĞUNUN İLAVE EDİLMESİ
İLE ELDE EDİLEN HAFİF BETONUN KARAKTERİSTİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Onur ATALAR

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Servet YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYISI ÇEKİRDEĞİ KABUĞUNUN İLAVE EDİLMESİ
İLE ELDE EDİLEN HAFİF BETONUN KARAKTERİSTİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Onur ATALAR

Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman:

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. BETON.....	3
2.1. Betonun Tanımı.....	3
2.1.1. Yapılarda Kullanılan Beton Çeşitleri.....	3
2.2. Agregalar.....	3
2.2.1. Tabii Agregalar.....	4
2.2.2. Suni Agregalar.....	4
2.2.3. Özel Agregalar.....	4
2.3. Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Agregalar.....	4
2.3.1. Doğal Hafif Agregalar.....	5
2.3.2. Ülkemizin Doğal Hafif Agrega Bakımından Durumu.....	5
2.3.3. Hafif Agregalar Hakkında Genel Bilgiler ve Türkiye’deki Rezerv Dağılımı.....	6
2.4. Suni Hafif Agregalar.....	7
2.5. Beton Mukavemetine Agreganın Etkisi İle İlgili Çalışmalar.....	12
2.5.1. En Büyük Agrega Boyutunun Etkisi.....	12
2.5.2. Agrega Mukavemetinin Etkisi.....	13
2.5.3. Agreganın Şekil ve Yüzey Durumunun Etkisi.....	14
2.5.4. Agreganın Diğer Özelliklerinin Etkisi.....	14
2.6. Hafif Betonun ve Agregaların Tanımı ve Sınıflandırılması.....	15
2.7. Taşıyıcı Hafif Betonun Uygulama Alanları.....	17
2.8. Taşıyıcı Hafif Betonun Avantajları ve Dezavantajları.....	18
2.8.1. Avantajları.....	18
2.8.2. Dezavantajları.....	19
2.9. Yarı Hafif Betonun Yararları.....	19
2.10. Hafif Agregaların Betonun Davranışı Üzerindeki Etkisi.....	20
2.11. Hafif Agregalarda Aranılan Özellikler ve Deneyler.....	21
2.11.1. Birim Ağırlık.....	21
2.11.2. Elek Analizi Sınır Değerleri.....	22

2.11.2.1. Deneyin Yapılması.....	23
2.11.3. Organik Maddeler.....	24
2.11.3.1. Standart Referans Rengin Hazırlanması.....	25
2.11.3.1.1. % 3'lük Sodyum Hidroksit Çözeltisi.....	25
2.11.3.1.2. % 10'luk Metil Alkol Çözeltisi.....	25
2.11.3.1.3. Tannik Asit - Alkol Çözeltisi.....	25
2.11.3.1.4. Standart Referans Renk.....	25
2.11.3.2. Deneyin Yapılması.....	25
2.11.4. İnce Madde Oranı.....	26
2.11.4.1. Deneyin Yapılışı.....	26
2.11.5. Yanıcı Madde Miktarı.....	27
2.11.6. Sülfat Miktarı.....	28
2.11.6.1. Deneyin Yapılışı.....	28
3. TÜRKİYE ve DÜNYADA KAYISI ÜRETİMİ.....	29
3.1. Türkiye'de Kayısı Üretimi.....	29
3.2. Dünyada Kayısı Üretimi.....	30
4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	33
4.1. Hafif Beton Konusunda Daha Önce Yapılan Bazı Araştırmalar.....	33
4.1.1. Hafif Beton Konusunda Yurtdışında Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar.....	33
4.1.2. Yağ Palmiyesi Kabuklarının Agrega Olarak Kullanıldığı Beton.....	35
4.1.3. Hafif Beton Konusunda Türkiye'de Gerçekleştirilmiş Bazı Çalışmalar.....	36
5. ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEMELER.....	39
5.1. Kayısı Çekirdeği Kabuğu.....	39
5.2. Portland Çimentosu.....	40
5.3. Karma Suyu.....	40
5.4. Agrega.....	41
5.5. Beton Karışım Hesaplamaları.....	42
6. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	44
6.1. Basınç Dayanımı.....	44
6.2. Eğilme Dayanımı.....	49
6.3. Taze ve Sertleşmiş Betonun Birim Ağırlıkları.....	53
6.3.1. Taze Betonun Birim Ağırlığı.....	53
6.3.2. Sertleşmiş Betonun Birim Ağırlığı.....	55
6.4. Kayısı Çekirdeği Kabuğunun Fiziksel Özellikleri.....	57
6.4.1. Özgül Ağırlık.....	57

6.4.2. Su Emme Kapasitesi.....	57
6.5. Mikroskopik Analiz.....	58
6.5.1. SEM Analizi.....	58
6.5.2. EDX Analizi.....	60
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR.....	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Pomza taşının Türkiye’de dağılımı haritası.....	6
Şekil 2.2 Nodülleşmenin diyagramik görünüşü.....	11
Şekil 2.3 Hafif agregalarla üretilen betonların birim ağırlık ve dayanım durumları.....	12
Şekil 3.1 Kuru kayısı ihracatı yapan ülkeler ve dağılımları.....	32
Şekil 5.1 Kayısı çekirdeği kabuğu.....	39
Şekil 5.2 Bilyeli tambur.....	39
Şekil 5.3 Agregaya ait granülometri eğrisi.....	42
Şekil 6.1 Beton Numuneye Basınç Yüğü Uygulanması.....	46
Şekil 6.2 Numunelerin hazırlanması ve kalıplara yerleştirilmesi.....	47
Şekil 6.3 Kalıplardan çıkarılmış numuneler ve basınç presine yerleştirilmesi.....	47
Şekil 6.4 Beton numunelerin basınç dayanımları.....	48
Şekil 6.5 Kirişin orta noktasından yüklenmesi durumu.....	49
Şekil 6.6 Kirişin uçlarından L/3 oranında yüklenmesi durumu.....	49
Şekil 6.7 Orta ve Üçte bir noktadan yükleme durumunda kesme ve moment diyagramları..	51
Şekil 6.8 Eğilmeye maruz kalan kirişin kesitindeki gerilme dağılımı.....	51
Şekil 6.9 Numunelerin eğilme dayanımları.....	53
Şekil 6.10 Taze beton numunelerinin birim ağırlık değişimleri.....	55
Şekil 6.11 Numunelerin 28 günlük birim ağırlık değişimleri.....	56
Şekil 6.12 Kontrol betonun SEM görüntüleri.....	58
Şekil 6.13 %10 Kabuk içeren beton.....	59
Şekil 6.14 %20 Kabuk içeren beton.....	59
Şekil 6.15 %30 Kabuk içeren beton.....	59
Şekil 6.16 %40 Kabuk içeren beton.....	60
Şekil 6.17a Kontrol betonun EDX görüntüsü.....	60
Şekil 6.17b Kontrol betonunun EDX grafiğı.....	61
Şekil 6.18a %10 Kabuk içeren betonun EDX görüntüsü.....	62
Şekil 6.18b %10 Kabuk içeren betonun EDX grafiğı.....	62
Şekil 6.19a %20 Kabuk içeren betonun EDX görüntüsü.....	63
Şekil 6.19b %20 Kabuk içeren betonun EDX grafiğı.....	64
Şekil 6.20a %30 Kabuk içeren betonun EDX görüntüsü.....	65
Şekil 6.20b %30 Kabuk içeren betonun EDX grafiğı.....	65
Şekil 6.21a %40 Kabuk içeren betonun EDX görüntüsü.....	66
Şekil 6.21b %40 Kabuk içeren betonun EDX grafiğı.....	67

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1 Hafif agregaların gevşek birim ağırlıkları.....	21
Tablo 2.2 Birim ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları.....	22
Tablo 2.3 Tane büyüklüğü dağılımı tayini için gerekli deney numunesi miktarları.....	22
Tablo 2.4 Hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı (granülometrik bileşim) (mm).....	24
Tablo 2.5 Agregada ince madde oranı.....	26
Tablo 2.6 İnce madde oranı tayini için gerekli deney numunesi miktarları.....	26
Tablo 3.1 Yıllara göre Türkiye’deki kayısı üretim miktarı.....	29
Tablo 3.2 Türkiye’nin kayısı ağacı sayısı ve yaş kayısı üretimi.....	30
Tablo 3.3 Dünya yaş kayısı üretimi (Bin Ton).....	30
Tablo 3.4 Kuru kayısı ithalat ve ihracat rakamları.....	32
Tablo 5.1 PKÇ 42.5 R Tipi çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik analizleri	40
Tablo 5.2 Karışıma girecek agreganın granülometrisi.....	41
Tablo 5.3 Karışıma giren agregaya ait genel özellikler.....	42
Tablo 5.4 1 m ³ Beton için gerekli malzeme miktarları.....	43
Tablo 5.5 1 m ³ Beton için agrega miktarları.....	43
Tablo 6.1 Numunelerin basınç dayanımları.....	48
Tablo 6.2 Numunelerin eğilme dayanımları.....	52
Tablo 6.3 Taze beton numunelerinin birim ağırlıkları.....	54
Tablo 6.4 Numunelerin 28 günlük birim ağırlıkları.....	56
Tablo 6.5 Kayısı çekirdeği kabuğunun özgül ağırlıkları.....	57
Tablo 6.6 Kayısı çekirdeği kabuğunun su emme kapasitesi.....	58
Tablo 6.7 Kontrol betonuna ait EDX analizi sonuçları.....	61
Tablo 6.8 %10 Kabuk içeren betonun EDX analizi sonuçları.....	63
Tablo 6.9 %20 Kabuk içeren betonun EDX analizi sonuçları.....	64
Tablo 6.10 %30 Kabuk içeren betonun EDX analizi sonuçları.....	66
Tablo 6.11 %40 Kabuk içeren betonun EDX analizi sonuçları.....	67

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAYISI ÇEKİRDEĞİ KABUĞUNUN İLAVE EDİLMESİ İLE ELDE EDİLEN HAFİF BETONUN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Onur ATALAR

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

2006, Sayfa : 71

Bölgemizde kültür bitkisi olarak fazla miktarda kayısı yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu kayısıların fabrikasyon artığı olan kayısı çekirdeği kabukları da oldukça fazla miktarda meydana gelmektedir. Bu atık malzeme yalnızca bölge halkı tarafından yakacak olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, kayısı çekirdeği kabuklarının beton içerisinde agrega gibi davranış gösterebileceği varsayılmıştır. Ayrıca bu kabukların hem boşluklu yapıları hem de düşük birim ağırlıkları nedeniyle, beton içerisinde agrega ile belirli oranlarda yer değiştirilerek hafif beton elde edilmeye çalışılmıştır.

Toplam agrega hacmine göre %5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında kayısı çekirdeği kabuğu normal agrega ile yer değiştiriliş ve elde edilen numuneler üzerinde, birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, SEM ve EDX deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen deneysel veriler ışığında, %25 kayısı çekirdeği kabuğu ilavesi ile hafif beton elde edilebilmiştir. Beton içerisindeki kayısı çekirdeği kabuğu miktarı arttıkça birim ağırlık, basınç ve eğilme mukavemetlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalma beton içerisinde %5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında kayısı çekirdeği kabuğu ilavesiyle, basınç dayanımında %7.5, 18.5, 24.5, 34, 41, 45, 50 ve 57, birim ağırlıkta %3, 5, 7, 8, 11, 13, 15 ve 17, eğilme mukavemetinde ise %0.5, 0.9, 2.6, 4.3, 5.9, 6.9, 7.4 ve 17.7 oranlarında meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif beton, kayısı çekirdeği kabuğu, birim ağırlık, basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti.

ABSTRACT

MsC Thesis

INVESTIGATION OF CHARACTERISTIC PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE OBTAINED ADDITION WITH APRICOT PIP SHELL

Onur ATALAR

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

2006, Page : 71

Apricot raising is produced very much as a culture plant in our region. Apricot pip shells which are fabrication waste of this apricot are produced very much. This waste material is evaluated as fuel by this region people.

In this study it is supposed that apricot pip shells can behave as normal aggregate in concrete. Besides, because of pored structures and low specific gravity of this apricot pip shells, they are replaced by definite ratios with normal aggregate and heavyweight concrete is tried to obtain.

In this study, normal aggregate was replaced with apricot pip shells as 5%, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 of the total aggregate volume and density, compressive strength, bending strength, SEM and EDX experiments was tested on these concrete samples.

After the experimental results, heavyweight concrete was produced with addition 25% apricot pip shells in normal concrete. When apricot pip shells content was increased in concrete, density, compressive strength, and bending strength of concrete was decreased. This reduction was 7.5%, 18.5, 24.5, 34, 41, 45, 50 and 57 on compressive strength, 3%, 5, 7, 8, 11, 13, 15 and 17 on density and 0.5%, 0.9, 2.6, 4.3, 5.9, 6.9, 7.4 and 17.7 on bending strength of hardened concrete, when normal aggregate was replaced with apricot pip shells as 5%, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 respectively.

Keywords: Lightweight concrete, apricot pip shell, unit weight, compressive strength, bending strength.

1. GİRİŞ

Bulunuşundan günümüze gelinceye kadar uygulama alanı çok yaygınlaşan beton, yüksek dayanımın istendiği yerlerde özellikle yük taşıyan yapı elemanlarında kullanılmaktadır. Geleneksel betonarme inşaatlarda kullanılan klasik betonun, birim hacim ağırlığının yüksek oluşu çoğu zaman bu malzemenin sakıncalı bir özelliği olmaktadır. Yapı elemanlarının birim hacim ağırlıkları fazla olduğundan yüksek yapılarda önemli sorunlar oluşturmaktadır. Hatta normale göre daha büyük açıklıkların bulunması halinde birim ağırlık çok büyük boyutlara ulaşmaktadır ki bu da yapılarda ölü yükleri artırmaktadır. Ağırlıklarının fazlalığı sebebiyle bu yapıların depremden de olumsuz yönde etkilendikleri bilinen bir gerçektir.

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

Taşıyıcı hafif betonların betonarme yapılarda kullanılmasıyla yapılardaki daimi yükün azalmasının sağlamış olduğu faydaların önemi son senelerde çok açık bir şekilde anlaşılmıştır. Bundan dolayı betonarme yapı tekniğinde hafif taşıyıcı beton kullanma eğilimi gittikçe artmaktadır. Bu tür betonlar öncelikle binaların betonarme sistemlerinde uygulanmaya başlanmıştır. Bunu taşıyıcı hafif betonla betonarme köprülerin, açıklığı 140 m'ye varan köprülerin yapılması izlemiştir. Bu konuda son bir aşama da hafif betonların öngerilmeli yapılarda kullanılabilme olanağının ortaya koyulmasıdır [1].

Günümüzde hafif betonların üretimi çeşitli malzeme ve yapım yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla doğal veya yapay agregalar kullanılmaktadır. Hafif beton adı altında oldukça fazla malzeme bulunmaktadır. Bu malzemeler ülkemizde arzu edilen ölçüde kullanılmamakla birlikte uygulama alanı bulmaktadır.

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 şist

ve uçucu kül gibi sanayide kullanılmayan yan ürünlerinden de hafif agregâ yapımını zorunlu hale getirmiştir.

Hafif betonların ilk uygulamalarında kullanım amaçları birim hacim ağırlıklarının ve ısı iletkenlik katsayılarının küçüklüğünden faydalanmaktı. Ancak, dolgu ve yalıtım elemanı olarak kullanılmasından başarılı sonuçlar elde edilince, bugün artık yalıtım görevine ilâveten taşıyıcı elemanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Dolayısı ile araştırmacılar artık bu malzemenin mekanik karakteristiklerini de öğrenmek zorunda kalmıştır.

Bölgemizde, kültür bitkisi olarak fazla miktarda kayısı yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu kayısıların fabrikasyon artığı olan çekirdek kabukları daha çok yakacak olarak değerlendirilmektedir.

Kayısı çekirdeği kabukları sert ve boşluklu yapılarından dolayı, beton agregalarına benzerlik göstermektedirler. Bunların beton içerisinde agregâ gibi davranış göstereceği varsayılarak hafif beton üretimi yoluna gidilebilir. Hafif beton, bağlayıcı çimento hamurunun genleştirilmesi suretiyle havalı, hücreli veya gaz beton ya da sadece geleneksel iri agregâ kullanarak beton bileşiminde normal agregâ yerine hafif agregâ kullanarak da elde edilebilir.

Yapılan bu çalışmada, kayısı çekirdeği kabuğu hafif agregâ olarak düşünülüp, beton karışımına belirli oranlarda karıştırılarak, hafif beton elde etme yoluna gidilmiştir.

2.BETON

2.1. Betonun Tanımı

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddesinin uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamlı olup zamanla çimentonun hidratasyonu nedeniyle katılaşp sertleşen bir yapı malzemesidir [2].

Beton; karışıma giren malzeme, birim ağırlık ve dayanımlarına göre birçok sınıfa ayrılır. Genel bir sınıflandırma olarak bunlar;

2.1.1. Yapılarda Kullanılan Beton Çeşitleri

Ağır beton, normal beton ve hafif betonlardır. Ağır beton, Barit, magnetit, limonit ve demir gibi yüksek birim ağırlıklı agrega kullanılmasıyla elde edilen ve özellikle radyasyona karşı korunma amacıyla kullanılan betondur [2]. Normal beton, TS 706'ya uygun beton agregası ile yapılmış, birim ağırlığı 2400 kg/m^3 olan betonlardır [2]. Hafif beton ise hafif agrega ile yapılmış, birim ağırlığı $800\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$ arasında olan yapı betonudur [2].

Ayrıca bu bölümde konumuzla ilgili olması sebebiyle taşıyıcı hafif betonun tanımını da yapacağız. Taşıyıcı hafif beton; Havada kurumuş haldeki birim ağırlığı 1900 kg/m^3 'den az olan ve en az C 14 mukavemet sınıfındaki betondur [2].

2.2. Agregalar

Agrega, tabii, suni veya her iki cins mineral malzemenin genellikle 100 mm 'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmış veya kırılmamış tanelerin bir yığındır [2].

Agregalar hacimsel olarak betonun yaklaşık olarak % 70 - 75'ini oluşturdıkları için çok önemlidirler. Agregalar kendi aralarında kaynaklarına, birim ağırlıklarına, tane şekil ve büyüklüklerine göre sınıflara ayrılırlar.

Agreganın temiz, sert, sağlam, dayanıklı taneciklerden meydana gelmesi, kimyasal maddelerden arı olması, kille sarılı bulunmaması lazımdır. Serbest toz veya ince tanecikler halindeki pislik, silt, kil, kömür, mika, tuzlar, organik maddeler agreganın kalitesini bozar. Yıkama sureti ile agrega bu maddelerin birçoğundan temizlenebilir ise de bu halde de dikkatli olmak gerekir [3].

Beton yapımında kullanılan agregalar menşeleri itibariyle;

1. Tabii agregalar
2. Suni agregalar
3. Özel agregalar olmak üzere üç grupta incelenirler.

2.2.1. Tabii Agregalar

Tabii kum ve çakıllardır. Nehir yataklarından, deniz ve göl kıyılarından, buzul yatakları vb. yerlerden elde edilirler. Elde edilen agrega olduğu gibi kullanılıyorsa buna “tuvenan”, elenip yıkandıktan sonra kullanılıyorsa “sınıflanmış” adını alır. Nehir, göl ve deniz kenarlarından elde edilen tabii agregalar, genellikle temiz ve az çok tane büyüklüklerine göre sınıflanmışlardır. Çoğu zaman oldukları gibi, yani tuvenan olarak kullanılırlar [4].

2.2.2. Suni Agregalar

Kırma taşlar, yüksek fırın cürufları, kazan külleri, genleştirilmiş agregalar, pişmiş killeri vb. sayılabilir. Kırma taşlar taş ocaklarından çıkarılan kaya parçalarının konkasörle istenilen irilikte kırılmaları ile elde edilirler. Fabrika ve kalorifer kazanlarından çıkan küller, demir-çelik endüstrilerindeki yüksek fırınlardan çıkan cüruflar, son zamanlarda geniş ölçüde kullanılmaya başlanmıştır [4].

2.2.3. Özel Agregalar

Hafif, ağır, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, aşınmaya dayanıklı agregaları sayabiliriz. Örneğin perlit özel hafif agregadır.

Doğal ortamdan alındıktan sonra yalnızca gerekli olduğundan eleme işlemine tabii tutulur [4].

2.3. Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Agregalar

Hafif agrega (beton için) su, çimento ve gerektiğinde katkı maddeleriyle karıştırılarak hafif beton imalinde kullanılan gevşek birim ağırlığının en büyük değeri 1200 kg/m^3 'ü aşmayan kırılmamış gözenekli inorganik agregalardır [5].

Bazı hafif agregalar doğal olarak bulunur diğerleri ise üretilir.

2.3.1. Doğal Hafif Agregalar

Bu kategorideki başlıca agregalar diatomit, ponza taşı, volkanik curuftur. Diatomit dışında bunların hepsi volkanik kökenlidir.

Sadece belli bölgelerde bulunmaları nedeniyle doğal hafif agregalar yaygın bir şekilde kullanılmazlar.

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

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

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

Ponza taşının Romalılar zamanından beri kullanıldığı bilinmektedir. Ergimiş lavın volkandan fışkırması sırasında açığa çıkan gazların hapsolmasıyla amorf yapılı ponza taşı parçacıkları oluşur. Bu nedenle agrega boşluklu ve hafiftir. Boşluklar yassı ve birbirine paraleldir. Boşluk miktarı %75 kadardır [6].

Volkanik Curuf, kabarcıklı ve camsı bir kayadır. Volkanik curuf kullanılarak yapılan hafif betonlar endüstriyel curuflarla yapılan betonlarla benzer özelliklere sahiptir [7].

2.3.2. Ülkemizin Doğal Hafif Agrega Bakımından Durumu

Ülkemizin doğal hafif agrega bakımından durumunu anlamak için Bayındırlık Bakanlığı, Yapı ve İmar İşleri Reisliğince 1970-75 yılları arasında çeşitli illerimizde yaptırılan incelemelere başvurduk. Bu incelemeler jeolog, topograf, mimar ve meterolog’dan oluşan ekipler tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu ekipler gittikleri yörelerde malzemeyi incelemişler, taş ocaklarından numuneler almışlar, bunlar üzerinde laboratuarda deneyler yaparak bunların özelliklerini saptamışlardır. Ayrıca jeologlar çeşitli karinelere dayanarak doğal malzemenin

rezervlerini tahmin etmişlerdir. Bu incelemeler Aydın, Amasya, Afyon, Balıkesir, Bitlis, Bilecik, Bolu, Burdur, Kocaeli, Konya, Kütahya, Manisa, Muğla, Niğde, Samsun, Siirt olmak üzere 26 ilimizde yapılmıştır. Bu illerden genellikle Orta ve Doğu Anadolu’da yer alan 10 ilde (Amasya, Afyon, Bitlis, Çankırı, Eskişehir, Isparta, Kayseri, Konya, Kütahya, Niğde) toplam 40 adet doğal hafif taş ocağının bulunduğu bu inceleme sırasında anlaşılmıştır. Ayrıca bu 10 ilde toplam rezerv miktarının 580.000.000 m³ gibi çok yüksek bir değere ulaştığı saptanmıştır. Bu yaklaşık olarak 200 yıl konut gereksinimini karşılayabilecek agrega miktarı demektir. Bu durum doğal hafif agrega bakımından ülkemizin büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Doğanın verdiği bu nimetten mümkün olduğu kadar faydalanma yoluna gidilmelidir. Ayrıca hafif betonlara yapılarda yer verilmesiyle ısı kayıpları da büyük ölçüde azalacağı ve deprem dayanıklılığının artacağı daha önce belirtilmişti.

2.3.3. Hafif Agregalar Hakkında Genel Bilgiler ve Türkiye’deki Rezerv Dağılımı

Taşıyıcı hafif betonlar için gerekli yapay agregalardan olan perlit ile ilgili sanayi kolu ülkemizde kurulmuştur. Ülkemiz 8 ton rezervi ile ABD’den sonra dünyadaki en büyük perlit üreticilerden biridir.

Ülkemizde Batı, Orta ve Doğu Anadolu’da bol miktarda perlit üretiminde kullanılan kayalık rezervleri mevcuttur. Perlitin yüksek sıcaklıkta ısıtılmasıyla genişletilmiş perlit elde edilir. Genleştirilmiş perlitin su emmesi yüksektir. Ayrıca artan enerji fiyatları hafif agregaların üretimini olumsuz yönde etkileyen faktörlerden biri olmaktadır [8].

Doğal hafif agregaların yurdumuzda en yaygın olanları, pomza taşı (bims), volkanik tuf ve volkanik cüruftur. Bu malzemelerin yurdumuzdaki dağılımı, rezerv miktarları, fiziksel özellikleri ve bunlarla üretilen betonların nitelikleri ile ilgili bir araştırma yapılmıştır [9]. Şekil 2.1’de ülkemizdeki doğal hafif agrega kayalarının dağılımını göstermiştir.



Şekil 2.1. Pomza taşının Türkiye’de dağılımı haritası

Yukarıda sözü edilen volkanik cüruf, volkanik tuf ve pomza taşı grubu içerisinde en yaygın olarak rezervi bulunan ve kullanılan pomza taşıdır. Pomza taşının Romalılar zamanından beri kullanıldığı bilinmektedir.

Ergimiş lavın volkandan fışkırması sonucunda açığa çıkan erimiş gazların hapsolmesiyle amorf yapılı pomza taşı parçacıkları oluşur. Bu nedenle agrega boşluklu ve dolayısıyla hafif olur. Boşluklar yassı ve birbirine paraleldir, bazende birbirleriyle bağlantılıdır. Genelde boşluk miktarı %75 kadardır [10].

Pomza taşı agregasıyla üretilen betonlar, taşıyıcı betonun dışında, ısı yalıtımı veya ses yalıtımı amacıyla blok olarak kullanılabileceği gibi, bunlarla duvar panoları da üretilebilir. Pomza taşının öğütülmesi ile elde edilen puzzolan malzeme çimento katkı maddesi olarak kullanılabilmektedir.

Pomza taşının yurdumuzda yaygın olarak özel kullanımı daha çok beton duvar blokları ve asmolen blok şeklindedir. Oysa pomza taşı agregasıyla üretilen farklı nitelikteki betonlar yapının taşıyıcı sisteminde kullanılabileceği gibi, yapı fiziki sorunlarının çözümünü de sağlayabilir özelliktedir.

Pomza taşı ile hafif beton üretiminin ülkemiz açısından diğer bir yararı ise, yapının zati yüklerinin ve buna bağlı olarak deprem yükünün azaltılmasıdır. Bilindiği gibi yurdumuzun yaklaşık %92 si deprem kuşağında bulunmaktadır. Böylece hafif beton yapı elemanlarının sağlayacağı ekonomi yanında kendi ağırlığının azalmasıyla da deprem kuşağında olan yörelerde daha hafif ve güvenli yapılar üretebilme olanağı sağlayabilmektedir.

2.4. Suni Hafif Agregalar

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

Birinci grup ısı uygulamasıyla üretilmiş agregaları içerir. Sırasıyla genleşmiş kil, genleşmiş şist, perlit, vermikülit gibi... İkinci grup yüksek fırın cürufunun özel bir soğutma işlemi ile genleştirilmesiyle elde edilir. Endüstriyel kül ve cüruflar ise üçüncü gruptadır.

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

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

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

Perlit, tabiatta bulunan silisli volkanik bir camdır. Perliti diğer volkanik camlardan ayıran en önemli özelliği, yumuşama noktasına kadar ısıtıldığı zaman orijinal hacminin 4-20 misli genişmesidir. Bu genişleme ham perlit kayasındaki %4-6 oranındaki kombine sudan kaynaklanır. 1000°C civarında ısıtıldığı zaman içinde bulunan suyun buharlaşmasından dolayı mısır gibi patlar, böylece içinde hava kabarcıkları mevcut olan, hafif, beyaz, ince bir agregaya meydana gelir. Türkiye’de üretilen tek suni agregaya olan perlit ile üretilen hafif betonlar, genellikle düşük dayanımlıdır. Salt perlit ile yapılacak prefabrik taşıyıcı döşeme ve çatı plakları sınırlı yük taşıyabilirler. Üretimde yetersiz bir kontrol, kullanımda aşırı bir yükleme göçmelere yol açabilir. Taşıyıcı elemanları bu bakımdan şantiyelerde yerinde dökerek perlit betonu üretmek bu bakımdan olanaksızdır.

Perlit betonlarında sünme deformasyonları yüksektir. Bu özellik de taşıyıcı eleman yapımını kısıtlar ve zorlaştırır.

Perlitli betonlarda su emme ve kılcallık yüksektir. Gerek ısı yalıtımından gereğince yararlanmak, gerekse taşıyıcılardaki donatının korozyonunu önlemek için bu betonların su ve neme karşı yalıtımı şarttır. Elde edilen beton tam anlamıyla bir taşıyıcı hafif beton değildir. İyiyapı nedeniyle dayanımı daha yükseltmek olanağı kısıtlıdır. Bu betonun ısı yalıtımı salt perlit ile üretilen betona oranla çok azaltılmıştır. Bu betonu da şantiyede dökme beton olarak üretmek sakıncalıdır, prefabrikasyon olarak üretmek daha güvenlidir [11].

Perlit betonunun en önemli malzemesi olan genişletilmiş perlit agregasının fiziksel özellikleri karışımın başarısının en çok etkileyen faktördür. Perlit agregası tanelerinin taşıma ve boşaltma sırasında ufalanması oldukça kolaydır. Ufalanma nedeniyle agreganın “su isteği” daha çok yükselebilmekte, gevşek birim ağırlığı artmakta ve sonuçta belirlenmiş üretim formülüne karşılık gelen beton birim ağırlığının çok üstüne çıkmaktadır. Bu tür problemlerin yaşanmaması için alınan perlit torbalarının ağırlıklarını ölçmek yeterli olacaktır. Olması gerekenden ağır torbaların ret kriteri olarak en çok $+5 \text{ kg/m}^3$ ’e müsaade etmek uygundur. Perlit

agregasının yoğunluğu 30-240 kg/m³ arasındadır. Perlit ile yapılan betonlar düşük dayanımlı, fazla rötre yapan ve esas olarak yalıtım amacıyla kullanılan betonlardır.

Vermikülit, Amerika ve Afrika'da bulunan, mika benzeri, tabakalı bir malzemedir. 650-1000 °C arasında ısıtıldığı zaman vermikülitin ince tabakalarının pul pul dökülmesiyle (eksfolidasyon) hacmi birkaç, hatta bazen 30 kat artar. Sonuç olarak eksfolidasyona uğramış vermikülitin birim hacim ağırlığı 60-130 kg/m³ arasındadır. Vermikülit ile yapılan betonlar çok düşük dayanımlı, fazla rötre yapan fakat mükemmel yalıtkan olan betonlardır.

Genleşmiş yüksek fırın curufu, yüksek fırından çıktığında yaklaşık 1400-1600 °C'de eriyik durumda bulunan curuf havada yavaş soğumaya bırakıldığında gri, kristal yapılı, taş gibi bir malzeme haline dönüşmektedir. Genleştirilmiş yüksek fırın curufu ise iki yolla üretilir. Birinci metotta fırından yeni çıkmış ergimiş curufun içine belirli bir miktar su püskürtülür. Sonuç olarak buhar açığa çıkar ve hala plastik kıvamda olan curuf kabarcıkları ve boşluklu bir yapıda sertleşir. Ponza taşına benzer bir görünüm alır. Bu su jeti işlemidir. Makine işleminde ise ergimiş curuf kontrollü bir miktar su ile çabucak karıştırılır, kızgın su buharı ile curuf bileşenlerinin bazılarının kimyasal bileşimi sonucu çeşitli gazlar açığa çıkar. Bu gazlar elde edilen yapının boşluklu olmasını sağlar.

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

Genleşmiş curuf soğutma işleminin detaylarına ve parçacıkların boyut ve granülometrisine bağlı olarak yoğunluğu 300-1100 kg/m³ civarında olur. Genleşmiş curuf ile yapılan betonların yoğunlukları 950-1750 kg/m³ arasındadır. Ayrıca yüksek fırından çıkan curuf suda ani olarak soğutulma işlemine tabi tutulursa elde edilen ürüne *Granüle yüksek fırın curufu* denir.

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

Klinker agregası ince ve kaba dane olarak kullanıldığında elde edilen betonlar 1100-1400 kg/m³ arasında yoğunluğa sahiptir. Fakat sık sık karışımın işlenebilirliğini artırmak için doğal kum kullanılır. Bu şekilde üretilen betonlar 1750-1850 kg/m³ arasında yoğunluğa sahiptir [7].

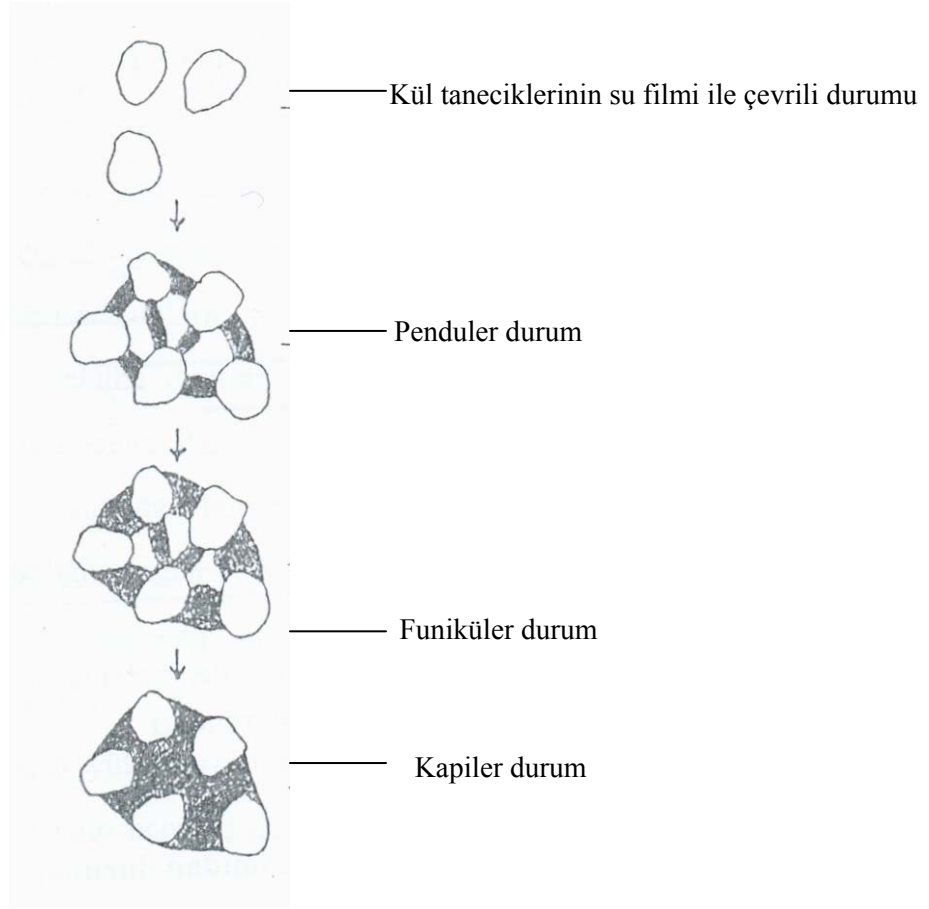
Uçucu kül, günden güne pratikteki değeri artan hafif beton imalinde en önemli etken kullanılan agreganın hafif olmasıdır. Yıllardır hafif agregası denilince akla fırın klinkeri geliyordu. Daha sonra doğal pomza ve yüksek fırın curufu son yıllarda ise geliştirilmiş kilden yapılmış hafif agregalar kullanılmaya başlanmıştır. Sinterleştirilmiş uçucu külden hafif agregalar 1950 lerde geliştirilmeğe başlanmış ve beton yapımında en çok kullanılan agregası olarak ortaya çıkmıştır. Sinterleşmiş uçucu külden hafif agregası ilk defa İngiltere’de “Lytag” firması tarafından yapılmış ve kullanılmıştır. Kapasitesi 350 000 ton/yıl olan bu fabrikadan sonra diğer bir çok ülkede buna benzer fabrikalar kurulmuşlardır. Düşük kalorili olmaları nedeniyle endüstride yakıt olarak kullanılmayan kömür atıkları, toz halde yakılarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Bu kömürlerin tane çapları 0.2-0.5 mm dolaylarındadır ve kül oranları oldukça yüksektir. Bu kömürler termik santrallerde su ile fırın içine püskürtülerek yakılırlar. Termik santralin tipine göre 1100-1600 °C sıcaklıkta yakılan bu kömürlerin %10-20’si kazan altına düşerek su ile uzaklaştırılır. Buna kazan altı curufu denir. Geri kalan daha ince partiküller baca çekimi ile taşınarak siklon veya elektrofiltrelerde toplanırlar. Baca gazlarıyla sürüklenen ve havayla temas ederek ani soğuma ile puzzolanik özellik kazanan bu küllere uçucu kül denir. Bu kül parçacıklarının çapları 1-10 mikron arasındadır. Hafif olmaları nedeni ile bu isim verilmiştir. Uçucu kül ile hafif agregası üretiminin ana hatları şöyle özetlenebilir; uçucu küller 1100-1200 °C arası sıcaklıkta yakıldığı zaman tanecikler ergiyerek birbirine yapışır, yuvarlak biçimde olan bu tanecikler hafif olmakta ve iyi bir mekanik dayanım göstermektedir. Ergiyerek yapışma olayına sinterleşme denir. Elde edilen agregalar yuvarlak biçimdedir ve hafif agregası olarak kullanılırlar.

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

- a) Taneciklerin oluşumu
- b) Sinterleşme

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

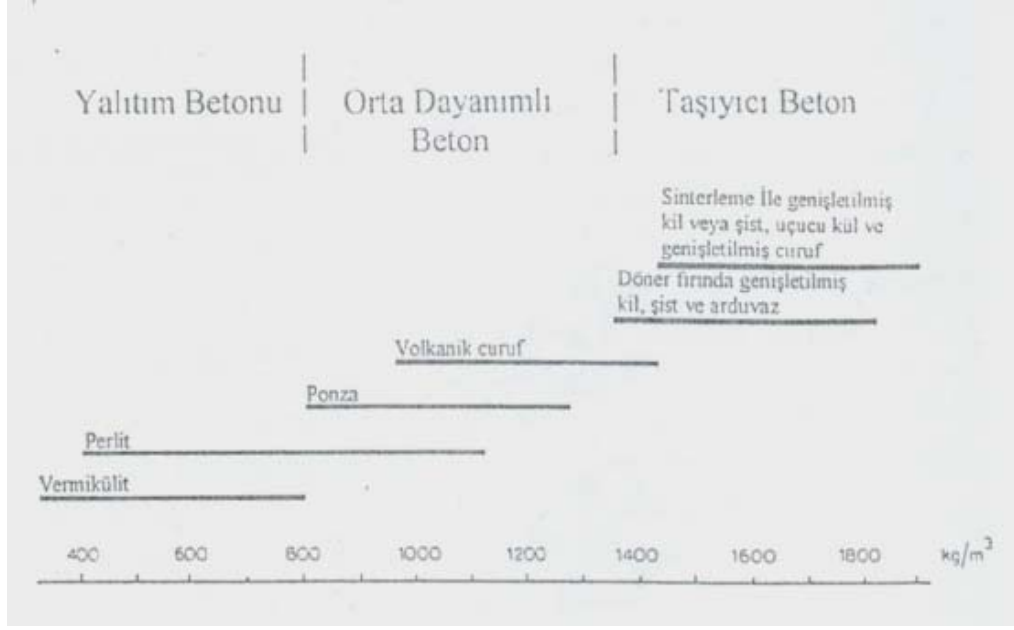
Uçucu kül tanecikleri eğik döner tamburda ısıtarak birbirlerine yapışır. Uçucu kül içine nodülleşmeyi kolaylaştırmak için bazı katkılar katılmışsa da su ile nodülleşmenin en uygun şekil olduğu tespit edilmiş, çok az miktarda alkali katkısının mekanik ve termal etkilere dayanımı arttığı ayrıca sinterleşme kapasitesinin arttığı, maliyeti düşürdüğü saptanmış ve %1 kirecin de iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu aşamalar Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2 Nodülleşmenin diyagramik görünüşü

Uçucu külden üretilmiş hafif agregaların birim hacim ağırlığı 1000 kg/m^3 civarındadır. İnce hafif agregalarda bu değer 1200 kg/m^3 değerine kadar çıkmaktadır. Elde edilen betonlar $1500\text{-}1900 \text{ kg/m}^3$ arası yoğunluğa sahiptir.

Çeşitli hafif agregalarla üretilen betonların birim ağırlık ve dayanım durumları Şekil 2.3’de görülmektedir.



Şekil 2.3 Hafif agregalarla üretilen betonların birim ağırlık ve dayanım durumları

2.5. Beton Mukavemetine Agreganın Etkisi İle İlgili Çalışmalar

2.5.1. En Büyük Agreg Boyutunun Etkisi

Neville, Higgison ve arkadaşlarının deney sonuçlarına dayanarak normal betonda en büyük agreg boyutunun 38,1 mm'ye kadar olan değerlerinde yüksek dozajlı betonlar için mukavemette artmanın olduğunu, bu en büyük boyuttan sonraki artışla mukavemetin azaldığını, buna karşılık normal dozajlı betonlarda ise en büyük boyutun artması ile mukavemetin arttığı belirtilmektedir. Çalışmayı yapanlar 25 mm veya 40 mm'nin üstünde en büyük boyuta sahip agreg kullanılımasının özellikle ayrışmaya neden olması bakımından elverişli olmayacağını savunmaktadırlar. Walker ve Bloem deney sonuçlarına göre en büyük agreg boyutunun artmasıyla yüksek dozajlı betonlarda mukavemet azalmakta, düşük dozajlı betonlarda ise mukavemet artmaktadır. Buna karşılık aynı araştırmanın deneyleri en büyük agreg boyutunun artmasıyla rötrenin azaldığını göstermektedir. Vaquier ve arkadaşlarının deney sonuçlarına göre pomza taşı hafif agregası kullanılarak üretilen betonlarda en büyük agreg boyutunun küçülmesi ilk 14 günde rötreyi artırmakta, daha sonra rötrede bir değişiklik olmamaktadır. Ali ve Kesler en büyük agreg boyutunun artmasıyla betonda sünmenin azaldığını belirtmektedirler. Gilkey'in deney sonuçlarına göre ise aynı birleşim ve aynı çimento oranına sahip betonlarda iri agreg boyutunun artmasıyla basınç mukavemetinin ve gerilme-şekil değiştirme eğrisindeki eğimin azaldığı görülmektedir. Te'eni'nin verdiği sonuçlarda, en büyük agreg boyutunun artması normal agregalı betonların basınç mukavemetini azalttığı göze çarpmaktadır. Sasse en büyük

agrega boyutunun küçülmesiyle normal betonda basınç mukavemeti ile buna karşılık gelen şekil değiştirmenin artacağını belirtmektedir. Sasse'nin açıkladığı bu duruma karşılık, hafif agregalı betonlarda farklı agrega bölümlerinin özgül ağırlıklarının eşit olduğu sürece en büyük tane boyutunun fark edilir bir etkisinin gözükmeyeceğini ileri sürmektedir. Hughes ve Chapman, yaptıkları araştırmaya göre, genel olarak en büyük agrega boyutunun küçülmesiyle normal beton basınç mukavemeti ve buna karşılık gelen şekil değiştirmenin arttığı söylenebilir. Ancak incelenen aralığın 9.5 - 0.149 mm gibi dar bir aralıkta tutulduğu ve deney sonuçlarında da belirgin dağılmalar olduğu göze çarpmaktadır. Johnston'da normal betonda basınç mukavemeti ve yarıлма çekme mukavemeti ile bunlara ilişkin şekil değiştirmelere en büyük agrega boyutu arttıkça hem basınç mukavemeti hem de yarıлма-çekme mukavemeti azalmaktadır. Ayrıca bu mukavemet değerlerine karşılık gelen şekil değiştirmenin de en büyük boyutun artmasıyla azaldığı görülmektedir.

En büyük agrega boyutu ile ilgili çalışmaları gözden geçiren Dartsch, şu sonuçlara varmaktadır;

- Aynı su/çimento oranında en büyük agrega boyutunun artması ile basınç dayanımında küçük bir azalma oluşmaktadır.
- Bu azalma, düşük su/çimento oranlarında ($< 0,50$) daha açık olarak ortaya çıkmaktadır.
- Uygulamadaki en büyük agrega boyutu 32 mm'nin altında, dozajı 200 ile 350 kg/m³, su/çimento oranı 0.50 ile 0.80 arasında olan betonlarda bu azalma küçüktür ve pratikte bir önemi yoktur. Harig, en büyük agrega boyutunun hem süreksiz hemde sürekli granülometriye sahip sertleşmiş betonların özelliklerini etkilediğine işaret etmekte; genel olarak basınç mukavemeti ile çekme mukavemetleri, en büyük agrega boyutu 16 mm iken en yüksek değerine eriştiklerini belirtmektedir. Harig'in deney sonuçlarında max. tane çapı 16 mm'den küçük iken basınç mukavemetinin düşük, max. tane çapı 16 mm'den büyük iken mukavemetler boyuttaki artışla azalma göstermektedir. Manns'ın deney sonuçlarına göre en büyük agrega boyutunun artmasıyla elastisite modülü artmakta, basınç mukavemeti ise azalmaktadır [4].

2.5.2. Agreganın Mukavemetinin Etkisi

Agrega mukavemetinin bilinmesinin beton mukavemetinin saptanmasında önemi vardır. Diğer yandan hafif agrega üretiminin denetlenebilmesi bakımından da mukavemetlerin bilinmesi yararlıdır.

Sell beton mukavemetini hafif agrega mukavemetiyle tahmine çalışmış ve silikon-kauçuk devamlı fazı içinde agrega tanelerine tek eksenli, iki eksenli ve üç eksenli basınç deneği

uygulayarak agregaların bağıl mukavemetlerini belirlemiştir. Tapfers ve arkadaşları da benzer bir yöntemle içinde yağ bulunan bir kaba hafif agregaları yerleştirerek basınç uygulamışlar, böylece değişik agregaların mukavemetleri arasında karşılaştırma olanağı sağlamışlardır. Gübl hafif agrega çekme mukavemetinin artmasıyla hafif beton mukavemetinin artacağını göstermiştir. Gübl söz konusu araştırmalarında agrega çekme mukavemetinin belirlenmesinde kullandığı deney tekniğini vermiş ve başka araştırmacıların bu doğrultudaki çalışmalarını özetlemiştir. Bununla beraber ACI 213’de ise hafif agrega tanelerinin mukavemetinin, bunların kökenlerine ve tiplerine göre değişiklik gösterdiği, agreganın mukavemetinin belirlenmesi için niteliksel bir ölçünün olmadığı, betonun mukavemeti ile tane mukavemeti arasında net bir korelasyonun bulunmadığı belirtilmiştir. Schulz ise tane mukavemeti ile tane özgül ağırlığı arasında deney sonuçlarına dayanarak bağıntılar vermiştir [4].

2.5.3. Agreganın Şekil ve Yüzey Durumunun Etkisi

Budnikov ve arkadaşları düzgün yüzeyli agregaların köşeli ve pürüzlü yüzeye sahip olanlardan daha dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar en uygun biçimli tanelerin küp veya küreye yaklaşanlarının olduğunu, biçim faktörü (Agreganın en büyük boyutu / En küçük boyut) 2.5’den fazla olan agregaların ağırlıkça % 15 - 20’yi aşmaması ve ortalama biçim faktörünün ise 1.5 civarında bulunması gerektiğini önermişlerdir.

Czuryszkiewicz hafif betonların basınç mukavemetine hafif agrega şeklinin önemli derecede etkisinin olduğunu, şekil bakımından uzun olan agregaların basınç mukavemetini azalttığını bildirmiştir.

Neville köşeli yapıdaki düzgün olmayan agregaların taze betonun işlenebilirliğini güçleştirdiğini, yüzeyi sırlı ve düzgün hafif agrega içeren taze betonun iç sürtünmelerinin az olmasından dolayı işlenebilirlikte etkinin olumlu duruma dönüştürülebileceğini belirtmiştir [4].

2.5.4. Agreganın Diğer Özelliklerinin Etkisi

Kunz ve Wesche çeşitli hafif agregalarda özgül ağırlık, birim ağırlık ve birim hacim ağırlığı değerlerini değişik yöntemlerle bulup bunların karşılaştırmasını yapmışlar ve tane birim hacim ağırlığının boyuttaki artma ile azaldığını saptamışlardır. Bu azalma genişletilmiş şistte daha fazla, buna karşılık genişletilmiş kilde fark daha azdır ve hemen hemen sabittir.

Shütz’de tane özgül ağırlığı ile hafif agrega dinamik elastik modülü arasında ilişki kurmuştur.

ACI 211’de, hafif agregaya betonun üretiminden önce bir ön emdirme uygulamakla, taşıma sırasında ufalanmanın azalacağı, agregadaki ayrışmanın önlenilebileceği ve beton kıvamının değişmeden kontrol edilebileceğinin önemi belirtilmiştir [12].

ACI 213’de, en büyük agrega boyutunun; betonun işlenebilirliğini, iri agrega / kum oranını, çimento dozajını, basınç mukavemetini ve rötresini etkileyebileceği kaydedilmiştir [13].

2.6. Hafif Betonun ve Agregaların Tanımı ve Sınıflandırılması

Birim ağırlığı normal betonlardan belirli şekillerde küçük olan betonlara hafif beton denilmektedir. Genel olarak birim ağırlığı 1.8 kg/dm^3 ’den küçük bulunan betonlar hafif beton sınıfına girer. Bu böyle olmakla beraber bazı hafif betonların birim ağırlığı 0.25 kg/dm^3 gibi çok küçük değerlerde olabilir [14].

Hafif beton için değişik birim ağırlığı kabulleri vardır; Birim ağırlıkları 1840 kg/m^3 ’ü geçmeyen ve 28 günlük silindir basınç mukavemeti 17 N/mm^2 ’yi aşan betonlar hafif beton sınıfına girerler. Ancak ülkemizde ve diğer bazı ülkelerin standartlarında hafif beton birim ağırlığının 1900 kg/m^3 ’e kadar çıkmasına izin verilir. Genel olarak hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı $300\text{--}1800 \text{ kg/m}^3$ ’tür. 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 [4].

TS 2511 “Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları” isimli Türk Standardında taşıyıcı hafif beton; havada kurumuş haldeki birim ağırlığı 1900 kg/m^3 ’den az olan ve en az B 160¹ dayanım sınıfındaki betondur [15].

Hafif betonları birim ağırlıklarının dışında fonksiyonlarına göre de üç guruba ayırmak mümkündür.

1. Yalıtım betonları
2. Orta mukavemetli betonlar
3. Taşıyıcı betonlar.

DIN 1045’e göre betonlar birim ağırlıklarına göre şöyle sınıflandırılırlar [16].

1. Hafif betonlar : Birim ağırlık $< 2000 \text{ kg/m}^3$
2. Normal betonlar : $2000 \text{ kg/m}^3 \leq \text{Birim ağırlık} < 2800 \text{ kg/m}^3$
3. Ağır betonlar : Birim ağırlık $\geq 2800 \text{ kg/m}^3$

¹ TS 500’e göre en az II b dayanım niteliğindeki ($W_{b28} \geq 16 \text{ N/mm}^2$) betondur.

Diğer taraftan yine birim ağırlıklarına göre bütün betonların sınıflandırılması şu şekilde yapılır;

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

2. Birim ağırlığı $1800 - 2000 \text{ kg/m}^3$ arsında olan betonlar ne hafif ne de normal betonlardır. Bazı yayınlarda olduğu gibi bu aralıktaki betonlara yarı hafif beton adı verilebilir. Alman literatüründe 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 betonlarda normal beton sınıfına girerler.

Taşıyıcı hafif beton üretiminde başvurulan yöntem hafif agrega ile birim ağırlığı istenen düzeyde tutmaktır [4].

Bu malzemenin hafif olma sebebi; içinde fazla boşluk bulunmasından dolayıdır. Bunun için hafif betonların mukavemetinin büyük olması beklenmez. Ancak bazı önlemler alınarak ve bazı koşullar altında üretilen hafif betonların taşıyıcı malzeme olarak kullanılması kabul edilir.

Hafif betonların sahip oldukları üstünlüklerden dolayı bu malzemenin üretimi son senelerde çok artmış ve bu alanda önemli bir endüstri gelişmiştir.

Hafif betonlar; çimento, birim ağırlığı düşük hafif agrega ve normal agregadan meydana gelmektedir. Agregada karışımında hafif agrega miktarının artırılmasıyla daha hafif veya birim ağırlığı daha düşük olan betonlar elde edilmektedir.

Hafif beton üretiminde üç değişik yöntem vardır;

1. Normal ağırlıklı agrega yerine, boşluklu hafif agrega kullanılmaktadır. Bu tip hafif betonlar kullanılan hafif agrega cinsine göre adlandırılırlar. Genişletilmiş kil, şist gibi taşıyıcı betonlar ile perlit betonu, pomza taşı betonu gibi yalıtım veya orta mukavemetli betonlar örnek olarak verilebilir.

2. Betonda fiziksel veya kimyasal yolla geniş boşluklar oluşturmaktır. Bu boşlukları hava sürükleyici katkı maddeleri ile elde etmek en yaygın yöntemlerden bazılarıdır. Bu tip betonlar gaz betonu, köpük betonu veya hava sürüklenmiş beton olarak adlandırılır.

3. Betonun ince agregasının çıkartılmasıyla betonda büyük boşluklar oluşturarak elde edilen betonlardır. İri agregalar birbirlerine 1-3 mm kalınlıkta çimento hamuruyla bağlıdır. Çimento dozajı yaklaşık $70 \text{ kg/m}^3 \sim 130 \text{ kg/m}^3$ ’tür. Bu tip betonlar genellikle kumsuz betonlar olarak adlandırılır.

Tüm yöntemlerde beton yoğunluğundaki düşüşün nedeni meydana getirilen hava boşluklarıdır. Bu boşluklar agreganın içinde, harç içinde veya iri agregaların arasında olabilir ve bu boşlukların beton mukavemetini düşüreceği bir gerçektir [7].

Hafif agregaların en önemli özellikleri, yüksek poroziteli ve düşük birim ağırlıklı olmalarıdır. Hafif agregalar ya doğal olarak bulunurlar ya da yapay yolla üretilirler.

Yapay agregalar kil, şist, arduvaz benzeri killi veya konsolide killi malzemelerinin pişirilerek genişletilmeleri veya yüksek fırın cürufunun, uçucu küllerin pişirilerek kırılmasıyla elde edilirler. Bunlar küresel, düzgün yüzeyli ve sırlanmış olan agregalardır. Cüruf agregalarının yüzeyleri ise pürüzlüdür.

Doğal agregalar, pomza taşı, volkanik cüruf ve volkanik tuf gibi agregalardır. Doğal agregalar sadece belirli bölgelerde bulundukları için büyük miktarlarda kullanım alanlarına sahip değildirler. Pomza taşı içlerinde en çok kullanım alanına sahiptir.

Pomza taşı açık renkli, köpük şeklinde volkanik camdan oluşmuştur. Kuru birim ağırlığı 500 ile 900 kg/m³ arasında değişir. Pomza taşının ısı yalıtım özelliği yüksek buna karşın su emmesi ve rötresi fazladır [7].

Pomza taşı tarihte bilinen en eski hafif agregadır. M.Ö.100'de Romalılar tarafından tavanlarda, duvarlarda, banyolarda ve tapınaklarda kullanılmıştır. Ülkemizde pomza taşı Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde oldukça geniş rezervlere sahiptir.

Doğal hafif agregaların su emme kabiliyetinin fazla olmasından dolayı bu betonlarda agrega taneleri ile çimento hamuru arasında daha kuvvetli aderans vardır. Bundan başka ince agregaya emdirilmiş olan ve agrega tanesi boşluklarında yer alan su bir bakıma su deposu işlevini görür. Gerekli zaman çimento buralardan bir miktar su emerek hidrasyon olayını sürdürür [4].

2.7. Taşıyıcı Hafif Betonun Uygulama Alanları

Taşıyıcı hafif beton, bir taraftan mukavemeti sayesinde taşıyıcı ödevi görmek, diğer taraftan 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 görümlü 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 oluşur. İşlenecek yüzeylerde hafif betonun traş edileceği kalınlık donatının konulacağı pas payına eklenmiş olmalıdır.

Hafif betonarme ve hafif ön gerilmeli beton Avrupa’da son yıllarda bir çok ilginç yapıda ve gittikçe artan bir biçimde uygulanmıştır. Bu uygulamaları en çok bünyesinde bulunduran ülkelerin başında Almanya gelmektedir. Buna örnek verecek olursak Wiesbaden’da inşa edilen Dickerhoff Köprüsü, Langerich’te Herrmanwes köprüsü, Frankfurt’taki beşinci hava terminali ve Münih’teki BMW idare binası sayılabilir.

Hafif betonarmenin daha çok okul idare binaları ve hal yapıları gibi yüksek binalarda kullanıldığı görülmektedir. Bu yapılardaki uygulama hem yerinde dökme hemde prefabrik şeklinde olmaktadır. Hafif betonarmenin hafiflik, taşıyıcılık ve ısıya karşı izolasyon özelliklerinden ekonomik bir şekilde yararlanılmaktadır.

Gün geçtikçe ve hafif betonarme ile mühendislik yapıları inşa edildikçe hafif beton yapma tekniğinde gelişmektedir [17].

2.8. Taşıyıcı Hafif Betonun Avantajları ve Dezavantajları

Bütün ürünlerde olduğu gibi hafif ve taşıyıcı hafif betonlarda da avantajlarının yanında dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar;

2.8.1. Avantajları

Hafif ve taşıyıcı hafif betonların avantajlı olma sebepleri ekonomik olmalarından dolayıdır. Avantajlarını sıralayacak olursak;

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

2- Hafif betonla üretilen betonların 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 katsayısının düşük olması sonucu ısı yalıtımları yüksektir.

4- Ölü yüklerin azalması ve dolayısıyla hesap momentlerinin küçük çıkması sonucu daha az donatıya ihtiyaç gösterir. Özellikle deprem etkisinde, düşey yükle orantılı olarak oluşan yanal deprem kuvvetlerinin azalması taşıyıcı hafif betonun kullanılması ile sağlanır.

5- Kolay işlenebilme sayesinde en ince kalıp detaylarını bile aksettirebilir, güzel görünümlü yüzeyler ortaya konulabilir [17].

2.8.2. Dezavantajları

Hafif ve taşıyıcı hafif betonların ekonomikliğinden dolayı avantajlı olmalarına rağmen bunların yanında dezavantajları da vardır. Dezavantajları ise;

1- Boşluklu olmaları yani porozitenin büyük olması dolayısıyla mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle yüksek mukavemetli beton ve ön gerilmeli 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 olan faydalı yükün taşınması gerektiği için daha kalın döşemelere lüzum vardır.

5- Dış etkilere maruz donatılarda daha kalın bir beton örtü (Pas payı) tabakasına ihtiyaç vardır.

6- Normal betona göre daha düşük bir kesme kuvvetine 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. Sabit yük altında uzun süreli davranış özellikle kullanılan agreganın rijitliği ile ilgilidir. Agreganın rijitliğinin azalması (hafif ve taşıyıcı hafif betonlarda olduğu gibi) sünmeyi artırması yanında sabit yükü uygularken oluşan ani şekil değiştirmeyi de artırır. Bileşimleri aynı olan hafif betonun rötresi normal betona göre daha fazla olmasına karşılık rötre süresince çatlama meydana gelme olasılığı daha düşüktür [17].

2.9. Yarı Hafif Betonun Yararları

Yarı hafif betonların birim ağırlıkları $1900 - 2100 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştirilirse normal betona göre % 10 - % 15 gibi bir ağırlık azalması olur. Yarı hafif betonlarda bu orandaki ağırlık azalması elastiklik modülünde % 25 gibi bir düşmeye sebep olur. Hafif betonun ise normal betona göre ağırlığı %20 - % 40 ve elastiklik modülünde %50 kadar azdır.

Özellikle, son yıllarda Almanya'da kullanılması düşünülen bu betonlar için şu yararları ileri sürülmektedir:

1- Düşük birim ağırlıkları nedeniyle büyük boyutlu prefabrike elemanlar için yüksek güçte yükleme ve kaldırma araçlarına daha az gerek duyulur.

2- Uzak yerlere taşımada ekonomi sağlanır.

3- Zayıf zeminlerde temel problemlerini biraz daha kolaylaştırır.

4- Kuyu ve kazık masraflarını azaltır.

5- Elastiklik modülünün düşük olması, yapının rijitliğini ve dolayısıyla mesnet oturumları durumunda momentlerin az olmasına neden olur ve bu durum donatıda azalmayı sağlar.

Ancak elastiklik modülünün belirli bir alt sınırı da olmalıdır. Örneğin; DIN 4226 da normal beton elastiklik modülünün beton sınıfına göre alması gereken değeri belirlenmiştir. Hafif betonun elastiklik modülünün düşük olması nedeniyle $E_{\text{çelik}}/E_{\text{beton}}$ ($E_{\text{ç}}/E_{\text{b}}$) oranı büyüktür, bu bir anlamda taşıyıcı hafif betonların elastiklik modüllerinde sınırlandırılmasını gerektirir. Betonarme sistemlerin servis yükleri altındaki çökmelerin ve çatlak genişliklerinin sınırlandırılmasıyla dinamik yükler altında çelik gerilmelerinin sınırlandırılması tahkiklerinde ($E_{\text{ç}}/E_{\text{b}}$) oranı gereklidir. Alman standartlarında bu oran 10 olarak alınmaktadır.

1900-2100 kg/m³ arası birim ağırlığa sahip yarı hafif betonların ısı iletkenlik katsayısı, normal betonun yaklaşık yarısı kadardır. Ayrıca yarı hafif betonların üretimi için ileri sürülen yarılarardan biride, taze durumdaki yarı hafif betonun aynı durumdaki hafif betona göre daha az ayrışması ve yerleştirmenin daha az sorun yaratmasıdır [18].

2.10. Hafif Agregaların Betonun Davranışı Üzerindeki Etkisi

Eğer agreganın birim ağırlığı tane çapı ile değişmiyorsa DIN 1045'deki A-B sürekli veya U-C süreksiz granülometreleri arasındaki granülometri bölgeleri en yüksek beton mukavemetlerini vermektedir. Genellikle tane birim ağırlığı, maksimum tane çapı arttıkça azalmaktadır ve bu nedenle yukarıda belirtilen ideal granülometreler aynı zamanda en düşük birim ağırlığı verirler. Fakat en iyi mukavemetleri vermezler. Agreganın kaba kısmının bir kısmı yerine ince agregaya kullanılacak olursa hem mukavemette hemde birim ağırlıkta artış elde edilir. Agreganın kaba kısmının bir bölümü yerine tabii kum ilave edilecek olursa sözü geçen artışlar daha büyük olur ve aynı zamanda malzeme masrafı azalmış olur. Ancak kullanılacak kum miktarının bir üst sınırı vardır. Bunun daha üzerine çıkılması birim ağırlığın çok fazla artmasına neden olur. Bu üst sınır her bir özel agregaya türü için deney ile tespit edilmelidir.

Diğer yandan agregaya mukavemetinin önceden bilinmesinin beton mukavemetinin saptanmasında önemi vardır. Normal betonda basınç mukavemetinin genellikle kaba agreganın mukavemetinden daha düşük olması nedeniyle nihai mukavemetin harç mukavemetine bağlı olmasına karşın, hafif betonda agregaya mukavemetinin ya harç mukavemetine eşit ya da onun daha altında olması nedeniyle beton mukavemeti agregaya mukavemeti tarafından tayin edilir. Bu yüzden hafif betonda her bir agregaya türü için belirli bir mukavemet sınırı söz konusu olur. Bir

deneysel araştırma da, hafif agrega çekme mukavemetinin artmasıyla hafif beton mukavemetinin artacağını göstermiştir.

ACI 213’de ise hafif agrega tanelerinin mukavemetinin, bunların kökenlerine ve tiplerine göre değişiklik gösterdiği, agreganın mukavemetinin belirlenmesi için niteliksel bir ölçünün olmadığı, beton mukavemeti ile tane mukavemeti arasında net bir korelasyon bulunmadığı belirtilmiştir. Yine bir araştırma sonucunda, düzgün yüzeyli agregaların köşeli ve pürüzlü yüzeye sahip olanlardan daha dayanıklı oldukları belirtilmiştir. Bu araştırmada en uygun biçimli tanelerin küp veya küreye yaklaşanlar olduğu ortaya çıkmıştır [4].

ACI 211’de hafif agregaya beton üretiminden önce bir ön emdirme uygulamakla taşıma sırasında ufalanmanın azalacağı, agregadaki ayrışmanın önleneyeceği ve beton kıvamının değişmeden kontrol edilebileceği belirtilmiştir. ACI 213’de, en büyük agrega boyutunun beton işlenebilirliğini, iri agrega/kum oranını, çimento dozajını, basınç mukavemetini ve rötresini etkileyebileceği kaydedilmiştir.

Alman normlarında hafif agreganın maximum tane çapı 25 mm ile sınırlandırılmıştır. Yüksek mukavemet elde etmek için 16 mm tane çapının geçilmemesi tavsiye edilmektedir [4].

2.11. Hafif Agregalarda Aranılan Özellikler ve Deneyler

2.11.1. Birim Ağırlık

Deneyde kullanılan hafif agregalar üzerinde TS 3529’da belirtilen “gevşek birim ağırlığın tayini” deneyi uygulandığında bulunacak sonuçlar Tablo 2.1.’deki sınır değerleri geçmemelidir [19].

Tablo 2.1 Hafif agregaların gevşek birim ağırlıkları [19]

Agrega Türü	Gevşek Birim Ağırlık kg/m³
İnce agrega	1200
İri agrega	1000
Karışık agrega	1100

Birim ağırlıkta homojenliği sağlamak için ard arada iki partiden, laboratuara gönderilen numunelerdeki birim ağırlık değerleri arasındaki fark % 10’dan çok olmamalıdır.

Deneyde kullanılacak numune miktarı en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Gerekli deney numunesi miktarları

Tablo 2.2 Birim ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları [20]

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	90	125
Deney Numunesi Miktarı (kg)	5	5	5	5	5	5	5	25	25	50	50

TS 707'ye uygun olarak oluşturulmuş ve hava kurusu durumuna getirilmiş deney numunesi alınır. Sıkışık birim ağırlık bulunacaksa; ölçü kabının ağırlığı belirlenir (W_1). Elimizdeki agrega ölçü kabına 1/3, 2/3 ve 3/3 oranlarında üç tabaka halinde doldurulur. Her tabaka 25 defa şişlenir. Şişleme işlemi sırasında ilk tabaka şişlenirken ölçü kabının tabanına sert olarak vurmaktan kaçınılmalıdır. Üst tabakalar şişlenirken de şişin bir alttaki tabakanın ancak üst yüzeyine girecek kadar şişlenmelidir. En üst tabaka yerleştirildikten sonra üst tabaka düzeltilir ve kap ile birlikte tartılır (W_2).

Agreganın sıkışık birim ağırlığı aşağıdaki formül ile tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanır [20].

$$B_s = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Burada;

B_s = Sıkışık birim ağırlık.

W_2 = Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı.

V = Ölçü kabının iç hacmi.

W_1 = Ölçü kabı boş ağırlığı.

2.11.2. Elek Analizi Sınır Değerleri

Hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı TS 3530'da belirtildiği şekilde tayin edildiğinde **Tablo 2.4'**de gösterilen değerlere uygun olmalıdır [19].

Tablo 2.3 Tane büyüklüğü dağılımı (granülometrik birleşim) tayini için gerekli deney numunesi miktarları [21]

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	90	125
Deney Numunesi Miktarı (kg)	0.5	0.5	0.5	0.5	2	2	8	10	20	20	20

2.11.2.1. Deneyin Yapılması

Deneyde kullanılacak deney numunesi miktarı TS 707'ye uygun ve yaklaşık Tablo 2.4'de gösterilen deney numunesi etüv kurusu durumuna getirilir, tartılarak ağırlığı saptanır, (ΣW). Deney numunesi elek takımının en üstündeki elekten doldurulur. Kapak kapatıldıktan sonra elek sarsma makinesi çalıştırılarak eleme işlemine başlanılır. Bir dakika sarsmadan sonra elek takımının her eleği üzerinde kalan agregaların ağırlık azalmaları %1'den az oluncaya kadar sürdürülür. Eleme işlemi tamamlanınca her elek üzerinde kalan agrega düzgün bir şekilde ayrı ayrı tartılır, (W_k).

Aşağıdaki formülden faydalanılarak yüzdelere hesaplanır.

$$m_{kt} = \frac{W_k}{\Sigma W_k} \times 100(\%) \dots\dots\dots(2.2)$$

Burada;

m_{kt} = Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın yığılımlı ağırlık yüzdesi

W_k = Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın etüv kurusu yığılımlı ağırlığı (g)

ΣW_k = Etüv kurusu deney numunesinin ağırlığı (Toplama kabının yığılımlı ağırlığı) (g) dır.

Şayet istenirse bu deney iri ve ince agrega için ayrı ayrı yapılarak gerekli değerler hesaplanır. Tane büyüklüğü dağılımı tayini TS 707'ye uygun olarak yaklaşık Tablo 2.4 de verilen miktarlarda verilen iki deney numunesine uygulanır. Yığılımlı ağırlık yüzdelерinde, deney sonuçları arasındaki fark iki veya daha küçük ise sonuçların ortalaması alınır. Yığılımlı ağırlık yüzdelерinin herhangi biri için bile olsa fark ikiden büyük ise deney agreganın diğer bölümünden üretilen deney numunesine uygulanır. Bulunan sonuçların her göz açıklığı için en yakın olan iki tanesinin ortalaması yığılımlı ağırlık yüzdesi olarak alınır [21].

Tablo 2.4 Hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı (granülometrik bileşim) (mm) [19]

Tane Sınıfları		Kare gözlü ve kare delikli eleklerden geçen %									
		TS 1227 kare gözlü elek göz açıklıkları					TS 1226 kare delikli elek delik açıklıkları				
		0.125	0.25	0.50	1	2	4	8	16	31.5	63
İnce Agregası	0 / 2	1)	1)	1)	1)	≥ 90	100				
	0 / 4	1)	1)	1)	1)		≥90	100	—	—	—
	2 / 4		≤ 5			≤15 ²⁾	≥90	100			
Karışık Agregası	0 / 8		1)					≥90	100		
	0 / 16	—	1)	—	—	—	—	≥90	100	100	
	0 / 32		1)							≥90	100
İri Agregası	4 / 8		≤ 5				≤15 ²⁾	≥90	100		
	4 / 16		≤ 5				≤15 ²⁾		≥90	100	
	8 / 16	—	≤ 5	—	—	—		≤15 ²⁾	≥90	100	
	16 / 32		≤ 5						≤15 ²⁾	≥90	100
1) Gerektiğinde sınırlandırılabilir.											
2) Kırma agregası için alt tane miktarı en çok %20 olabilir											

2.11.3. Organik Maddeler

Hafif agregada humus ve benzeri organik maddeler ince dağılmış halde iken betonun sertleşmesine zararlı olabilirler. Bu bakımdan TS 3673’de belirtildiği gibi organik kökenli madde tayini deneyi uygulandığında; koyu sarı, kahverengi v.b. koyu renkler meydana gelmemelidir [22].

Standart referans renginden daha koyu renk elde edilmesi halinde bu renk bozukluğunun betona zararı olmayan maddelerden ileri geldiği saptanırsa agregası kullanılabilir [19].

2.11.3.1. Standart Referans Rengin Hazırlanması

2.11.3.1.1. % 3'lük Sodyum Hidroksit Çözeltisi

3 g sodyum hidroksit (NaOH), 100 ml ölçülü bir ölçü kabında damıtık su ile çözülür ve saf su ile 100 ml'ye tamamlanır.

2.11.3.1.2. % 10'luk Metil Alkol Çözeltisi

10 g saf alkol 100 ml Ölçülü bir ölçü kabında damıtık su ile çözülür ve damıtık su ile 100 ml' ye tamamlanır.

2.11.3.1.3. Tannik Asit - Alkol Çözeltisi

2 g tannik asit ($C_{14}H_{10}O_9$) 100 ml ölçülü bir ölçü kabına konur, 100 ml çizgisine kadar %10'luk alkol çözeltisi ilave edilir.

2.11.3.1.4. Standart Referans Renk

2.5 ml tannik asit alkol çözeltisi 100 ml ölçülü bir ölçü kabına konduktan sonra %3'lük sodyum hidroksit çözeltisi ile 100 ml'ye tamamlanır. Renksiz bir şişeye konarak ağzı kapatılır, iyice çalkalanır ve 24 saat bekletilir. 24 saatin sonunda karşılaştırma rengi olarak kullanılır. Rengi zamanla değiştiği için her deney için baştan hazırlanmalıdır.

2.11.3.2. Deneyin Yapılması

Yarım litrelik renksiz standart bir ölçü kabının 1/3'üne kadar ince agrega numunesi doldurulur. Doldurulan bu numunenin üzerine kabın 2/3 hacmi kadar %3'lük sodyum hidroksit çözeltisi katıldıktan sonra kabın ağzı kapatılarak çalkalanır ve 24 saat kendi haline bekletilir. 24 saat sonra çözeltinin rengi ile standart referans renk karşılaştırılarak agrega içerisindeki organik madde miktarı hakkında karar verilir [22].

2.11.4. İnce Madde Oranı

Hafif agrega içinde bulunan ince taneler TS 3527’de belirtilen ince madde oranı tayini deneyi uygulandığında bulunacak sonuçlar Tablo 2.6’da verilenlere uygun olmalıdır [19].

Tablo 2.5 Agregada ince madde oranı [19]

Agrega Tane Sınıfı	İnce Tane Oranı (Ağırlıkça Max.) %
0 / 2, 0 / 4	5.0
0 / 8, 2 / 4	4.0
0 / 16, 0 / 32, 4 / 8, 4 / 16	3.0
8 / 16, 16 / 32	2.0

Tablo 2.6 İnce madde oranı tayini için gerekli deney numunesi miktarları

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	0.25	0.50	1	2	4	8	16	31.5	63	90	125
Deney Numunesi Miktarı (kg)	1	1	1	1	1	2	5	5	5	5	5

2.11.4.1. Deneyin Yapılışı

Deney iki şekilde yapılmaktadır. Bunlardan biri çökeltme metodu diğeri ise yıkama metodudur. Çökeltme metodu yaklaşık metoddur, gerçekçi değerler istenirse yıkama metodu uygulanır. Yıkama metodu iri agregalara uygulanır ancak gerektiğinde ince agregalara da uygulanabilir.

Miktarları Tablo 2.7.’de verilen agregadan TS 707’ye uygun olarak oluşturulmuş deney numunesi etüv kurusu durumuna getirilir ve tartılır (W_1). Yeterli miktarda su ile birlikte çalkalama kabına konur. En az 12 saat su içinde bekletildikten sonra 0.063 mm’den ince tanelerin daha irilerden ayrılmasını sağlamak üzere 5 dakika süre ile kuvvetlice çalkalanır. 8mm, 1mm ve 0.033mm göz açıklı elekler sıra ile dizilir ve çalkalanmış olan deney numunesi suyu ile birlikte en üsteki eleğin içerisine boşaltılır. Çalkalama kabında ince malzeme kalmaması için kap yıkama suyu berrak hale gelinceye kadar yıkanır ve yıkama suyu eleklerden geçirilir.

Eleklerin her üçünün üzerinde kalan agregalar bir araya toplanır etüv kurusu durumuna getirilir ve tartılır (W₂). Değerler aşağıdaki formülde yerine yerleştirilir ve bulunan sonuçlar Tablo 2.6.'daki değerlerle karşılaştırılır (TS 3527, 1980).

$$m_y = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots(2.3)$$

Burada,

m_y = Yıkabilen ince madde oranı (%)

W_1 = Numunenin deney öncesi etüv kurusu ağırlığı (g)

W_2 = Numunenin deney sonrası etüv kurusu ağırlığı (g)

2.11.5. Yanıcı Madde Miktarı

Deneyde 110 ± 5 °C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 24 saat süre ile kurutulmuş 1 kg hafif agreganın 2 mm lik göz açıklıklı elek üzerinde kalıntı bırakmayacak şekilde havanda dövülmesi ile elde edilen numune kullanılır.

Malzemeden yaklaşık 5 g deney numunesi alınarak 1 mg Hassasiyetle tartılır (A_1). Deney numunesi bir porselen kroze konur. 1000 ± 25 °C sıcaklıkta ki bir fırında 1 saat süre ile kızdırılır. Kroze fırından çıkarılır soğutulur ve yanmayan kısmın net ağırlığı bulunur (A_2).

Bulunan değerler formülde yerlerine yerleştirilerek kızdırma kaybı bulunur.

$$Z = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100(\%) \dots\dots\dots(2.4)$$

Bu bağıntıda;

Z = Kızdırma kaybı (%)

A_1 = Numunenin kızdırmadan önceki kütlesi (g)

A_2 = Numunenin kızdırmadan sonraki kütlesi (g)

Hafif agregalarda yanıcı madde miktarı agrega kuru ağırlığının % 5'ini geçmemelidir [19].

2.11.6. Sülfat Miktarı

Hafif agreganın içindeki sülfat tayini TS 3674’de açıklanan deney uygulandığında bulunacak sonuçlar, (SO₃) cinsinden yapıldığında bulunan değer, ağırlıkça %1.0’dan çok olmamalıdır [19].

2.11.6.1. Deneyin Yapılışı

Tane büyüklüğüne bağlı olmaksızın, yaklaşık 1kg malzeme TS 706’ya uygun olarak alınır. Etüv kurusu durumuna getirildikten sonra tümü 2 mm göz açıklıklı tel elekten geçebilecek şekilde öğütülür. Bu malzemeden gelişi güzel olarak 100 g alınır ve 0.09 mm’lik elekten elenir ve yaklaşık 1g 0.0001 g duyarlıkta tartılır (W₀). 250 ml lik bir behere alınır, üzerine 10 ml derişik hidroklorik asit ilave edilir. 110 °C sıcaklıkta, asitin tümü buharlaşmaya kadar ısıtılır. Bu işlem üç kez tekrarlanır, beher ocaktan indirildikten sonra iç yüzeyi yıkanarak 50 ml sıcak saf su ilave edilir ve süzgeç kâğıdından süzülür. Bu işlemde 5 kez tekrarlanır. Bunun üzerine 5 damla hidroklorik asit ile asitlendirilir ve kaynama noktasına kadar ısıtılır. Daha sonra 100 g/l’lik 10 ml baryum klorür çözeltisi damla damla ve karıştırılarak ilave edilir. 90 °C ayarlı su banyosunda ısıtılarak çökme kolaylaştırılır. Su banyosunda en az 3 saat bekletilir, süzgeç kâğıdından süzülür. 800 °C- 900 °C sıcaklıkta kızdırılır. Soğutulur 0.0001 g duyarlıkta tartılır ve ilk ağırlık ile arasındaki fark saptanır (W₁).

Bulunan değerler formülde yerlerine yerleştirilerek sülfat miktarı belirlenir.

$$S = \frac{0.3430 \times W_1}{W_0} \times 100(\%) \dots\dots\dots(2.5)$$

Burada;

S = Agreganın sülfat miktarı (SO₃ olarak %)

W₁= Krozenin, deney bitimi ve deney başlangıcındaki ağırlığı arasındaki fark (g)

W₀= Etüv kurusu durumuna getirilmiş ve öğütülmüş deney numunesinin 0.09mm göz açıklıklı elekten geçen yaklaşık 1 g’lık kısmının ağırlığı (g) [23].

3. TÜRKİYE ve DÜNYADA KAYISI ÜRETİMİ

3.1. Türkiye’de Kayısı Üretimi

Günümüzden 5000 yıl önce Türkistan, Orta Asya ve Batı Çin’de yetiştirilen kayısı, Büyük İskender’in seferleri ile M.Ö. IV. yüzyılda Anadolu’ya getirilerek yetiştirilmeye başlanmış ve Anadolu kayısının ikinci vatanı olmuştur. Kayısı, coğrafik olarak dünyanın hemen hemen her yerine dağılmış olsa da daha çok Akdeniz’e yakın olan ülkelerde, Avrupa, Orta Asya, Amerika ve Afrika kıtalarında yetiştirilmektedir [24].

Dünya yaş ve kuru kayısı üretiminde birinci sırada yer alan Türkiye, gerek kayısı gen kaynakları ve gerekse ekolojik şartlar nedeniyle büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkemizde ağaç sayısı ve üretim miktarı sürekli artış göstermektedir. 1968 Yılında toplam 10 milyon civarında olan kayısı ve zerdali ağaç sayısı 1997 yılında 15 milyona yükselmiştir. Yaş kayısı üretimi ise 1968’de 131 bin ton, 1980’de 160 bin ton, 1992’de 350 bin ton ve 1997 yılında 255 bin ton olarak gerçekleşmiştir. Son otuz yıl içerisinde kuru kayısı üretimi yaklaşık 11 kat artarak 6.750 tondan 74 bin tona yükselmiştir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’den de anlaşılabacağı gibi Türkiye kayısı üretimi yıllara göre iklim şartlarına bağlı olarak büyük bir dalgalanma göstermektedir. Türkiye’de kayısı üretimi yapılan başlıca iller, Malatya, Elazığ, Erzincan, Kahramanmaraş, Kayseri, İçel, Konya, Ankara, Sivas ve Nevşehir’dir. Bu iller içerisinde Malatya, Elazığ, Erzincan, Nevşehir ve Niğde’de kurutmalık, diğer illerde ise sofralık amaca yönelik üretim yapılmaktadır. Son yıllarda Elazığ’ın Baskil, Kahramanmaraş’ın Elbistan, Sivas’ın Gürün ve Adıyaman’ın Gölbaşı ilçelerinde kuru kayısı üretimine yönelik çok sayıda kapama kayısı bahçesi kurulmuştur.

Tablo 3.1 Yıllara göre Türkiye’deki kayısı üretim miktarı [25].

Yıllar	Ağaç Sayısı (Bin Adet)	Yaş Kayısı Üretimi (Ton)	Kuru Kayısı Üretimi (Ton)
1950	5.801	51.045	3.000
1954	6.987	92.159	5.500
1958	7.600	64.656	4.700
1962	8.856	86.800	6.000
1966	9.450	38.800	3.000
1970	10.104	95.000	6.184
1976	10.400	176.000	5.000
1980	10.954	160.000	6.000
1984	12.950	250.000	22.000
1988	12.275	255.000	30.000
1992	13.265	350.000	39.474
1996	14.473	241.000	44.000
2000	15.700	579.000	120.000

Tablo 3.2 Türkiye'nin kayısı ağacı sayısı ve yaş kayısı üretimi [25].

İller	Ağaç Sayısı (Bin Adet)			Yaş Kayısı Üretimi (Bin Ton)			Ortalama Verim (Kg/Ağaç)
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	
Malatya	6.468	6.711	6.714	167.5	324.2	267.8	38
K. Maraş	941	968	958	8.3	11.8	11.8	11
Kayseri	849	836	848	15.3	14.0	13.6	17
Elazığ	711	728	738	29.5	27.7	27.5	39
İçel	658	656	677	37.8	45.8	44.4	65
Erzincan	848	705	607	15.9	21.1	20.6	28
Konya	405	408	408	3.3	8.5	6.9	15
Nevşehir	346	353	348	7.6	11.7	10.7	29
Sivas	433	349	307	10.7	8.7	5.8	24
Ankara	295	332	278	9.2	9.6	9.4	31
Isparta	223	242	247	6.5	9.8	11.6	39
Iğdır	159	158	183	2.1	15.6	15.8	66
Hatay	171	176	169	3.8	4.1	3.2	21
Antalya	130	154	168	4.2	3.5	5.9	30
Afyon	150	152	133	3.3	4.3	5.5	29
Manisa	147	140	140	1.2	1.7	2.2	12
Gaziantep	132	128	123	0.6	1.3	1.5	9
Adıyaman	122	125	124	0.6	1.2	0.7	7
Yozgat	115	119	117	2.6	3.2	3.1	26
Karaman	117	122	126	6.9	6.7	5.5	53
Aksaray	104	104	127	2.4	3.1	2.1	23
Niğde	100	115	119	4.3	4.3	4.5	39
İzmir	112	115	116	3.4	3.1	3.0	28
Kırıkkale	104	108	110	4.2	4.0	3.5	36
Çanakkale	104	105	105	1.1	1.2	1.2	11
Burdur	55	67	68	0.9	0.9	1.0	15
Kars	80	76	68	3.7	3.6	3.9	50
Bitlis	71	71	71	0.7	0.6	0.6	9
Van	38	39	41	0.7	0.8	0.9	20
Türkiye	15.490	15.700	15.640	378	579	517	31

3.2. Dünyada Kayısı Üretimi

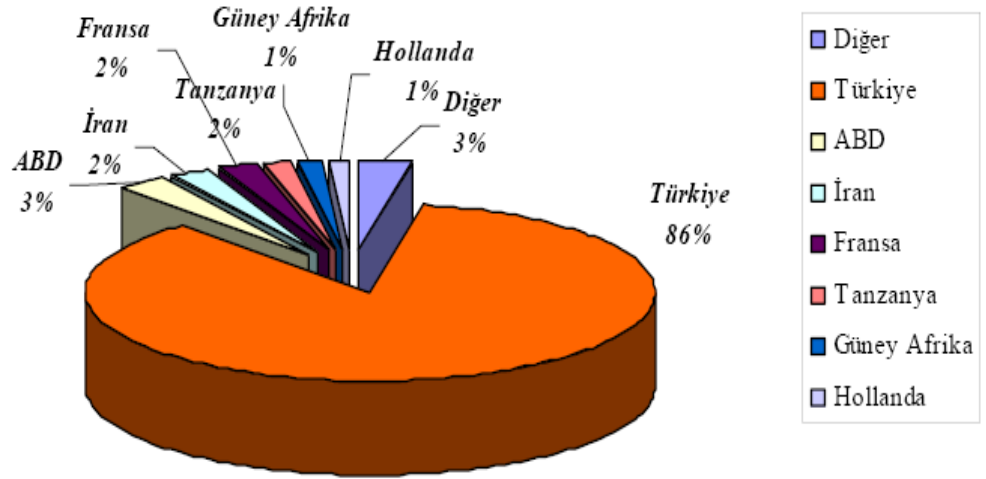
Bir sıcak mutedil iklim meyvesi olmasına karşılık, bugün Sibirya'nın soğuk, Kuzey Afrika'nın subtropik, Orta Asya'nın çöl, Çin ve Japonya'nın nemli iklim bölgelerinde yetişen çok sayıda kayısı türü ve çeşidine rastlamak mümkündür. 1950 Yılında 650 bin ton olan yaş kayısı üretimi, 1990'da 2.2 milyon tona ve 1998'de ise 2.7 milyon tona yükselmiştir. Bugün

yaklaşık 400 bin hektar kayısı üretim alanında 2.0-2.6 milyon ton arasında yaş kayısı üretimi yapılmakta olup hektara verim 6.600 kilogramdır.

Günümüzde kayısı yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı coğrafik alanlar Akdeniz ülkeleri ve Avrupa'dır. Bunların dışında Bağımsız Devletler Topluluğu, ABD, Çin, İran, Güney Afrika Cumhuriyeti, Avustralya, Arjantin, Şili, Fas ve Cezayir'de de önemli miktarlarda kayısı yetiştiriciliği yapılmaktadır. Önemli kayısı üreticisi ülkelerin yaş kayısı üretimleri tablo 3'de verilmiştir

Tablo 3.3 Dünya yaş kayısı üretimi (bin ton) [26].

Ülkeler	Yıllar					
	1961	1998	1999	2000	2001	2002
Türkiye	115	540	378	579	517	580
İran	65	243	241	262	283	283
İtalya	60	136	212	201	194	209
İspanya	110	150	149	126	159	119
Fransa	94	80	181	139	103	172
Pakistan	5	191	121	126	125	125
Fas	5	117	117	106	120	85
ABD	172	108	82	80	75	82
Çin	3	67	75	88	84	83
Yunanistan	22	39	85	82	68	80
Suriye	18	67	63	79	66	101
G. Afrika	22	60	53	57	52	61
Mısır	6	45	43	63	71	71
Cezayir	13	58	74	56	68	67
Irak	8	32	25	22	22	22
Şili	4	21	35	29	21	23
Arjantin	15	28	28	24	25	25
Tunus	12	27	31	38	25	25
Bulgaristan	48	9	11	13	13	13
Libya	0.7	16	16	17	17	17
Hindistan	8	8	9	10	10	10
Dünya	1.318	2.499	2.501	2.753	2.560	2.708



Şekil 3.1 Kuru kayısı ihracatı yapan ülkeler ve dağılımları [24].

Tablo 3.4 Kuru kayısı ithalat ve ihracat rakamları [24].

Kuru Kayısı İhracatçı Ülkeler (ton)			
Ülkeler	1999	2000	2001
Türkiye	55.402	70.252	85.670
ABD	2,266	1.893	2.708
İran	7.210	3.565	2.282
Fransa	1.686	1.776	2.094
Tanzanya	0,434	1.450	1.722
Güney Afrika	1239	0,93	1.280
Hollanda	0,895	0,788	1.237
Dünya	75.013	90.258	106.473
Kuru Kayısı İthalatçı Ülkeler (ton)			
Ülkeler	1999	2000	2001
Rusya F	11.150	25.174	40.950
ABD	15.428	16.618	16.199
İngiltere	8.422	7.659	10.040
Almanya	6.543	7.042	8.620
Fransa	5.932	6.039	6.874
Avustralya	4.685	4.536	5.894
Hollanda	2.850	2.422	3.000
Dünya	79.121	98.362	126.062

Yukarıda belirtilen bilgiler ışığında, ülkemizde kayısı yetiştiriciliğinin diğer ülkelere nazaran çok daha fazla olduğu görülmektedir. Atık malzeme olarak kullanılan kayısı çekirdeği kabuğu da ülkemiz açısından çevresel bir sorun haline gelmektedir. Biriken bu kabukların büyük bir bölümü yakacak olarak bölge halkı tarafından değerlendirilmektedir.

4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

4.1. Hafif Beton Konusunda Daha Önce Yapılan Bazı Araştırmalar

Hafif betonlar konusunda, bu betonların yapımından bugüne kadar yurt dışı ve Türkiye’de çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu araştırmaların bazılarında söz edilmektedir.

4.1.1. Hafif Beton Konusunda Yurtdışında Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar

ACI 213’de belirtildiğine göre, 1917’den önce S.J. HAYDE, killerin sert bir şekil alması için döner bir fırın geliştirmiş ve bu fırında nemlendirilmiş killerle, düşük birim kütleli beton yapmıştır. STRAUB ise I. Dünya savaşı sonrasında, hafif beton yapımında kömür cürufunun kullanılmasına öncelik vermiştir.

Taşıyıcı hafif betonun en eski uygulamalarından biri, I.Dünya savaşı yıllarında kurulan “Emergency Fleet Building Corp” tarafından mavnalı ve gemi yapımında kullanılmasıdır. TUTHILL, II. Dünya savaşı boyunca da hafif beton kullanılarak 105 gemi inşa edildiğini belirtmektedir.

KLUGE ve arkadaşları, Housing and Home Finance Agency’nin desteklemesiyle, National Bureau laboratuvarlarında hafif agrega tiplerinin büyük bir kısmıyla beton yapmışlar ve bu betonların özellikleri belirlemişlerdir.

RİCHART ve JENSEN, WASHA ve WENDT’in yaptıkları çalışmalardan yararlanarak 1950’li yıllardan önce yükün hafifletilmesi amacıyla, hasar görmüş köprü tabliyeleri ve yapı çerçeveleri gibi elemanları hafif beton kullanarak onarmışlardır.

Ponza agregası kullanılarak yapılan hafif betonla ilgili ilk çalışmayı 1949 yılında NIEDERHOFF yapmıştır. Yazar, çalışma alanından temin ettiği ponza agregasıyla beton yaparak, bu betonların özelliklerini ve yapısal davranışlarını incelemiştir.

SHIDELER 1957 yılında, ponza betonu hariç sekiz farklı hafif agrega kullanarak hafif beton yapmıştır. Yazar, karışım oranları, betonların basınç ve eğilme dayanımı, poisson oranı, elastisite modülü ve rötre gibi beton özelliklerini incelemiş ve agregaların her biriyle taşıyıcı hafif beton yapımının mümkün olduğunu, hafif betonlarının poisson oranlarının geleneksel betonunkinin yaklaşık %50 - %80’i civarında olduğunu belirtmektedir.

Betonun çeşitli fazlardan oluşan bir malzeme olarak ele alınıp incelenmeye başlanması, dikkatleri çimento hamurunun yanında, agrega fazının davranışına da çekmiştir. Araştırmacılar,

betonların özellikleri yanında agregalarında özelliklerini de araştırarak agrega-çimento hamuru arasındaki bağın türü ve dayanımıyla da ilgilenmişlerdir.

FARRAN'ın kalsit gibi agrega türleriyle epitaxic kimyasal bağ bulunduğunu gösteren çalışmasından sonra konuya daha fazla ilgi duyulmuştur.

ALEXANDER yaptığı çalışmada, betonun eğilme ve basınç dayanımını, agrega çimento hamuru aderansını, harç eğilme ve basınç dayanımını birlikte incelemiş, beton dayanımları ile diğerleri arasında doğrusal bir ilişki belirlemiştir.

SCHOLER, değişik agregalarla agrega-harç aderansını ve betonun basınç dayanımını incelemiş, aderansı yüksek olan agregalı betonların basınç dayanımlarının da yüksek olduğunu saptamıştır. FAGERLUND ise yaptığı deneysel ve teorik çalışmalar sonunda, agrega-harç aderansının betonun basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

SWAMY ve LAMBERT yaptıkları çalışmalarda, çimento hamuru hafif agrega arasında, boşluklu yapı nedeniyle, iyi bir aderansın olduğunu belirtilmişlerdir.

ZHANG ve GJORV da yaptıkları deneysel çalışma sonunda, hafif agrega yüzeylerinin çok pürüzlü olmasının agrega-çimento hamuru arasındaki aderans dayanımını artırdığını belirtmişlerdir.

GRUBL yaptığı çalışmalarda, harç dayanımının hafif betonun basınç dayanımını artırdığı ama bu artışın az olduğunu belirtmiştir.

HERMAN ve arkadaşları 645 adet geleneksel ve hafif beton numunesi üzerinde yaptıkları çalışmada, dinamik elastisite modülünün agrega başlangıçtaki teğet modülünden %6 daha büyük olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, dinamik elastisite modülünün agrega özelliklerine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

PAUW, hafif ve geleneksel betonların elastisite modüllerini, birim kütle ile basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak düşünmüş ve ilk bağıntıları vermiştir.

NEVILLE basınç dayanımı yüksek olan betonların poisson oranlarının düşük olacağını belirtmektedir. BERGSTROM ve BYFORS ise yaptıkları deneysel çalışmada, betonun basınç dayanımının artmasıyla poisson oranının artış gösterdiğini saptamışlardır.

KLINK, ağır geleneksel ve hafif agregalı beton numuneleri üzerinde yaptığı deneylerde, numunelerin Ortasına yerleştirdiği gömme tipi birim şekil değiştirme ölçerleri yardımıyla, bir eksenli merkezi basınç altında, elastisite modülü ve poisson oranlarını belirleyerek bunlarla ilgili bağıntılar vermiştir. Yazar yaptığı çalışmalarda, betonun gerçek elastik sabitlerinin basınç dayanımı ve birim kütlenin bir fonksiyonu olduğunu ve bunların standart yöntemlerle elde edilenlerden %55 civarında daha büyük olduğunu ifade etmektedir.

Betonarme elamanların eğilme davranışları ve donatı-beton aderansı, konularında betonarme yapı tekniğinin doğuşuyla başlayan ve bugüne kadar devam eden çok sayıda

araştırma gerçekleştirilmiştir. Benzer çalışmalar hafif beton yapımı ile birlikte bu tür betonlar üzerinde de yapılmaktadır. Geleneksel betonların davranışlarının belirlenmesinde kullanılan parametreler, beton yapımında kullanılan agrega türlerine bağlı olduğundan, bunların bazı değişikliklerle hafif betonlarda da kullanılması mümkün olmaktadır.

KONG ve ROBİNS yaptıkları çalışmada 38 adet hafif agregalı betonarme yüksek kirişlerin çatlama ve kırılma yüklerini incelemiştir. Bu çalışmaya göre, hafif agrega ile yapılan betonarme yüksek kirişlerin kırılma yükleri geleneksel betonla yapılanlarınkinden küçük, çatlama yükleri ise daha büyüktür.

AHMAD ve BARKER çalışmalarında, yüksek dayanımlı hafif betonla farklı donatı oranlarına sahip betonarme kirişlerin davranışlarını, PASTOR ve arkadaşlarının, yüksek dayanımlı geleneksel betonla yaptıklarıyla karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir .

MOR, yüksek dayanımlı hafif betonlarla, donatı-beton aderansını incelemiştir. Yazar, beton yapımında silis dumanı da kullanmış ve bu şekilde yaptığı hafif betonla-donatı aderansının geleneksel betonun iki katı olduğunu belirtmiş ve bu sonucu betonun içyapısıyla açıklamıştır.

4.1.2. Yağ Palmiyesi Kabuklarının Agrega Olarak Kullanıldığı Beton

Yağ palmiyesi kabuklarının iri daneli agrega olarak kullanıldığı betonun 56 günlük üç kür koşulundaki işlenebilirliği, yoğunluğu ve basınç mukavemeti gelişimi incelenmiştir. Uçucu külün çimentoyla kısmi yer değiştirmesi de ayrıca çalışılmıştır. Taze OPS betonun daha iyi işlenebilir olduğu bulunmuş iken 28 günlük kuru hava yoğunluğu sıradan betonlardan %19-%20 daha az olduğu rapor edilmiştir. 56 gün sonunda basınç mukavemeti sıradan betonlarınkinden %41-50 daha düşüktür. Bu sonuçlar strüktürel hafif betonun normal değer sınırı içindedir. Uçucu külün normal betondaki etkisinin aksine OPS'li betonun basınç mukavemetini düşürdüğü bulunmuştur.

OPS hafif ve normal büyüklükte, hafif beton konstrüksiyonlarda agrega yerine kullanmak için idealdir. Sert ve organik yapıdadır, kirletici değildir ve beton bileşiminde toksik madde oluşumuna neden olmaz. OPS betonu potansiyel olarak orta basınç mukavemetine ihtiyaç duyulan tretuar, içi dolu duvar ve döşeme panelleri gibi hafif beton uygulamalarında kullanılabilir.

Bu makale 56 günlük periyotta 3 kür koşulunda OPS betonunun basınç dayanımı sonuçlarını rapor etmektedir. Çimento olarak uçucu kül kullanımının basınç mukavemeti üzerindeki etkisi ayrıca araştırılmıştır. Puzzolan olarak uçucu külün, normal beton üzerinde basınç mukavemetini de kapsayan pek çok artırıcı etkisi olduğu görülmüştür.

Agrega olarak OPS: OPS'nin kalınlığı kabuklu yemişin elde edildiği palmyenin türüne bağlı olarak 0.50 mm ile 0.80 mm arasında çeşitlilik gösterir. Onlar bölgesel bir fabrikadan toplanıp taze olarak atılmıştır. Uygulamada değişik türdeki meyveler birlikte işlenir. Bundan dolayı kabuklar çeşitli kalınlıklarda çeşitlenirler. Bu uygulamada kabukların büyük bir kısmı 1,5-2,55 mm kalınlık aralığında çeşitlenmektedir. Kabuklar, yemişin kırılma biçimine bağlı olarak düzensiz şekildedir ve kırık kenarlar pütürlü ve sivridir.

Betonun diğer karışım bileşenleri: Bağlayıcı olarak Malezya'nın sıradan çimentosu, OPS ve Malezya'nın uçucu külü (F sınıfı) ve ince agregalar olarak ocak kumu kullanılmıştır. Kullanılan ocak kumu 2,56 incelik modülüne sahiptir.

Test numuneleri: Bütün numuneler 100 x 100 x 100 mm'lik plastik kalıplara dökülmüş ve 24 saat için plastik tabakayla kaplanmıştır.

Beton numunelerinin çimento miktarı hafif agregalı beton sınırında olan (285 kg/m³'den 510 kg/m³'e) 480 kg/m³'dür. OPS betonun uçucu külün betondaki oranı olan %0, %10 ve %15 için küp numuneler hazırlanmıştır. OPS hariç, kırmataş agregası ile elde edilen benzer beton numuneler hazırlanmıştır. OPS hariç kırık taş agregası ile elde edilen benzer beton numuneler kontrol amaçlı kullanılmıştır.

Taze betonun işlenebilirliği ve 28 günlük kuru hava yoğunluğu (ASTM C567-91)'e uygun olarak bütün örnek grupları için ölçülmüştür. Basınç mukavemetleri maksimum kapasitesi 3000 kN olan otomatik basınç test makinesiyle test edilmiştir. Her test için, her bir değer üç numunenin ortalaması olarak alınmıştır. Basınç mukavemeti testleri betonun dökümünden sonra 3., 7., 28. ve 56. günlerde gerçekleştirilmiştir. Testler Tablo 4'de verilen 3 kür koşulunda gerçekleştirilmiştir.

Bu makale 56 günlük periyotta 3 kür koşulunda OPS betonunun basınç dayanımı sonuçlarını rapor etmektedir. Çimento olarak uçucu kül kullanımının basınç mukavemeti üzerindeki etkisi ayrıca araştırılmıştır. Puzolan olarak uçucu külün, normal beton üzerinde basınç mukavemetini de kapsayan pek çok artırıcı etkisi olduğu görülmüştür.

4.1.3. Hafif Beton Konusunda Türkiye'de Gerçekleştirilmiş Bazı Çalışmalar

Hafif betonlar konusunda Türkiye'de de birçok çalışma yapılmıştır. Teknik literatüre göre, bu çalışmalardan ilki SOKAN tarafından yapılmıştır. SOKAN, TÜBİTAK ve DSİ'nin desteklediği araştırma projesinde, Türkiye'de bulunan bazı doğal hafif agregalar türlerini ve bunların fiziksel özelliklerini belirlemiştir. Daha sonra, söz konusu agregalarla yapmış olduğu betonların 7 ve 28 günlük basınç ve çekme dayanımlarını saptamıştır.

ERCİYES 1963 yılında yaptığı çalışmada ponza agregası ile yaptığı beton duvarların özelliklerini incelemiştir.

ATAN 1967 yılında, tuğla kırığı ile yaptığı hafif betonların çeşitli özelliklerini, diğer bir çalışmada da hafif betonların bir eksenli merkezi basınç altındaki davranışına agrega-harç arasındaki aderansın etkisini incelemiştir.

İHTİYAROĞLU, 1976 yılında, doğal hafif agregalarla yaptığı ve duvar olarak kullanılan hafif beton blokların davranışlarını incelemiştir.

AKMAN ve TAŞDEMİR yaptıkları çalışmalarda, taşıyıcı beton olarak perlit betonunu incelemişler ve perlit agregasıyla taşıyıcı hafif beton yapılmasının zor olduğunu, perlit agregasının iri kısmının geleneksel agregalarla değiştirilmesi halinde bile, beton dayanım belli bir sınırdan öteye çıkarılamayacağını belirtmektedirler.

TURGUTALP 1978'de Sarıkamış yöresi doğal hafif agregasıyla yaptığı betonların tarımsal yapılarda kullanılabilme imkânlarını incelemiştir.

TAŞDEMİR yaptığı çalışmada, taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışlarını incelemiştir. Yazar en büyük agrega boyutu ve çimento miktarını sabit tutarak, agrega granülometrisinin çeşitli bölümlerini ponza agregası ile değiştirerek yaptığı, hafif agregalı normal yarı hafif ve hafif betonlar üzerinde kısa süreli elastik ve elastik olmayan davranışlarını incelemiştir. Bu incelemeye göre, $1m^3$ beton içinde mutlak hacmi aynı kalmak koşulu ile agrega granülometrisinin hangi bölümü hafif agrega ile değiştirilirse değiştirilsin elastisite modülü ve poisson oranının değişmediğini, geleneksel betonun hafif agrega kullanmak suretiyle hafifletilmesi halinde, poisson oranında azalmanın az olduğunu, elastisite modülünde ise azalmanın fazla olduğunu, yarı hafif betonların gelecekte daha yaygın kullanım alanı bulacağını ve bu tür betonlarda granülometrilere göre ince kısmı hafif agrega olanların şekil değiştirme ve basınç dayanımı yönünden daha elverişli olacağını belirtmektedir.

ARGUNHAN çalışmasında, ponza agregasının iri kısmı ve geleneksel kum ile yaptığı hafif betondan betonarme elamanların özelliklerine süper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin etkisini araştırmıştır. Yazar, taşıyıcı hafif betonarme kirişlerde katkı maddesi kullanılmasını taşıma gücünde önemli bir artış sağlamadığını belirtmektedir.

KILIÇ ve KOÇ, Maden şehri güney batısındaki ponza taşının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır.

BARADAN yaptığı çalışmada, kula cürufuna Soma termik santrali uçucu külünü karıştırarak ürettiği hafif betonun kullanılabilirliğini araştırmıştır.

CENGİZHAN, taşıyıcı ponza betonu üzerinde bir inceleme başlıklı çalışmada, ponza agregasıyla yaptığı taşıyıcı betonların basınç ve çekme dayanımlarını, elastisite modülünü ve gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini etkileyen faktörleri ve bu betonun dayanımının zamanla

değişimi ve rötre özelliklerini deney yaparak incelemiştir. Araştırmacı, taşıyıcı ponza betonunun aderans özelliklerini eksenel çekme deneyi ile belirleyerek, bu betonla yaptığı betonarme kirişlerin eğilme, kesme ve sünme davranışlarını incelemiş ve ponza agregasının taşıyıcı beton yapımında kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

5. ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEMELER

5.1. Kayısı Çekirdeği Kabuğu

Bu çalışmada kullanılan kayısı çekirdeği kabukları, Elazığ ve Malatya yrelerinde yetiştirilen kayısıların fabrikalarda kükürtleme işlemi ile kurutulması sonucu ortaya çıkan atık kabuklardan elde edilmiştir. Kükürtleme işlemi sonunda elde edilen kayısı çekirdeği kabukları beton içerisinde agrega olarak kullanılmak için uygun değildir. Bu nedenle deney öncesi kabuklar yıkanarak yüzeyleri kükürtten arındırılmış ve beton içerisinde agrega olarak kullanılmaya hazır hale getirilmiştir.



şekil 5.1 Kayısı ekirdeği kabuğu

Yıkanarak yüzeyleri kükürtten arındırılan kabuklar bilyeli tambur içerisinde kırılarak 0-4 ve 4-8 mm eleklerden geçecek şekilde ğtlmştir. Elde edilen bu kabuklar birim hacim ağırlık ve su emme deneylerine tabi tutulmuştur.



şekil 5.2 Bilyeli tambur

5.2. Portland Çimentosu

Deneylerde Elazığ Altınova Çimento San. T.A.Ş.'nin ürettiği PKÇ/B 42,5 tipi çimento kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 PKÇ 42.5 R Tipi çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik analizleri

Çimentonun kimyasal özellikleri	
Bileşenler	Bileşen miktarları (%)
Silisyum dioksit (SiO_2)	20,4
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	5,61
Demir oksit (Fe_2O_3)	3,27
Kalsiyum oksit (CaO)	63,01
Mağnezyum oksit (MgO)	2,49
Kükürt trioksit (SO_3)	2,26
Klorür (Cl)	0,006
Kızdırma kaybı (K.K.)	1,64
Tayin edilemeyen (T.E.)	1,68
Çimentonun fiziksel özellikleri	
Özgül ağırlık, (gr/cm^3)	3,02
Özgül yüzey, ($\text{cm}^2/\text{gr.Blaine}$)	3470
Hacim genleşmesi, (mm)	7
Priz başlama süresi, (h/dk.)	03:10
Priz sonu, (h/dk.)	04:15
Çimentonun mekanik özellikleri	
2. gün mukavemet, (N/mm^2)	24,2
7. gün mukavemet, (N/mm^2)	43,5
28.gün mukavemet, (N/mm^2)	54,5

5.3. Karma Suyu

İçilebilir nitelikte olan ve TS 500'de beton yapımında kullanımına izin verilen sular, karışım suyu olarak kullanılabilir. Kullanılan suyun sülfat içeriği %1'den, klorür içeriği de %2'den fazla olmamalıdır. Laboratuarda yapılan deneylerde karma suyu olarak PH'ı 7.05 olan üniversitenin şebeke suyu kullanılmıştır. Karma suyu olarak kullanmadan önce suyun dinlenmesi ve $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de olabilmesi için, tam bir gün laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kullanılmıştır.

5.4. Agrega

Deneylerde normal agregası olarak Palu agregası, hafif agregası olarak ise kayısı çekirdeği kabuğu kullanıldı. Deneyde kullanılacak olan karışım hesaplamalarını yapmadan önce kayısı çekirdeği kabuğu ve Palu agregasının bazı özelliklerinin belirlenmesi için deneyler yapıldı.

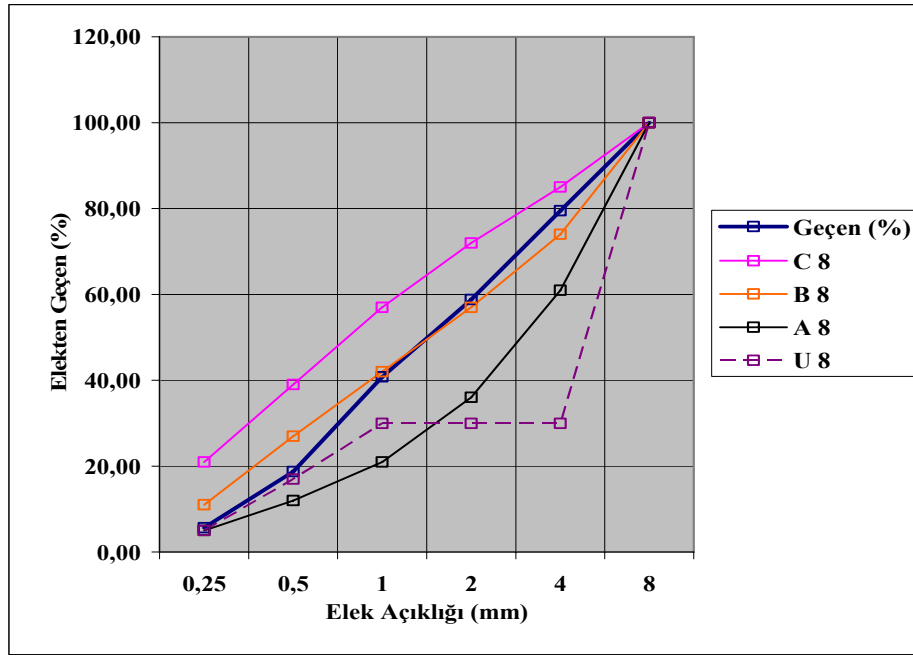
Kayısı çekirdeği kabuğunun, beton mukavemeti üzerindeki etkisi ile ilgili deneylerde maksimum dane çapı 8 mm olan agregalar kullanıldı.

İlk önce TS 802'den yararlanılarak karışım hesaplaması yapıldı. Buna göre numune hazırlandı. Daha sonra karışıma girecek olan kayısı çekirdeği kabuğu miktarının hesaplamasına geçildi. Hesaplamalarda agregası hacmi sabit tutuldu ve hacimsel oranlarda (%0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40) kayısı çekirdeği kabuğu normal agregası ile yer değiştirildi. Bu yer değiştirmede numune karışımı içindeki iri ve ince agregası birlikte yer değiştirilmiştir.

Deneylerde 10x10x10 cm³'lük küp kalıplar kullanılmış ve bütün hesaplamalar buna göre yapılmıştır. Karışım hesaplamaları yapılırken özellikle su miktarının belirlenmesinde kayısı çekirdeği kabuğu doymuş kuru yüzey halde kullanıldığı için su emme yüzdesi dikkate alınmadan hesaplamalar yapılmış, fakat uygulamalarda sabit işlenebilirlik için su oranı artırılmıştır.

Tablo 5.2 Karışıma girecek agreganın granülometrisi

Elek No	Kümülatif (%)		Her Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif Kalan (%)	Kümülatif Geçen (%)
	Geçen	Kalan			
8	100	0	0	0	100
4	63	37	31	31	69
2	47	53	19	50	50
1	30	70	15	65	35
0.5	18	82	15	80	20
0.25	8	92	11	91	9
Kap	-	100	9	100	0



Şekil 5.3 Agregaya ait granülometri eğrisi

Deneylerde kullanılan Palu agregasına ait fiziksel özellikler Tablo 5. 3’de verilmiştir.

Tablo 5.3 Karışıma giren agregaya ait genel özellikler

Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Su emme (%)	Aşınma kaybı (%)	Kil miktarı (%)	Donma kaybı (%)
2.56	4	16.6	2.0	1.83

5.5. Beton Karışım Hesaplamaları

Karışım hesaplamalarındaki bazı değerler TS 802’deki tablolardan alınmıştır. Gerekli görüldüğünde bu değerlerden emin olmak için deneyler yapılmıştır. Ayrıca, karışım hesaplamalarında kullanılan malzemenin su emme miktarları dikkate alınarak karışım suyu miktarı belirlendi.

Karışım hesaplamaları 6,5 cm. çökme değeri için yapıldı. Yapılan slump deneyi sonunda kontrol numunesi için en uygun karışım suyu miktarının 230 kg/m³ olduğu belirlendi. Çimento ; KPÇ 42,5 , γ_c : 3.02 kg/dm³ (kullanılan çimento Elazığ Çimento Fabrikasından alınmıştır.)

$$W/C = 0.55$$

$$230 / C = 0.55 \Rightarrow C = 230 / 0.55 \cong 418 \text{ kg}$$

$$C/\gamma_c = 418 / 3.02 = 138.4 \text{ dm}^3$$

$$\text{Agrega hacmi ; } W_a / \gamma_a = 1000 - (138.4 + 230 + 35) = 597 \text{ dm}^3$$

Tablo 5.4 1 m³ Beton için gerekli malzeme miktarları

Malzeme	Kütle (kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Hacim (dm ³)
Çimento	418	3.02	138
Su	230	1	230
Hava			35
Agrega			
0 - 4 (% 65)	993	2,56	388
4 - 8 (% 35)	535	2.56	209

Tablo 5.5 1 m³ Beton için agrega miktarları

Kabuk Miktarı	İnce Kabuk		İri Kabuk		İnce Agreg.		İri Agreg.	
	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Hacim (%)	($\gamma_a = 1.3 \text{ kg/dm}^3$)		($\gamma_a = 1.3 \text{ kg/dm}^3$)		($\gamma_a = 2.56 \text{ kg/dm}^3$)		($\gamma_a = 2.56 \text{ kg/dm}^3$)	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	388,00	993,28	209,00	535,04
5	19,40	25,22	10,45	13,59	368,60	943,62	198,55	508,29
10	38,80	50,44	20,90	27,17	349,20	893,95	188,10	481,54
15	58,20	75,56	31,35	40,76	329,80	844,29	177,65	454,78
20	77,60	100,88	41,80	54,34	310,40	794,62	167,20	428,03
25	97,00	126,10	52,25	67,93	291,00	744,96	156,75	401,28
30	116,40	151,32	62,70	81,51	271,60	695,30	146,30	374,53
35	135,80	176,54	73,15	95,10	252,20	645,63	135,85	347,78
40	155,20	201,76	83,60	108,68	232,80	595,97	125,40	321,02

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı, eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır.

Beton basınç dayanımını ölçebilmek için değişik deney yöntemleri kullanılmaktadır. Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri arasında en çok kullanılanlar şunlardır:

1. Taze betondan hazırlanan standart boyutlu numunelerin beton standartlarında belirtilen süre ve koşullarda kür edildikten sonra kırılmaya tabi tutuldukları “standart deney yöntemi”.

2. Taze betondan hazırlanan numunelerin bir-iki gün gibi kısa süreyle yüksek sıcaklık ve nem içeren ortamda kür edildikten sonra kırıldıkları “hızlandırılmış küre tabi tutulan numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi”.

3. Sertleşmiş betondan kesilerek çıkartılan karot numunelerin kırılmaya tabi tutuldukları “karot numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi”.

4. Beton test çekici denilen bir alet yardımıyla sertleşmiş betonun yüzey sertliğini hasarsız olarak ölçerek betonun basınç dayanımı hakkında yaklaşık bir bilgi elde edildiği “beton test çekici uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi”.

5. Ultrasonik test cihazı olarak adlandırılan bir cihaz vasıtasıyla sertleşmiş betonun içerisinden hasarsız olarak geçirilen ses dalgalarının hızının ölçüldüğü ve betonun basınç dayanımı hakkında yaklaşık bir bilgi elde edildiği “ultrasonik test cihazı uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi”.

Yukarıda sıralanmış olan yöntemler incelendiğinde şu gerçekler göze çarpmaktadır:

a) “Standard deney yöntemi” ve “hızlandırılmış küre tabi tutulan numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi” olarak belirtilen iki ayrı yöntemde de kullanılan numunelerin hazırlanması için, beton taze iken istenilen boyutlardaki kalıplara doldurulmakta, standartlarda belirtilen tarzda kür edilmektedir. Yani, numuneler özel olarak üretilmektedir.

b) “Karot numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi”, “beton test çekici uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu yöntem” ve “ultrasonik test cihazı uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu yöntem” için taze betondan standart boyutlu numune üretmeye gerek yoktur. Bu yöntemler, yapıda, yerinde uygulanabilen yöntemlerdir.

c) “Standard deney yöntemi”, “hızlandırılmış küre tabi tutulan numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi”, ve “karot numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi” olarak adlandırılan üç ayrı yöntemde de beton numuneler kırılmaya tabi tutulmaktadırlar.

d) “Beton test çekici uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi”nde ve “ultrasonik test cihazı uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi”nde beton kırılmaya tabi tutulmamaktadır. O nedenle, bu tür deney yöntemlerine “hasarsız deney yöntemleri” denilmektedir.

Betonda araştırılan değişik dayanım türleri arasında mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan ve en popüler olanı, basınç dayanımıdır. Bunun nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1) Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri, diğer dayanım türlerinin bulunabilmesi için uygulanan yöntemlerden daha basittir,

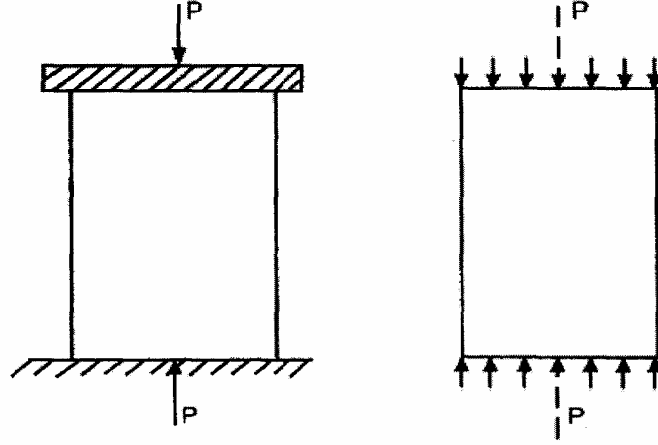
2) Hemen hemen tüm yapıların tasarımında, betonun basınç dayanımı değeri esas alınmaktadır. Birçok yapıda, betonun önemli miktarda çekme, eğilme, yorulma gibi değişik yüklere maruz kalmayacağı varsayılmakta ve betonun üzerine gelen en önemli yüklerin basınç yükleri oldukları kabul edilerek hesap yapılmaktadır.

3) Betonun basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında, yaklaşık da olsa, bir korelasyon bulunmaktadır. O nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde, diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bir fikir elde edilebilmektedir.

4) Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamaktadır.

Standard deney yönteminin uygulanmasında beton standartlarında belirtilen boyutlara sahip standart silindir veya küp numuneler kullanılmaktadır. Bu numuneler beton taze iken silindir veya küp şekilli kalıplara, beton standartlarının belirttiği tarzda, yerleştirilmekte ve bir gün sonra kalıplarından çıkartılmaktadır. Kalıplarından çıkartılan sertleşmiş beton numuneleri, deney tarihine kadar (genellikle betonun yaşı 28. güne gelinceye kadar) beton standartlarının belirttiği kür ortamında saklandıktan sonra, deney presi olarak adlandırılan bir alet vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır (Şekil 6.1).

Yapılan bu çalışmada, deneysel sonuçlar tablolar halinde yazılırken bazı kısaltmalar kullanılmıştır. Kayısı çekirdeği kabuğu ilaveli beton “K” harfi ile, beton içerisindeki kayısı çekirdeği içeriği ise K harfinin yanında sayısal bir değerle belirtilmiştir. Örneğin; K5= %5 kayısı çekirdeği kabuğu ilaveli beton.



Şekil 6.1 Beton Numuneye Basınç Yüğü Uygulanması

Basınç dayanımı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(6.1)$$

Burada;

σ = Basınç dayanımı (maksimum basınç gerilmesi),

P = Numunenin kırılmasına yol açan maksimum yük miktarı,

A = Numunenin kesit alanı'dır.

Basınç deneylerinde bulunan neticelerin birbiri ile mukayese edilebilmesi ve mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın değerlerin elde edilebilmesi için bazı şartların gerçekleşmesi gerekir. Bunlardan en önemlisi betonun yüzeyi ile aletin tablası arasında iyi bir intibakın sağlanmasıdır. Bu bakımdan küp şeklindeki numunelerin hazırlanmasında çelik veya metal kalıplar kullanılmalıdır. Bu kalıplara dökülen betonun yan yüzleri, gayet düzgün olan kalıp yüzeyi ile temasta olmasının bir sonucu olarak, son derece düzgündür. Deney esnasında kuvvet bu yan yüzeylere dik doğrultuda uygulanmak sureti ile yapılır. Bu durumda gayet düzgün olan yan yüzeyler aletin tablasına iyi bir şekilde intibak eder veya beton yüzeyinin her noktası tabla ile temas halinde bulunur. Böylelikle deney esnasında bir gerilme yığılması meydana gelmeden mukavemet tayin edilir. Küp şeklinde beton numunelerinin hazırlanmasında ahşap kalıpların kullanılması doğru değildir. Bu kalıpların kullanılması halinde beton yüzeylerinde düzgünlük sağlanmadığında mukavemetin düşmesine yol açar [14].

Bu çalışmada kayısı çekirdeği ilaveli beton ve kontrol numuneleri hazırlanırken, karışıma girecek malzemeler düşey eksenli karıştırmalı 30 dm³ kapasiteli betoniyerde iki dakika

süre ile kuru olarak karıştırılmış sonra karışım suyu ilave edilmiş ve aynı betonyerde iki dakika daha karıştırılarak kalıplara dökülmeye hazır hale getirilmiştir.

Üretilen betonlar, içleri önceden yağlanmış üç adet 10 cm küp kalıplara iki tabaka halinde ve sarsma tablasında sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Kalıplardaki beton oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra kalıplardan alınarak 28 gün süre ile 20 °C'deki kür havuzunda bekletilmiştir. Numuneler 28 günün sonunda havuzdan çıkartılmış ve oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra basınç deneyi yapılmıştır.



Şekil 6.2 Numunelerin hazırlanması ve kalıplara yerleştirilmesi

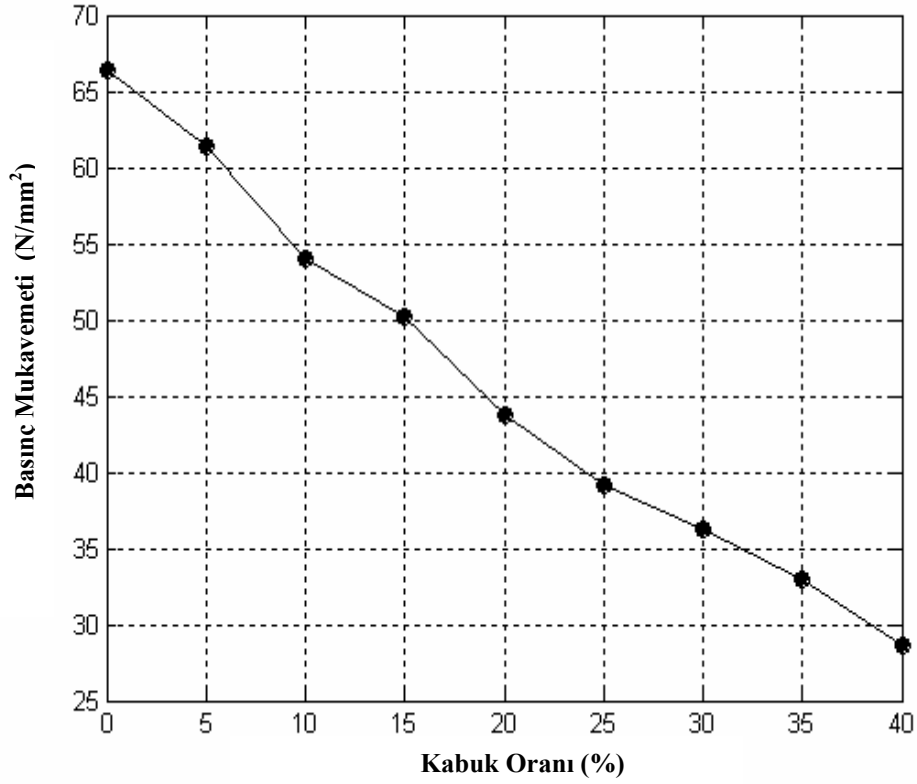
Hazırlanan basınç numuneleri 28. günün sonunda ELE marka preste 3 KN/sn hızla kırılarak, beton basınç dayanımları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.1 ve Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.3 Kalıplardan çıkarılmış numuneler ve basınç presine yerleştirilmesi

Tablo 6.1 Numunelerin basınç dayanımları

Numune	Kabuk İçeriği (%)	Maksimum Yük (KN) (KN)			Ortalama Yük (KN)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Azalma Oranı (%)
		1	2	3			
Kontrol	0	670,2	645,0	677,1	664,1	66,41	-
K5	5	642,3	598,3	602,0	614,2	61,42	7.5
K10	10	540,3	549,0	532,5	540,6	54,06	18.5
K15	15	502,0	488,7	514,4	501,7	50,17	24.5
K20	20	454,0	435,0	424,7	437,9	43,79	34
K25	25	379,2	406,0	391,1	392,1	39,21	41
K30	30	358,0	356,7	373,7	362,8	36,28	45
K35	35	318,4	310,0	360,7	329,7	32,97	50
K40	40	291,5	283,5	283,0	286,0	28,60	57

**Şekil 6.4** Beton numunelerin basınç dayanımları

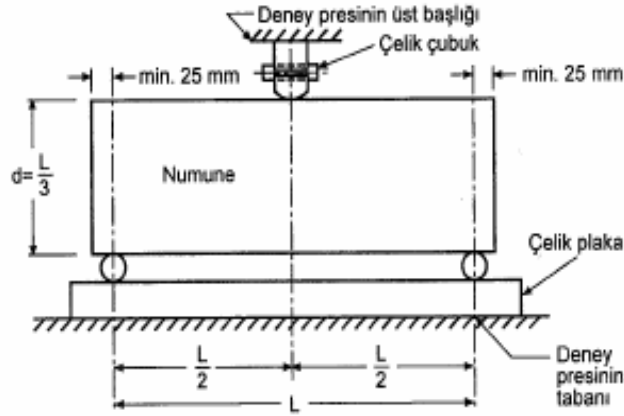
6.2. Eğilme Dayanımı

Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi ile ilgili Türk ve ASTM standartları şunlardır TS 3284, TS 3285, ASTM C 293, ve ASTM C 78 [27-30].

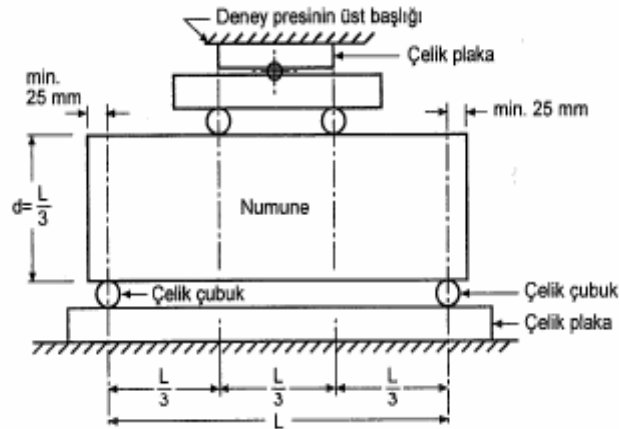
Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi için kiriş numuneler hazırlanmakta ve Şekil 6.5 veya Şekil 6.6'da görülen düzenleme ile eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır.

TS 3285 ve ASTM C 293, beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki mesafenin orta noktasından ($L/2$ mesafesinden) yüklenmesi durumundaki deney yöntemini açıklamaktadır [28, 29].

TS 3284 ve ASTM C 78'de ise, beton kirişin oturtulduğu mesnetlerden $L/3$ uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi durumundaki deney yöntemi anlatılmaktadır [27, 30].



Şekil 6.5 Kirişin orta noktasından yüklenmesi durumu



Şekil 6.6 Kirişin uçlarından $L/3$ oranında yüklenmesi durumu

Eğilme dayanımı deneylerinde genellikle kare kesitli kirişler kullanılmaktadır. Numunelerin hazırlanması için kalıplara yerleştirilen taze beton sıkıştırılmakta ve deney gününe kadar 23 ± 2 °C sıcaklıkta ıslak küre tabi tutulmaktadır. Bu deneyle, Şekil 6.4 ve 6.5’de gösterildiği gibi, numune kırılıncaya kadar eğilme yükü uygulanmaktadır.

Beton kiriş numunelerde kırılmaya neden olan yük deney presinin göstergesinde okunduktan sonra, eğilme dayanımının hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmaktadır

$$\sigma_e = \frac{M_c}{I} \dots\dots\dots(6.2)$$

Burada;

σ_e = Eğilme dayanımı

M = Maksimum moment

c = Tarafsız eksen ile kiriş yüksekliğinin en uç noktası arasındaki uzaklık

d = Kiriş kesitinin yüksekliği

b = Kiriş kesitinin eni

I = Atalet momenti

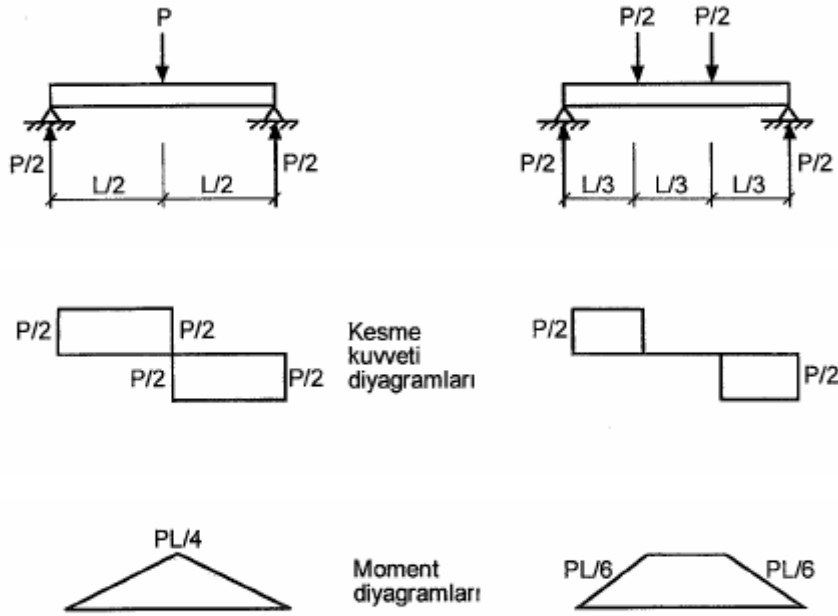
Beton kiriş numunelerinin orta noktadan yüklenmeleri durumunda oluşacak maksimum moment değeri ile mesnetlerden L/3 uzaklıklarda yüklenmeleri durumunda oluşacak maksimum moment değeri farklı olmaktadır. O nedenle, bir beton kiriş numunesinin orta noktadan veya mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi sonucunda hesaplanan gerilme dayanımı farklı değerlerde olmaktadır.

Orta noktadan yüklenen dikdörtgen beton kiriş numunelerde ($\sigma_e = \frac{M_c}{I}$ formülüne uyularak) eğilme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(6.3)$$

Mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde ise, eğilme dayanımının hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmaktadır

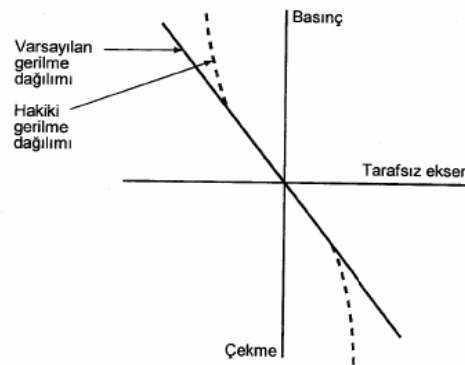
$$\sigma_e = \frac{PL}{bd^2} \dots\dots\dots(6.4)$$



Şekil 6.7 Orta ve Üçte bir noktadan yükleme durumunda kesme ve moment diyagramları

Eğilme yükü altında kiriş kesitinde oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin dağılımı ($\sigma = \frac{M_c}{I}$ formülü uyarınca) Şekil 6.8'deki koyu çizgilerde gösterilmektedir. Tarafsız eksen den uzaklaştıkça gerilme daha büyük olmaktadır. Yani, kirişteki en büyük çekme gerilmesi, kiriş kesitinin alt bölgesinde oluşmaktadır. Aslında, hesaplanan gerilme değerleri koyu çizgilerdeki gibi olmasına rağmen beton kirişlerde yer alan gerçek dağılım, nokta nokta çizgilerle gösterildiği gibidir.

Eğilme yüküne maruz kalan beton kirişte yer alan kırılmaya, betonun tarafsız eksenin altında oluşan çekme gerilmeleri neden olmaktadır. Bunun nedeni ise, betonun oldukça düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır. 0 bakımından, beton kirişlerde elde edilen eğilme dayanımı değeri, aslında, betonun çekme dayanımını işaret etmektedir.



Şekil 6.8 Eğilmeye maruz kalan kirişin kesitindeki gerilme dağılımı

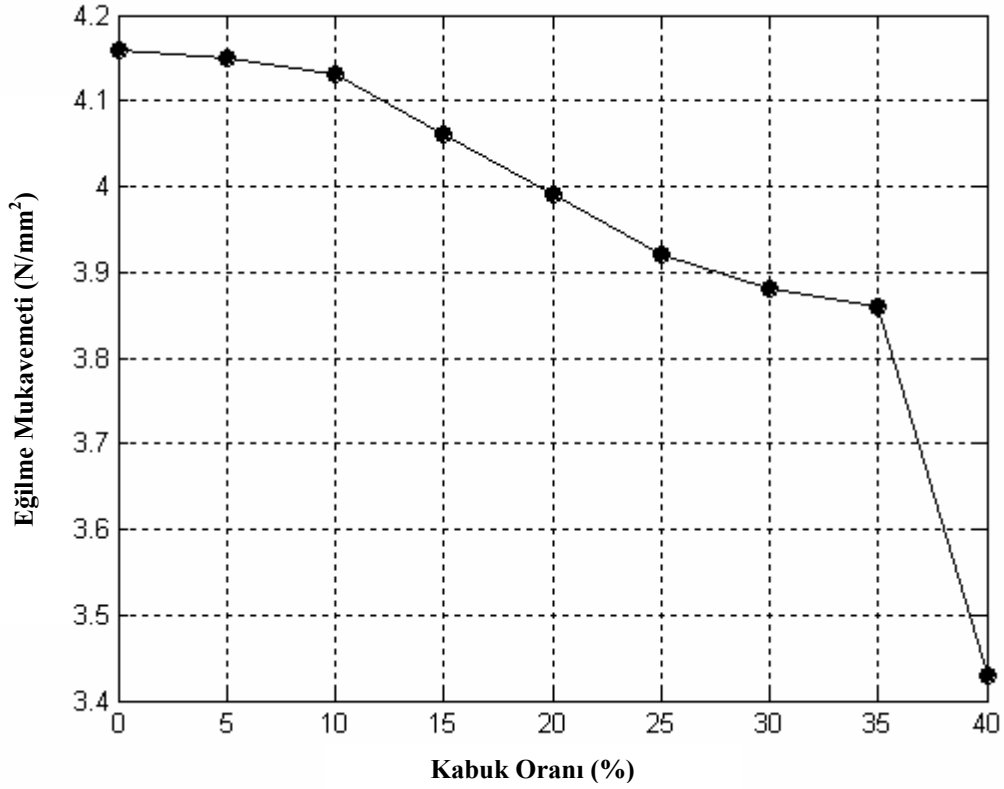
Daha önce bahsedildiği gibi, beton kirişlerin eğilme dayanımlarının bulunabilmesinde, kirişler mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenebildikleri gibi, L/2 uzaklıktaki (ortadaki) tek noktadan da yüklenebilmektedir. İki noktadan yükleme durumunda oluşan moment ve buna bağlı olarak hesaplanan eğilme dayanımı değeri, tek noktadan yükleme durumundaki değerlerden daha düşüktür.

Betonların eğilme dayanımının araştırılmasında genellikle kullanılan yükleme yöntemi, yükün mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan uygulandığı yöntemdir. Bunun nedeni, Şekil 6.7’de görülebileceği gibi, iki noktadan yükleme durumunda oluşan maksimum momentin kirişin oldukça uzun bir bölümünde (ortadaki L/3 bölgesinde) üniform etki göstermesi ve de bu bölümün, kesme kuvvetleri etkisinde bulunmuyor olmasındandır. Tek noktadan yüklenme durumunda, maksimum moment sadece kirişin ortasında etkili olmaktadır. Orta noktadan uzaklaşıldıkça momentin değeri ve etkisi azalmaktadır. Oysa iki noktadan yükleme durumundaki maksimum moment çok geniş bir bölgede etkili olmakta ve bu bölgedeki betonda yapısal zayıflıkların bulunma olasılığı daha yüksek olmaktadır [31].

Hazırlanan eğilme numuneleri 28. günün sonunda ELE marka preste 0,2 KN/sn hızla kırılarak, beton eğilme dayanımları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.2’de ve Şekil 6.9’da verilmiştir.

Tablo 6.2 Numunelerin eğilme dayanımları

Numune	Kabuk İçeriği (%)	Maksimum Yük (KN)			Ortalama Yük (KN)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Azalma Oranı (%)
		1	2	3			
Kontrol	0	5,562	5,568	5,550	5,560	4,17	-
K5	5	5,538	5,536	5,526	5,533	4,15	0.5
K10	10	5,51	5,503	5,507	5,507	4,13	0.9
K15	15	5,42	5,412	5,408	5,413	4,06	2.6
K20	20	5,326	5,321	5,313	5,320	3,99	4.3
K25	25	5,224	5,228	5,228	5,227	3,92	5.9
K30	30	5,176	5,171	5,173	5,173	3,88	6.9
K35	35	5,15	5,143	5,147	5,147	3,86	7.4
K40	40	4,573	4,568	4,579	4,573	3,43	17.7



Şekil 6.9 Numunelerin eğilme dayanımları

6.3. Taze ve Sertleşmiş Betonun Birim Ağırlıkları

6.3.1. Taze Betonun Birim Ağırlığı

Birim ağırlık, kelime anlamından da anlaşılacağı gibi, bir birim hacim içerisinde yer alan taze betonun ağırlığını belirtmektedir. Betonun birim ağırlığı, genellikle, kg/m^3 veya ton/m^3 olarak ifade edilmektedir.

Betonun birim ağırlığının düşük veya yüksek olması, betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve beton içerisinde yer alan boşluk miktarına bağlı olmaktadır. Özgül ağırlığı yüksek olan agregaların oluşturduğu betonun birim ağırlığı da yüksek olmaktadır. Öte yandan, içerisinde daha çok hava boşlukları bulunduran betonun birim ağırlığı daha düşük olmaktadır.

Betonu oluşturan agregaların gradasyonunun iyi olmaması, maksimum agrega tane boyutunun küçük olması, taze betona sıkıştırılma işleminin yeterince yapılmamış olması ve beton içerisine sürüklenen hava miktarının çok olması, beton içerisindeki boşlukların miktarını

artıran ve dolayısı ile taze betonun birim ağırlığının düşük olmasına neden olan başlıca faktörlerdir.

Taze betonun birim ağırlığının bilinmesi, beton karışım hesapları için gereklidir. Bunun yanı sıra, taze betonun birim ağırlığının ölçülmesi, üretilen beton kalitesini kontrol amacıyla sık sık uygulanan bir işlem durumundadır.

Taze betonun, kendi içerisinde veya aynı malzemelerle ve malzeme oranları ile üretilmiş diğer betonlarla benzer özellikler göstermesi gerekmektedir. Bu benzerliği kontrol edebilmek için kullanılan yöntemlerden birisi de, beton numunelerinin birim ağırlıklarını bulma ve karşılaştırma yöntemidir. Bulunan birim ağırlıkları arasındaki fark standartlarda belirtilen değerden fazla olmamalıdır.

Taze betonun birim ağırlığını bulabilmek için, 7.5 cm veya daha yüksek çökme değerine sahip olan taze beton, hacmi bilinen bir kap içerisine yaklaşık üç eşit kademede doldurulmaktadır. Her kademedeki beton, 1.6 cm çaplı bir çelik çubuk ile 25'er kez şişlenmektedir.

Şayet, betonun çökme değeri 7,5 cm'den az ise, kap içerisine doldurulan beton iki eşit kademede yerleştirilmekte ve her kademedeki beton, dahili vibratör ile sıkıştırılmaya tabi tutulmaktadır.

Hacmi bilinen bir kap içerisine yerleştirilen ve sıkıştırılma işlemi yapılan betonun yüzeyi düzeltildikten sonra, kap içerisinde bulunan betonun net ağırlığı bulunmaktadır [32].

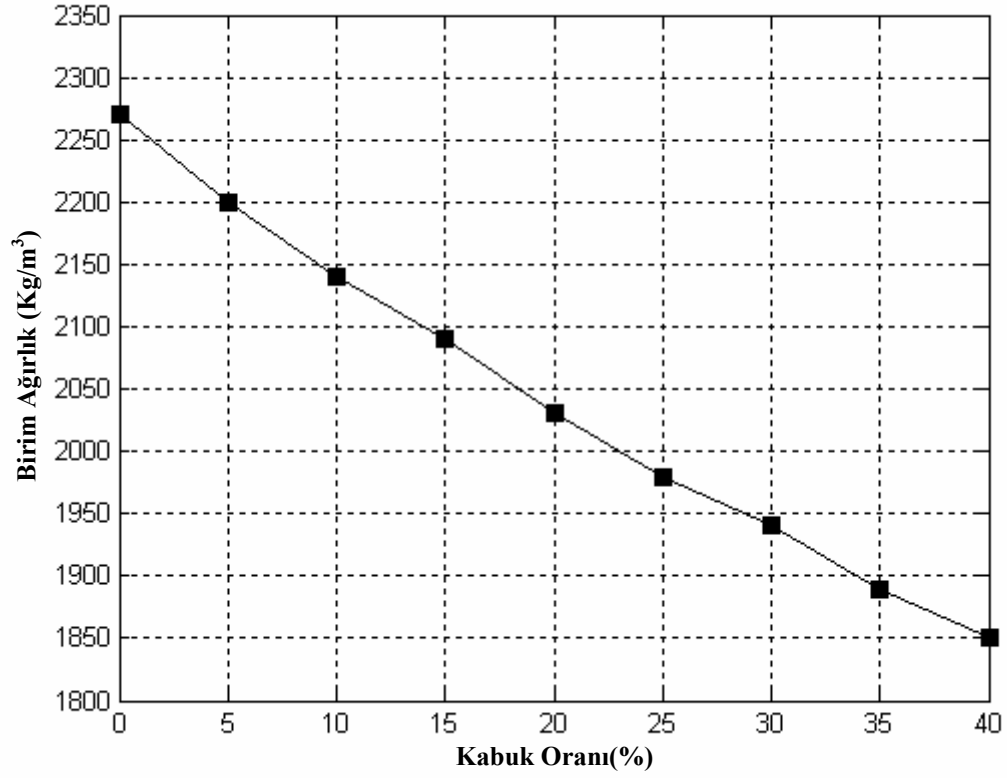
Birim ağırlık değeri, aşağıdaki ilişkiye göre hesaplanmaktadır:

$$\text{Birim Ağırlık} = \text{Betonun ağırlığı} / \text{Kabın iç hacmi}$$

Bu çalışmada hazırlanan beton numunelerin taze halde iken birim ağırlıkları belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 6.3'de ve Şekil 6.10'da verilmektedir.

Tablo 6.3 Taze beton numunelerinin birim ağırlıkları

Numune	Kabuk İçeriği (%)	Ağırlık (gr)			Ortalama Ağırlık (gr)	Birim Ağırlık (Kg/m ³)	Azalma Oranı (%)
		1	2	3			
Kontrol	0	2278	2272	2260	2270	2270	-
K5	5	2195	2206	2199	2200	2200	3.1
K10	10	2143	2135	2142	2140	2140	5.7
K15	15	2087	2095	2088	2090	2090	7.9
K20	20	2037	2025	2028	2030	2030	10.6
K25	25	1984	1971	1985	1980	1980	12.8
K30	30	1936	1945	1939	1940	1940	14.5
K35	35	1875	1898	1897	1890	1890	16.7
K40	40	1852	1839	1859	1850	1850	18.5



Şekil 6.10 Taze beton numunelerinin birim ağırlık değişimleri

6.3.2. Sertleşmiş Betonun Birim Ağırlığı

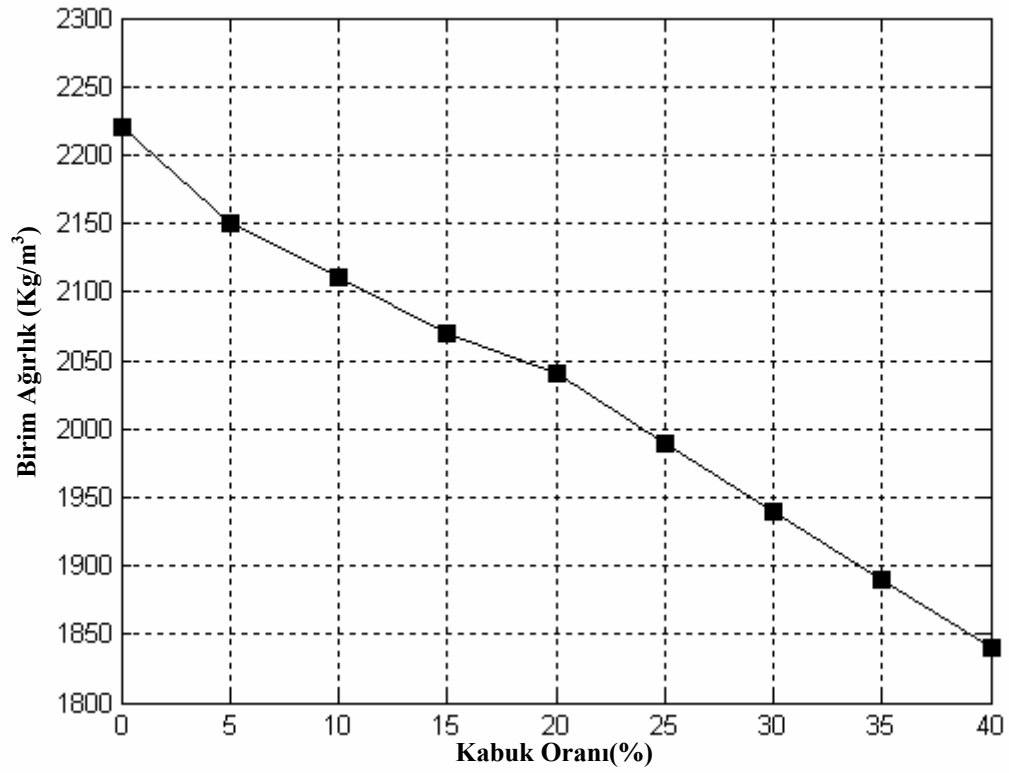
Yapılan deneysel çalışmada sertleşmiş betonun birim ağırlığını tayin edebilmek için 28 gün sonunda kürden çıkarılan beton numuneleri havada kurumaya bırakıldı. Kuruyan beton numunelerin boyutları kumpas ile ölçülerek hacmi belirlendi. Hacmi belli numuneler tartılarak aşağıdaki formül yardımıyla TS 2941'e göre birim ağırlıkları tayin edildi [33].

$$\text{Birim Ağırlık} = \text{Numune Ağırlığı} / \text{Numune Hacmi}$$

Deneyler sonunda elde edilen birim ağırlık değerleri Tablo 6.4'de ve Şekil 6.11'da verilmektedir.

Tablo 6.4 Numunelerin 28 günlük birim ağırlıkları

Numune	Kabuk İçeriği (%)	Ağırlık (gr)			Ortalama Ağırlık (gr)	Birim Ağırlık (Kg/m ³)	Azalma Oranı (%)
		1	2	3			
Kontrol	0	2275	2207	2178	2220	2220	-
K5	5	2143	2158	2149	2150	2150	3
K10	10	2089	2117	2124	2110	2110	5
K15	15	2062	2075	2073	2070	2070	7
K20	20	2038	2047	2035	2040	2040	8
K25	25	1986	1995	1989	1990	1990	11
K30	30	1934	1951	1935	1940	1940	13
K35	35	1852	1900	1918	1890	1890	15
K40	40	1837	1846	1837	1840	1840	17

**Şekil 6.11** Numunelerin 28 günlük birim ağırlık değişimleri

6.4. Kayısı Çekirdeği Kabuğunun Fiziksel Özellikleri

6.4.1. Özgül Ağırlık

Doygun kuru yüzey halindeki kayısı çekirdeği kabuklarının özgül ağırlıklarını tayin etmek amacıyla 400 gr'lık numune ölçü kabı yaklaşık 20 °C deki su ile 500 cm³ işaret çizgisine kadar dolduruldu. Ölçü kabına hafifçe vurularak ve döndürülerek kayısı çekirdeği kabukları arasındaki hava kabarcıklarının tamamen dışarı çıkması sağlandı. Ölçü kabında artan suyun hacmi tartılan kabukların hacmi olarak belirlendi ve aşağıdaki formüle göre özgül ağırlık belirlenmiştir. Deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

$$\text{Özgül Ağırlık} = \text{Numune Ağırlığı} / \text{Numune hacmi (gr/cm}^3\text{)}$$

Tablo 6.5 Kayısı çekirdeği kabuğunun özgül ağırlıkları
Kayısı Çekirdeği Kabuğunun Özgül Ağırlığı (gr/cm³)

İnce Kabuk (0-4 mm)	1.30
İri Kabuk (4-8 mm)	1.30

6.4.2. Su Emme Kapasitesi

Su emme, suyun tanelerdeki boşluklara nüfuz ederek emilmesi sebebiyle, etüvde kurutulmuş agrega numunesinin kütleinde meydana gelen artıştır. 105 ± 5 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde bekletilen kabuklar yaklaşık 20 °C deki su içerisinde sırası ile 1, 2, 3 gün süre ile bekletildi. Her günün sonunda doymuş kuru yüzey haline getirilen kabukların su emme oranları aşağıdaki formüle göre hesaplandı. 3. günden sonraki günlerde kabukların kütlelerinde artış gözlenmediği için deneye son verildi. Kabukların su emme kapasitesi tablo 6.6'da verilmiştir.

$$\text{Su Emme Kapasitesi (\%)} = \text{Numunenin Emdiği Su Ağırlığı} / \text{Numunenin Etüv Kuru Ağırlığı}$$

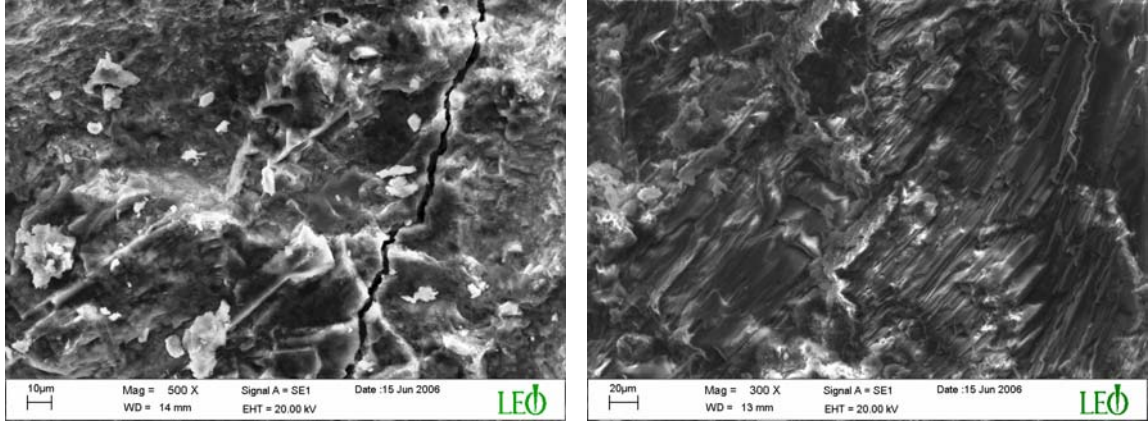
Tablo 6.6 Kayısı çekirdeği kabuğunun su emme kapasitesi

Kayısı Çekirdeği Kabuğunun Su Emme Kapasitesi (%)	
1. Gün	7.5
2. Gün	9.8
3. Gün	10

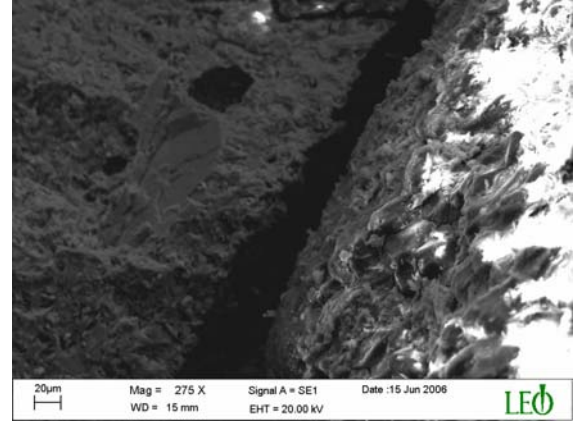
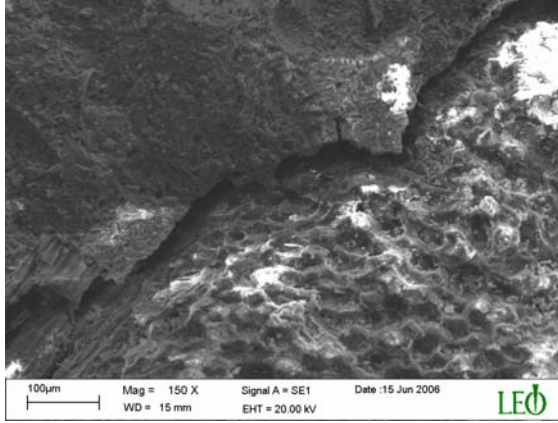
6.5. Mikroskopik Analiz

Beton içerisine agrega yerine hacimce %5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında kayısı çekirdeği kabuğu katılarak hafif beton elde edilmeye çalışılan bu çalışmada, numunelerin mikroskopik çalışmaları yapılmıştır. Basınç presinde kırılan numunelerin kırılma yüzeylerinden alınan parçalar, çimento harcı ile kayısı çekirdeği kabuğu arasındaki bağ kuvvetlerinin değerlendirilmesi amacıyla, SEM ve EDX analizlerine tabi tutuldu. Yapılan analiz sonuçları şekil 6.12-6.16'da verilmiştir.

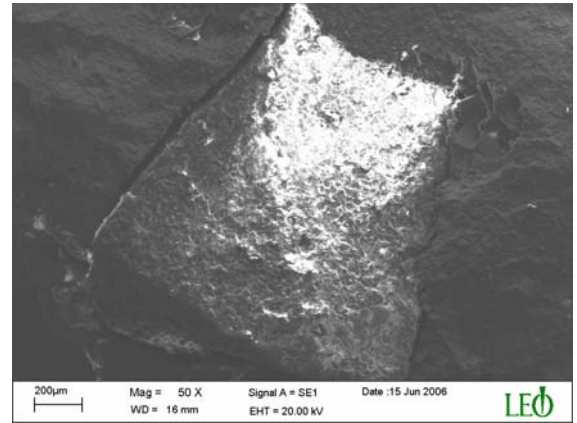
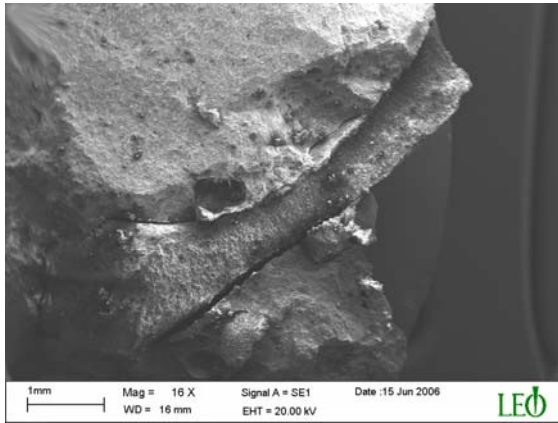
6.5.1. SEM Analizi



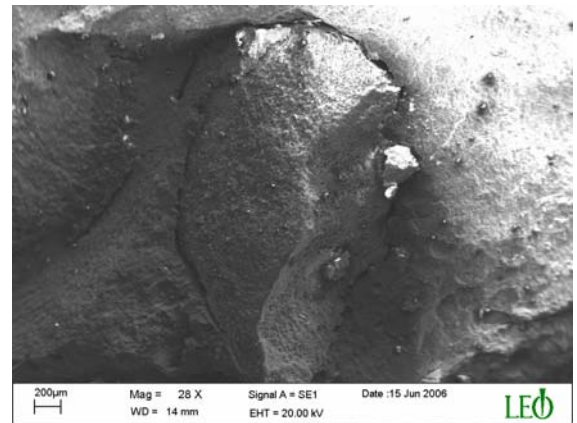
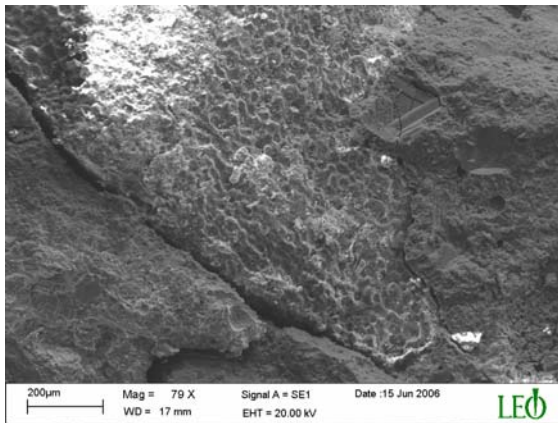
Şekil 6.12 Kontrol betonun SEM görüntüleri



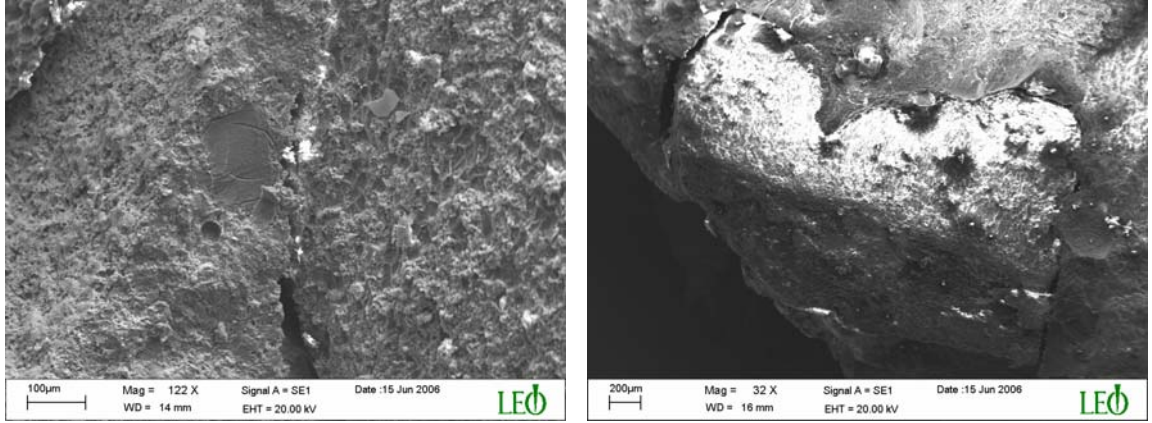
Şekil 6.13 %10 Kabuk içeren beton



Şekil 6.14 %20 Kabuk içeren beton



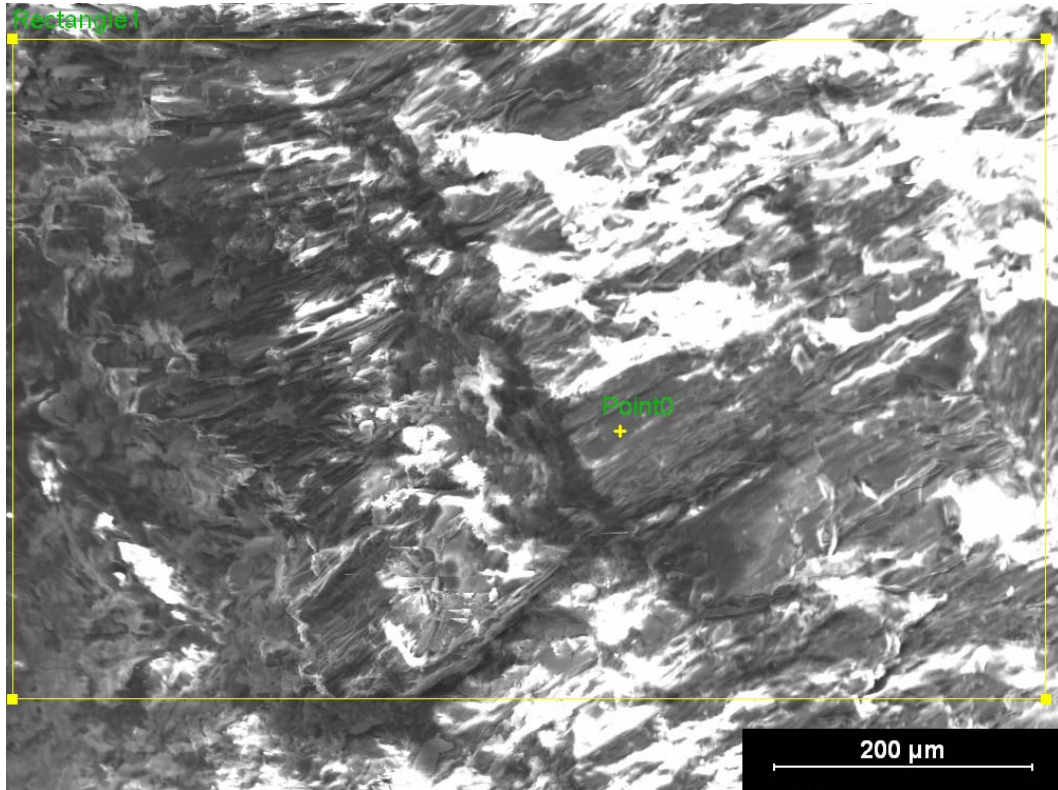
Şekil 6.15 %30 Kabuk içeren beton



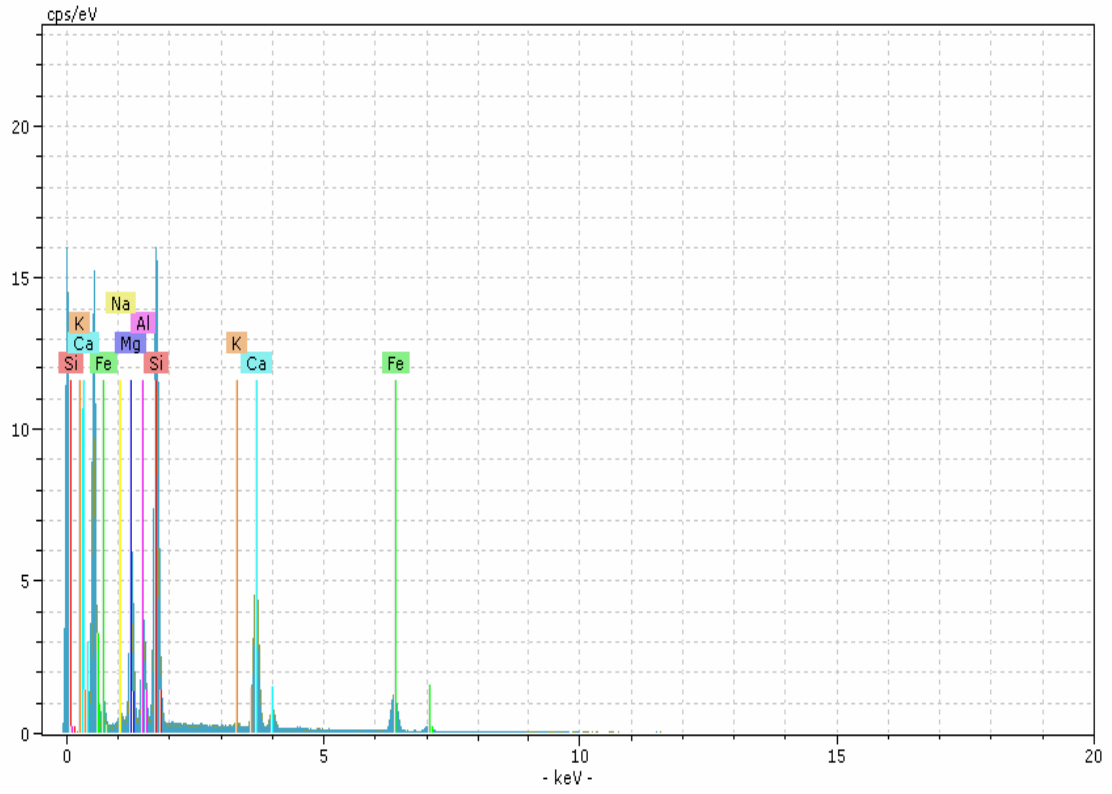
Şekil 6.16 %40 Kabuk içeren beton

Şekil 6.12-6.16’da hacimce %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında kayısı çekirdeği kabuğu ilaveli betonların SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı gibi, kayısı çekirdeği kabuğu ile beton arasındaki arayüzeyin yapışma özelliği oldukça zayıftır.

6.5.2. EDX Analizi



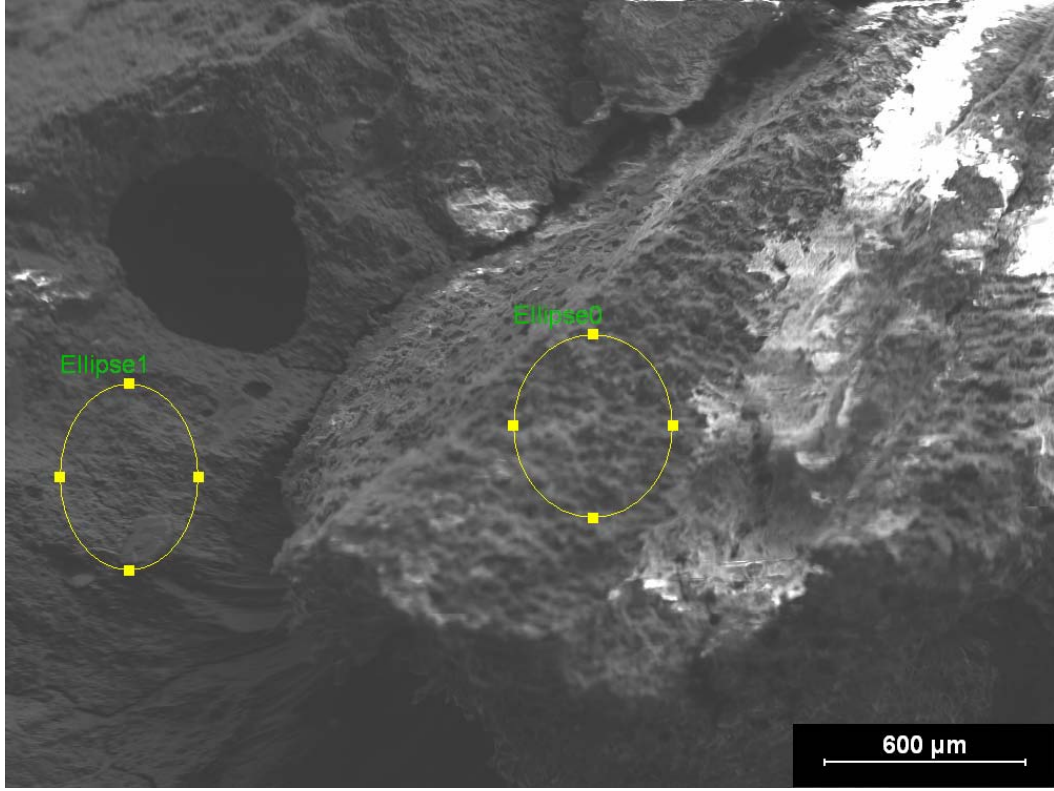
Şekil 6.17a Kontrol betonun EDX görüntüsü



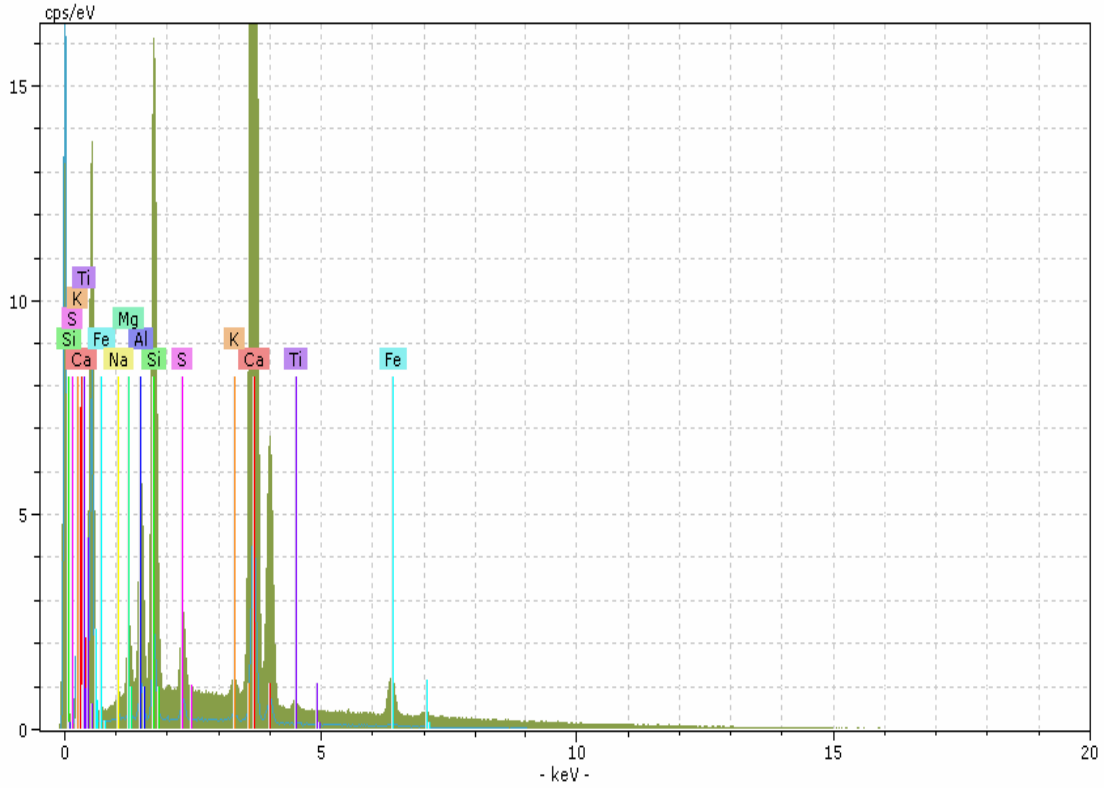
Şekil 6.17b Kontrol betonunun EDX grafiği

Tablo 6.7 Kontrol betonuna ait EDX analizi sonuçları

Point 0			Rectangle1		
Element	Ağırlıkça %	Atomik %	Element	Ağırlıkça %	Atomik %
Si	44.08	48.90	Si	38.17	43.75
Fe	17.91	9.99	Fe	22.24	17.86
Mg	14.12	18.10	Mg	16.60	9.57
Ca	12.58	9.78	Ca	10.59	14.02
Al	9.96	11.50	Al	9.49	11.32
Na	1.19	1.61	Na	1.88	2.63
K	0.15	0.12	K	1.03	0.84



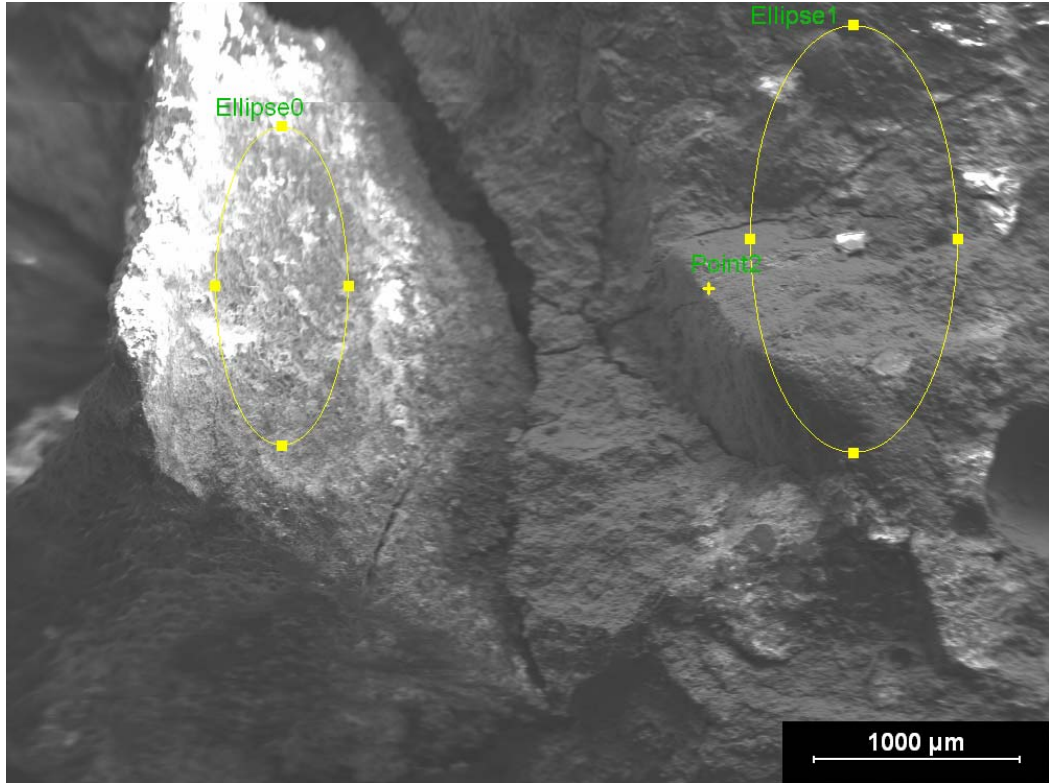
Şekil 6.18a %10 Kabuk içeren betonun EDX görüntüsü



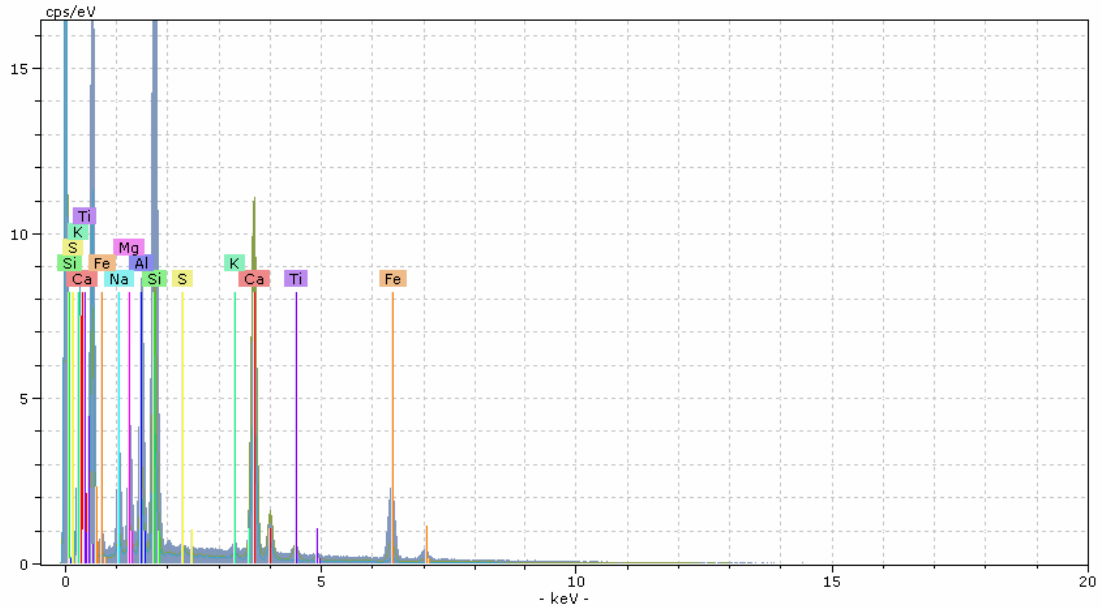
Şekil 6.18b %10 Kabuk içeren betonun EDX grafiği

Tablo 6.8 %10 Kabuk içeren betonun EDX analizi sonuçları

Ellipse 0			Ellipse 1		
Element	Ağırlıkça %	Atomik %	Element	Ağırlıkça %	Atomik %
Ca	59.46	53.05	Ca	71.00	65.19
Si	16.32	20.78	Si	14.87	19.48
Al	5.95	7.88	Al	4.63	6.31
Fe	5.77	3.70	Fe	4.21	2.78
S	4.10	4.57	S	1.95	2.23
Na	2.60	4.05	Mg	1.48	2.25
K	2.52	2.30	K	0.88	0.82
Mg	1.68	2.47	Ti	0.78	0.60
Ti	1.60	1.20	Na	0.21	0.34



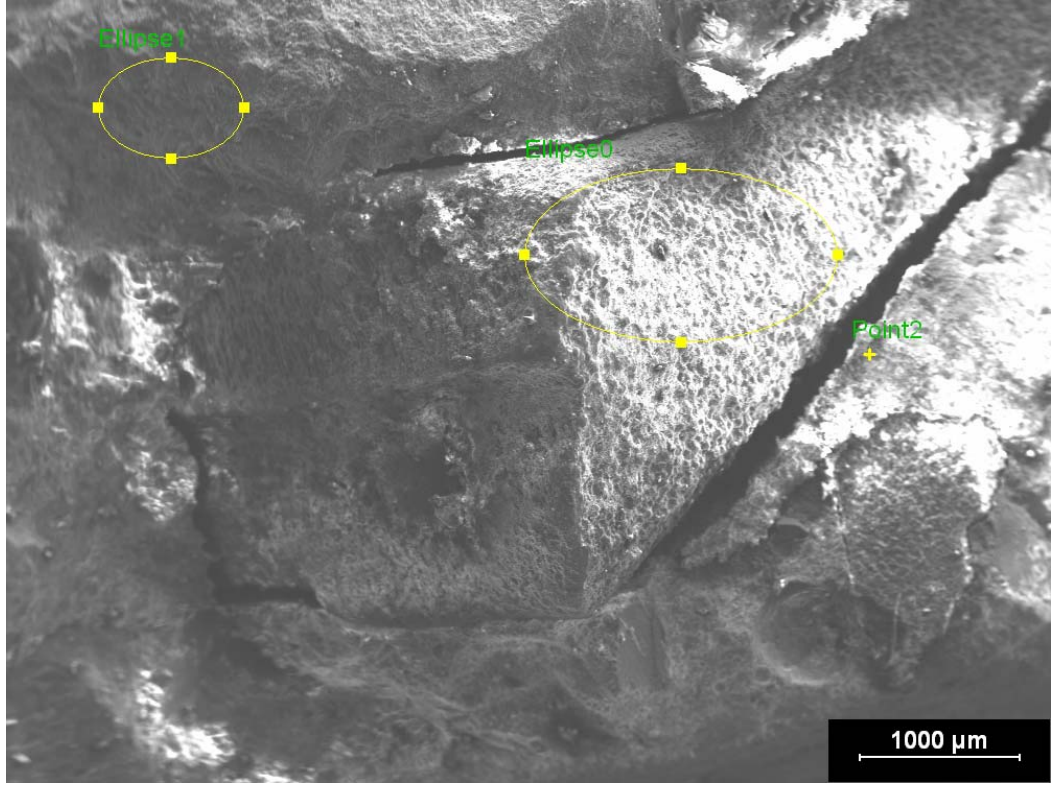
Şekil 6.19a %20 Kabuk içeren betonun EDX görüntüsü



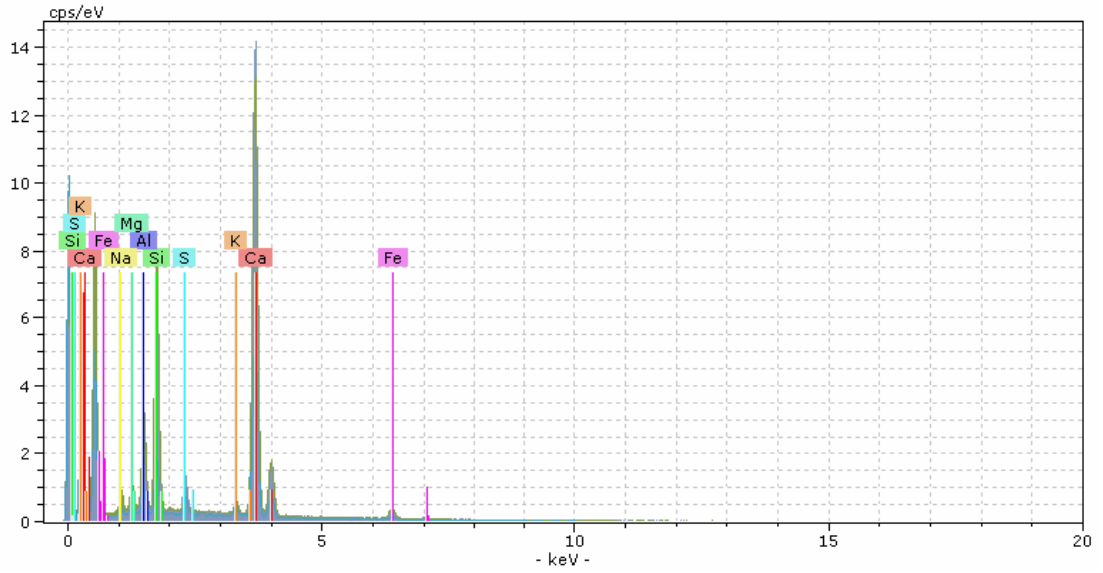
Şekil 6.19b %20 Kabuk içeren betonun EDX grafiği

Tablo 6.9 %20 Kabuk içeren betonun EDX analizi sonuçları

Ellipse 0			Ellipse 1		
Element	Ağırlıkça %	Atomik %	Element	Ağırlıkça %	Atomik %
Ca	40.41	32.59	Ca	47.61	40.09
Si	27.07	31.15	Si	26.18	31.46
Al	11.33	13.58	Al	7.90	9.88
Na	5.73	8.05	Fe	4.51	2.73
Mg	4.42	5.87	Na	3.84	5.63
S	3.85	3.88	Ti	3.53	2.49
Fe	3.78	2.19	Mg	3.35	4.65
K	2.54	2.10	S	2.13	2.24
Ti	0.86	0.58	K	0.95	0.82



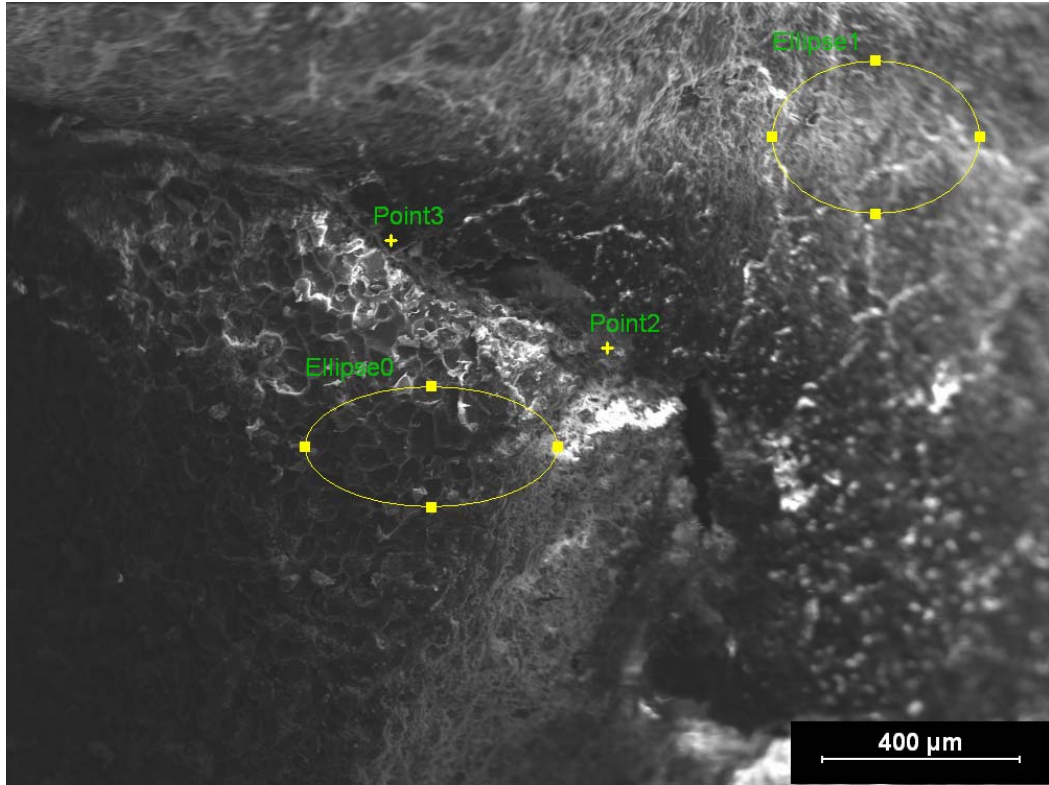
Şekil 6.20a %30 Kabuk içeren betonun EDX görüntüsü



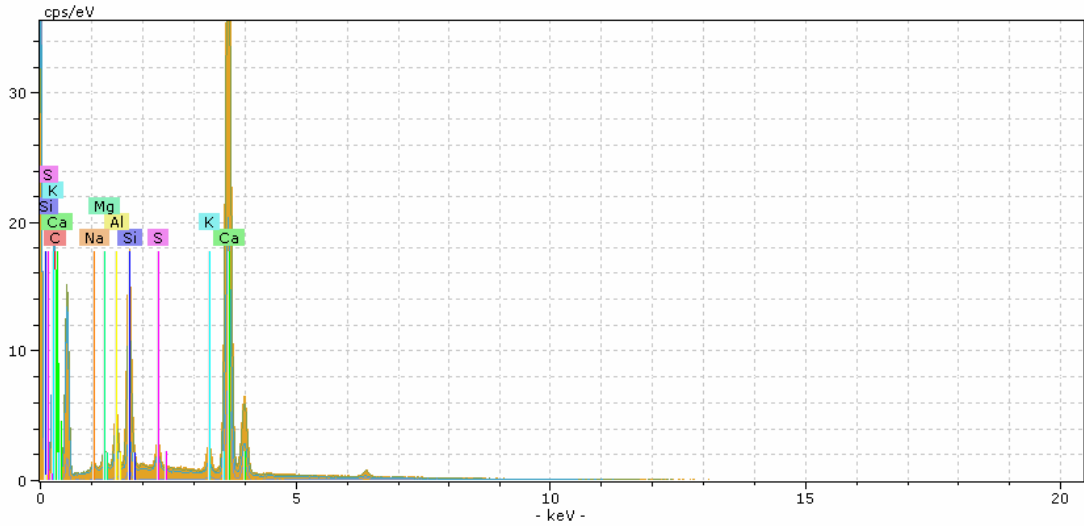
Şekil 6.20b %30 Kabuk içeren betonun EDX grafiği

Tablo 6.10 %30 Kabuk içeren betonun EDX analizi sonuçları

Ellipse 0			Ellipse 1		
Element	Ağırlıkça %	Atomik %	Element	Ağırlıkça %	Atomik %
Ca	61.15	54.04	Ca	54.32	46.17
Si	13.28	16.75	Si	22.97	27.86
Al	5.23	6.86	Al	8.66	10.93
S	4.99	3.51	Fe	4.31	2.63
Fe	4.77	3.03	Na	3.48	5.16
Na	4.33	6.68	Mg	2.72	3.81
K	3.57	3.23	S	1.84	1.96
Mg	2.68	3.90	K	1.72	1.49



Şekil 6.21a %40 Kabuk içeren betonun EDX görüntüsü



Şekil 6.21b %40 Kabuk içeren betonun EDX grafiği

Tablo 6.11 %40 Kabuk içeren betonun EDX analizi sonuçları

Ellipse 0			Ellipse 1		
Element	Ağırlıkça %	Atomik %	Element	Ağırlıkça %	Atomik %
Ca	89.06	85.36	Ca	75.56	67.31
Si	5.07	6.93	Si	13.79	17.53
K	3.05	2.99	Al	3.84	5.08
Al	1.49	2.13	Mg	1.92	2.83
Na	0.47	0.79	Na	1.65	2.56
C	0.34	1.08	S	1.65	1.83
Mg	0.27	0.42	K	0.91	0.83
S	0.25	0.30			

Hacimce %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında kayısı çekirdeği kabuğu ilaveli betonların EDX fotoğrafları görülmektedir. Yukarıdaki şekiller incelendiğinde kayısı çekirdeği kabuğu ve çimento bileşenleri arasındaki reaksiyonlar, beton içersindeki kabuk miktarı arttıkça belirgin bir şekilde azalmıştır.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Beton içerisine %5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında kayısı çekirdeği kabuğu eklenerek elde edilen beton numunelerinin taze haldeki birim ağırlıklarında sırasıyla %3, 6, 8, 11, 13, 15, 17 ve 19 oranlarında azalma gözlenmiştir. Ayrıca aynı şekilde elde edilmiş betonların birim ağırlıklarında 28. gün sonunda sırası ile %3, 5, 7, 8, 11, 13, 15 ve 17 oranlarında azalma gözlenmiştir. Teorik hesaplarda ön görüldüğü gibi pratikte de beton içerisine %25 kayısı çekirdeği kabuğu ilavesi ile hafif beton elde edilerek çalışmanın ana amacına ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, standartlara uygun olarak elde edilen beton numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyleri sonucunda, %5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında kayısı çekirdeği kabuğu ilavesiyle betonların basınç dayanımlarında sırasıyla %7.5, 18.5, 24.5, 34, 41, 45, 50 ve 57 oranlarında azalma meydana gelmiştir. Basınç dayanımlarındaki bu azalmanın birim ağırlıktaki azalma ile beton içerisindeki boşlukların artmasından ve kayısı çekirdeği kabuğu ile çimento arasındaki aderansın düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada yürütülen eğilme dayanımı deneyleri sonucunda, beton içerisine hacimce %5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında kayısı çekirdeği ilavesiyle numunelerin eğilme dayanımlarında sırasıyla %0.5, 0.9, 2.6, 4.3, 5.9, 6.9, 7.4 ve 17.7 oranlarında bir azalma meydana gelmiştir. Bu değerler hem basınç dayanımı hem de birim ağırlık sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Elde edilen SEM analiz sonuçları neticesinde kayısı çekirdeği kabukları ile çimento arasındaki bağ kuvvetlerinin zayıf olduğu gözlemlenmiştir. Basınç ve eğilme dayanımlarındaki azalmaların bu nedenle meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca bazı numunelerde basınç dayanımını olumsuz etkileyen etrenjit oluşumu da gözlenmiştir.

Sertleşmiş betonun içerisinde alçıtaşı oluşması bir miktar genişlemeye yol açmaktadır. Ancak, asıl genişleme kalsiyum-alumino-monosülfhidrat ($C_4A\bar{S}H_{12}$) arasındaki reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır. Sertleşmiş betonun içerisinde etrenjit kristallerinin oluşması, çok büyük genişlemeler yaratmakta ve betonun çatlayıp parçalanmasına neden olmaktadır.

Elde edilen EDX analiz sonuçları incelendiğinde beton içerisindeki kayısı çekirdeği kabuğu miktarı arttıkça bağlayıcılık özelliği olan Si içeriğinde belirgin bir azalma gözlenirken, hidrasyon ürünü olarak yer alan ve alçı taşı oluşmasına neden olan Ca oranında artış meydana gelmiştir.

Dayanımdaki düşüşe rağmen birim ağırlıktaki düşüş göz önüne alındığında bu şekilde elde edilmiş betonlar taşıyıcı olmayan bölme duvarlarda ve fazla dayanım gerektirmeyen

uygulamalarda kullanılabilir. Fakat yapı uygulamalarında tavsiye edilmeden önce bu konu hakkında daha fazla çalışma yapmak gerekmektedir.

Kayısı çekirdeği kabuğu organik bir malzeme olduğundan dolayı bundan sonra yapılacak çalışmalarda daha ileri yaşlardaki betonun dayanımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca dayanımdaki bu azalmayı kontrol altına almak ve kabukla çimento arasındaki aderansı artırmak için beton içerisine çeşitli katkı maddeleri katılarak mukavemet artırılabilir.

Yapılan bütün deneysel çalışmalar neticesinde %25 ve daha yüksek oranlarda kayısı çekirdeği ilavesiyle hafif beton elde edilmiş ve karakteristikleri belirlenmiştir. Atık bir malzeme olan kayısı çekirdeği kabuğunun yönetimine beton içerisinde değerlendirilerek katkıda bulunulmuştur. Bu çalışma, atık kayısı çekirdeği kabuklarının beton içerisinde değerlendirilmesinin, ülkemizde oldukça fazla miktarda olan bu kabukların yakacak olarak kullanılması dışında alternatif bir yöntem olabileceğini ortaya çıkarmıştır. Yapılan bu çalışmanın, bundan sonra yapılacak çalışmalara örnek teşkil edeceği ve ülke ekonomisine katkıda bulunabileceği düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

1. POSTACIOĞLU, B., ve BORA, E., (1984), Doğal Hafif Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonlar ve Bunların Betonarme Yapılarda Kullanılma Olanakları, Kuzeydoğu Anadolu I. Ulusal Deprem Sempozyumu, Erzurum.
2. TS 4834, (1986), Beton İle İlgili Terimler. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.
3. NİLSEN, A. H., WİTER, G. (1991), Design of Concrete Structures.
4. DEMİR, H., (1982), Betonarme Malzemesi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi.
5. TS 1114, (1986), Hafif Agregalar-Beton İçin, TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, Ankara.
6. YILDIRIM, H., (1989), Yarı Hafif Betonun Az Tekrarlı Yük Altındaki Davranışına Bileşimin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
7. NEVİLLE, A. M., (1975), Properties Of Concrete, Pitmann Publishing, London.
8. KARAGÜLER, M., (1988), Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
9. SÜKAN, T., ERMUTLU, E., (1966), Doğal Hafif Agregalarla Hafif Beton Araştırılması, TÜBİTAK, Proje No : MAG-31, Ankara.
10. KARAGÜLER, M., (1988), Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
11. AKMAN, M. S., ve TAŞDEMİR, M. A., (1977), Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu, I. Ulusal Perlit Kongresi, Ankara.
12. ACI Comittete 211, (1968), Recommended practice for selecting proportions for structural lightweight concrete, ACI Journal.
13. ACI Comittete 213, (1970), Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete, ACI Journal.
14. POSTACIOĞLU, B., (1987), BETON- Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton-Cilt 2, Matbaa Teknisyenleri Basımevi. İstanbul.
15. TS 2511, (1977), Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
16. DIN 1045, (1978), Yeni Alman Beton Şartnamesi.
17. ARGUNHAN, E., (1984), Ponza Taşı İle Üretilen Taşıyıcı Hafif Betonarme Elemanların Özelliklerine Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Maddesinin Araştırılması, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi.

18. ÖZTÜTÜNCÜ, G. H., (1992), Ortalama Hafif Agregaya Boyutunun Yarı Hafif Betonların Dona Dayanıklılığı Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü.
19. TS 1114, (1986), Hafif Agregalar (Beton İçin), Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
20. TS 3529, (1980), Beton Agregalarında Birim Ağırlık Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
21. TS 3530, (1980), Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
22. TS 3673, (1982), Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
23. TS 3674, (1981), Beton Agregalarında Sülfat Miktarı Tayini Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
24. KARAHOCAGİL, P., (2003), Kuru Kayısı, Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, S: 3, N: 9, Ankara.
25. Tarımsal Yapı ve Üretim 1999, 2000, 2001, DİE Yayınları, Ankara.
26. <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>
27. TS 3284, Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Üçte bir Notalarından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle) Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
28. TS 3285, Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Orta Noktasından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu ile) Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
29. ASTM C 293, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading) ASTM International.
30. ASTM C 78, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) ASTM International.
31. ERDOĞAN, Y. T., (2003), Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.
32. TS 2941 Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi ile Tayini Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
33. TS EN 12390-7 Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

01.01.1979 Elazığ doğumluyum. İlk ve Orta öğrenimimi Elazığ'da tamamladım. 1998-2002 yılları arasında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Ressamlığı Öğretmenliği Bölümünde lisans eğitimimi tamamladım. 2003 Eylül döneminde Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başladım ve halen burada öğrenimime devam etmekteyim.

Onur ATALAR