

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

150170

**BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİNDE AGREGANIN ETKİSİ**

150170

Nusret BOZKURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2004

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİNDE AGREGANIN ETKİSİ

Nusret BOZKURT

Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, ~~20.08.2004~~ tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / ~~başarısız~~ olarak değerlendirilmiştir.

Danışman:

Üye: Prof. Ali Sayıl ERDOĞAN

Üye: Yrd.Doç.Dr. Salih YAZICIOĞLU (Danışman)

Üye: Yrd.Doç.Dr. Servet YILDIZ

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~24./08./2004~~ tarih ve ~~34/1~~ sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılabilmesini ve yürütülmesini sağlayan ayrıca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Salih YAZICIOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Deneysel çalışma ortamlarını sağlayan Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Başkanı Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL'a teşekkür ederim.

Ayrıca deneysel çalışmanın yapılmasında ve yazılmasında emeği geçen kardeşim Harun BOZKURT'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	III
TABLolar LİSTESİ	IV
SİMGELER	V
KISALTMALAR	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1 Araştırma Materyali ve Metodu	1
1.2 İlgili Literatürün Işığında Tezin Yeri ve Önemi	2
2. BETON ve BETONU OLUŞTURAN ELEMANLAR	4
2.1 Çimento	5
2.2 Agrega	6
2.2.1 Fiziksel özellikler	7
2.2.2 Mekanik özellikler	11
2.2.3 Zararlı Maddeler	13
2.3 Karışım Suyu	15
2.4 Beton Katkıları	16
2.4.1 Kimyasal Katkıları	17
2.4.2 Mineral Katkıları	18
2.4.2.1 Uçucu Küller.....	18
2.4.2.2 Silis Dumanı	22
3. BETONDAN BEKLENİLEN ÖZELLİKLER.....	26
3.1 Taze Betondan Beklenen Özellikler	26
3.2. Sertleşmiş Betondan Beklenen Özellikler	26
3.3 Beton Özelliklerini Etkileyen Faktörler	27
3.4 Diğer Yapı Malzemelerine Göre Betonun Avantajları ve Dezavantajları	27
4. BETON DAYANIMI	30
4.1 Beton Dayanımını Oluşturan Unsurlar	31
4.2 Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler	31
4.3 Betonun Basınç Dayanımı	32
4.3.1 Beton Basınç Dayanımının “Standart Deney Yöntemi” İle Elde Edilmesi	33
4.3.2 Ultrasonik Test Cihazı Kullanarak Beton Basınç Dayanımının Elde Edilmesi	39
4.4 Betonun Çekme ve Eğilme Dayanımı	42

4.4.1 Doğrudan Çekme Dayanımı	43
4.4.2 Yarmada Çekme Dayanımı	44
4.4.3 Eğilmede Çekme Dayanımı	45
4.4.4 Değişik Yöntemlerle Elde Edilen Çekme Dayanımı Değerlerinin Karşılaştırılması ..	47
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	49
5.1 Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....	49
5.1.1 Numune Kalıpları.....	49
5.1.2 Çalışmada Kullanılan Agregalar.....	49
5.1.3 Çalışmada Kullanılan Çimento.....	50
5.1.4 Karışım Suyu.....	50
5.1.5 Karışımında Kullanılan Katkılar.....	50
5.1.6 Beton Karışımları.....	53
5.1.7 Beton Numunelerin Kür ve Bakımı.....	54
5.2 Numunelere Uygulanan Deneyler.....	54
5.2.1 Ultrasonik Test.....	54
5.2.2 Basınç Dayanımı Deneyi.....	56
5.2.3 Yarma Dayanımı Deneyi.....	60
6. SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 5.1 Doğal agregalı beton serilerinin kür periyodu-geçiş hızı grafiği
- Şekil 5.2 Kırmataş agregalı beton serilerinin kür periyodu-geçiş hızı grafiği
- Şekil 5.3 Hafif agregalı beton serilerinin kür periyodu-geçiş hızı grafiği
- Şekil 5.4 Kür periyoduna göre doğal agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları
- Şekil 5.5 Kür periyoduna göre kırmataş agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları
- Şekil 5.6 Kür periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları
- Şekil 5.7 Doğal agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı
- Şekil 5.8 Kırmataş agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı
- Şekil 5.9 Hafif agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı
- Şekil 5.10 Tüm beton serilerinin beton yaşı-ortalama küp basınç dayanımı grafiği
- Şekil 5.11 Kür periyoduna göre doğal agregalı beton serilerinin ortalama silindir yarma dayanımı
- Şekil 5.12 Kür periyoduna göre kırmataş agregalı beton serilerinin ortalama silindir yarma dayanımı
- Şekil 5.13 Kür periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin ortalama silindir yarma dayanımı
- Şekil 5.14 Doğal agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı
- Şekil 5.15 Kırmataş agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı
- Şekil 5.16 Hafif agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı
- Şekil 5.17 Tüm beton serilerinin beton yaşı-ortalama silindir yarma dayanımı grafiği

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Dona Dayanıklılık Deneyi Sınır Değerleri

Tablo 2.2 Uçucu Küllerin Tipik Kimyasal Kompozisyonlarının Yüksek Fırın Cürufu, Kil ve Çimento ile Karşılaştırılması

Tablo 2.3 Uçucu Küllerin Mineralojik Kompozisyonları

Tablo 2.4 Silis Dumanlarının Kimyasal Kompozisyonları,(%)

Tablo 4.1 Ultrasonik Test Yöntemi İle Beton Kalitesinin Değerlendirilmesi

Tablo 5.1 Deneylerde Kullanılan Kaba Agregaların Fiziksel Özellikleri

Tablo 5.2 Deneylerde Kullanılan Çimentonun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Tablo 5.3 Kangal Uçucu Külü Kimyasal Analiz Sonuçları.

Tablo 5.4 Kangal Uçucu Külünün Kimyasal Kompozisyonunun Standart Sınırlarıyla Karşılaştırılması.

Tablo 5.5 Antalya Silis Dumanının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.



SİMGELER

Δ : Birim ağırlık,

P_a : Agreg ağırlığı,

δ : Özgöl ağırlık,

W_1 : Agreg a numune ağırlığı,

W_2 : Su ile dolu ölçü kabı ağırlığı,

W_3 : İçine agreg a numunesi konmuş, su dolu kabın ağırlığı,

k : Kompasite,

p : Porozite,

σ : Basınç dayanımı (maksimum basınç gerilmesi),

P : Numunenin kırılmasına yol açan maksimum yük miktarı,

A : Numunenin kesit alanı,

V : Sesüstü dalga hızı, metre/saniye,

S : Beton bloğun sesüstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe, metre cinsinden,

t : Sesüstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zaman, mikrosaniye cinsinden,

σ_c : Betonun çekme dayanımı,

P : Kırılma oluşturacak olan yükün,

A : Numune boyunun ortasındaki numune kesit alanı,

L : Silindir numunenin boyu,

D : Silindir numunenin çapı,

r : Deney numunesi içerisindeki herhangi bir parçacığın pres üst başlığına uzaklığı,

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.

KISALTMALAR

AAR: Alkali-Agrega Reaksiyonu

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

ASR: Alkali-Silika Reaksiyonu

ASTM: Amerikan Standardı

A.Ş.: Anonim Şirketi

CSA: Kanada Standardı

C-S-H: Kalsiyum-Silikat-Hidrat jeli

Dmaks: Agreganın En Büyük Tane Boyutu

ENV: Avrupa Standardı

PÇ: Portland Çimentosu

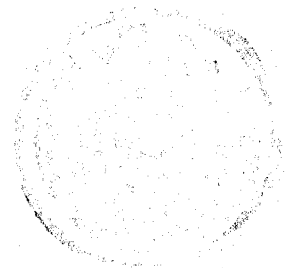
UK: Uçucu kül

SD: Silis Dumanı

TS: Türk Standartları

TSE: Türk Standartları Enstitüsü

YKSD: Yüzey Kuru Suya Doygun



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİNDE AGREGANIN ETKİSİ

Nusret BOZKURT

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Öğretmenliği Anabilim Dalı

2004, Sayfa: 68

Bu çalışmada, betonun mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde agreganın etkisi araştırılmıştır. Çalışmada agrega olarak doğal, kırmataş ve hafif agrega (ponza taşı), mineralojik katkı maddesi olarak ise, uçucu kül ve silis dumanı kullanılmıştır. Uçucu kül çimento ile ağırlıkça %30, silis dumanı da %10 oranında yer değiştirilmiştir. Sabit slump (6-9cm) hazırlanan 3, 7, 14 ve 28 günlük beton numunelerin ultrasonik test, basınç ve yarma dayanımlarına bakılmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre tüm serilerde en yüksek dayanımlar kırmataşla üretilen betonlarda, en düşük dayanımlar ise hafif agregalı betonlarda görülmüştür. Katkı malzemesi olarak kullanılan silis dumanı üç farklı agrega ile üretilen betonların dayanımlarını artırmıştır. Silis dumanı kırmataşla üretilen betonların 28 günlük küp basınç dayanımlarında yaklaşık olarak %14, doğal agregalı betonların dayanımlarında %12.5'lik bir artış yaparken, hafif agrega (ponza) ile üretilen betonlarda ise %7.5'lik bir artış yapmıştır. Uçucu kül oranı %30 kullanılarak hazırlanan seri betonların dayanımlarında ise önemli bir artış gözlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Mekanik özellikler, Agregası, Uçucu kül, Silis dumanı.

ABSTRACT

Master Thesis

INFLUENCE OF AGGREGATE THE DEVELOPMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE

Nusret BOZKURT

Firat University
Graduate School of Science and Technology
Department of Construction Education

2004, Page: 68

In this study, influence of aggregate the development of mechanical properties of concrete was investigated. In the study, lightweight, and natural aggregate, crushed gravel as aggregate, fly ash and silica fume as mineral admixtures were used. Fly ash and silica fume was replaced with portland cement by weight 30 % and 10 % respectively. Splitting tensile and compressive strength, ultrasonic tests of concrete specimens that was prepared at 3, 7, 14 and 28 days were determined in constant slump (6-9 cm).

The result of the study, the highest and the lowest performances was obtained in the series of concrete specimens prepared by crushed gravel and lightweight aggregates, respectively. The silica fume used as mineral admixture increased the strength of concrete that prepared using different aggregates. Silica fume increased 14 %, 12.5 %, 7.5 % in 28 days cube compressive strength of concrete as approximately that was prepared using, crushed gravel, natural aggregate and lightweight aggregate respectively. It wasn't obtained any increased in concrete series that was prepared by using 30 % fly ash.

Keywords: Concrete, Mechanical properties, Aggregate, Fly ash, Silica fume

1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte daha iyiyi ve kaliteliyi bulma çabası inşaat biliminde de hız kazanmıştır. Bu yüzden betondan beklenen özellikler de değişmiştir. Özellikle betonlar konusunda farklı kullanım amaçlarına hitap eden farklı özelliklerde malzemeler ortaya çıkmıştır. Geçmişten bugüne kadar betonarme yapılarda aranan en önemli özellik dayanım ve dayanıklılık olmuştur. Dayanıklı beton, kendi orijinal halini, kalitesini ve servis verebilme kabiliyetini bulunduğu çevreye karşı koruyabilen beton olarak tanımlanır. Beton kendi öz doğasından dolayı oldukça dayanıklı bir malzemedir. Eğer, maruz kaldığı her türlü çevre etkilerine karşı düzgün bir şekilde dizayn edilirse ve üretilirse sadece çok korozif ortamlar hariç performansını uzun yıllar sürdürebilir.

Özellikle son yıllarda deprem ve doğal afetlerin artmasıyla yüksek performanslı beton ve depreme dayanıklı yapı tasarımı alanında bir çok makalelere ve çalışmalara rastlanmaktadır. Bahsi geçen bu etkilerle betonun zarara veya bozulmaya uğraması betonun ana bileşenlerinden biri veya bir kaçının ters performansı ile olabileceğinden dolayı bu çalışmaların çoğunda su/çimento oranı, agrega ve çimentonun incelendiği dikkati çekmektedir. Bu çalışmalardan da anlaşılabileceği gibi, beton dayanımında en önemli yere sahip olan agregaların betonun mekanik özellikleri üzerinde de en büyük etkiyi oluşturduğu bir gerçektir. Agregaların dayanıma etkisi daha çok farklı kristal yapıda oluşu, şekli ve yüzey pürüzlülüğü ile ortaya çıkar. Agregaların kristal yapısı, doku sıklığı dayanımı önemli ölçüde etkileyen faktörlerden biridir. Ayrıca agregaların yuvarlak, oval, köşeli olması ve yüzeyinin pürüzlü veya camsı yapıda olması gibi şekil ve yüzey yönünden farklılıkları da değişik dayanımları ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada da betonun mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde farklı agregalar ve katkılar ile oluşturulmuş betonların ne gibi bir etkiye sahip oldukları araştırılmıştır. Bu amaçla oluşturulmuş beton numunelerin basınç ve yarma dayanımları, gerilme dayanımları ve ultrasonik test ölçümleri incelenmiştir.

1.1 Araştırma Materyali ve Metodu

Bu tez çalışmasında öncelikle konu ile ilgili literatür taraması yapılarak gerekli bilgi, döküman ve kaynaklar sağlanmıştır. Bu amaçla tez konusu ile ilgili yerli ve yabancı tüm kaynaklar araştırılmış ve daha sonra çalışmada kullanılacak malzemeler, çimento (PÇ 42.5), agrega (3 farklı tipte), kimyasal katkı maddeleri (uçucu kül, silis dumanı v.b.) optimum düzeyde ve en kısa zamanda tedarik edilmiştir. Tüm bu ön çalışmalar yapıldıktan sonra laboratuvar şartlarında, Türk Standartlarına göre gerekli sistem ve düzenekler oluşturulmuş ve deneysel çalışmalara geçilmiştir. Bu tezdeki asıl amaç betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi

olduğundan tez amacına uygun olarak karışım hesapları yapıp, farklı karışım ve özelliklerde beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler gerekli dayanım yaşlarına (3, 7, 14 ve 28 gün) ulaştıklarında mekanik deneylere tabi tutulmuşlardır. Elde edilen deney sonuçları kontrol numuneleri ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

1.2 İlgili Literatürün Işığında Tezin Yeri ve Önemi

Yapılan literatür araştırmasında agrega deneyleri, beton deneyleri ve betonların mekanik özellikleri ile ilgili kaynaklar toplanmıştır. Bu kaynaklar, yalnızca kaba agrega tipinin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması konusunda olup, farklı agregaların değişik katkılarla birlikte kullanılarak oluşturulacak betonun mekanik özellikleri üzerinde göstereceği gelişim etkileri konusunu eksik bırakmaktadır. Yapılan bu tez çalışması bahsi geçen bu eksikliği gidermekle birlikte, atık malzeme olarak bilinen termik santral baca küllerinin, kullanılabilirliğinin de incelenerek ekonomiye katkıları araştırılmıştır. Betonun mekanik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları, örnek olarak aşağıda verilmiştir.

Şengül [1], agrega türünün normal ve yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışına etkilerini incelemiştir. Bu amaçla bazalt, beyaz kalker, gri kalker ve kumtaşı olmak üzere dört farklı tipte agrega ile birlikte düşük, orta ve yüksek dayanımlı betonların mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonuçlarına göre, orta ve yüksek dayanımlı betonlarda beyaz ve gri kalker içeren betonların yakın dayanım değerleri verdiğini aynı zamanda beton dayanımının artmasıyla birlikte gevreklik indisinin de önemli derecede arttığını ortaya koymuşlardır.

Özturan ve Çeçen [2], kaba agrega tipinin, farklı dayanım seviyelerindeki betonların mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, bazalt, kireçtaşı ve çakıl kaba agrega çeşitleri ile 28 günlük hedef basınç dayanımları 30, 60, 90 MPa olan betonlar üretmiş ve bu agregaların beton dayanımını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; bazalt ve çakıl kullanılarak yapılan normal dayanımlı beton benzer dayanımlar verirken kireç taşı içeren betonda oldukça yüksek dayanım elde edilmiştir.

Alonso ve diğ. [3], iç volkanik taşlardan elde edilen agregalar ile oluşturulan betonlar ile doğal kaynaklardan elde edilen bazaltik agregalarla oluşturulan betonların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. İki farklı tipte kaba agrega ile birlikte süperakışkanlaştırıcı ve süperakışkanlaştırıcısız şekilde dört tip beton dökerek 3, 7, 14, 21, 28 ve 45 günlük yaşlarda betonun dayanım özelliklerini incelemişlerdir. Bu betonların katkılı olanları diğerlerine göre üstün özellikler sergilediğini ve katkılı olarak üretilenlerden ise iç volkanik kaba agregalı betonların daha üstün özellikler sergilediğini ortaya koymuşlardır.

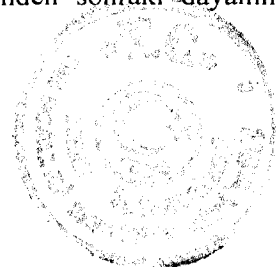
Wu ve diğ. [4], kaba agregası tipinin, yüksek performanslı betonun mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla kırma kuvarzit, kırma granit, kireçtaşı ve mermer kaba agregalarından 28 günlük hedef dayanımları farklı seviyelerde (30, 60, 90 MPa) beton numuneler oluşturmuşlardır. Bu numuneler üzerinde çeşitli mekanik testler uygulanarak farklı tipteki kaba agregaların yüksek performanslı betonlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda belirli su/çimento oranı için betonun mukavemeti, sertliği ve kırılma enerjisi bilhassa yüksek dayanımlı betonlar için agregası tipine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Temiz ve Karakeçi [5], uçucu kül ve silis dumanı içeren çimento pastasının mikro yapısı üzerine bir araştırma yapmışlardır. X-ışını difraksiyonu ve elektron mikroskobu taramasıyla çimento pastasının mikro yapısını ve bu minerolojik katkıların etkisini araştırmışlardır. Adı geçen katkılarla oluşturulan deney numunelerinde yeni bir C-S-H jeli oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Siddique [6], ince agregayla F sınıfı uçucu külün yer değiştirilmesinin betonun mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Ağırlık olarak, ince agregası ile F sınıfı uçucu kül beş oranda yer değiştirilmiş ve bu şekilde oluşturulan numunelere 7, 14, 28, 56, 91 ve 365 günlük beton yaşlarında mekanik testler uygulanarak uçucu külün etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucuna göre ince agregası ile F sınıfı uçucu külün kısmen yer değiştirilmesiyle elde edilen betonun dayanım özelliklerinde kayda değer gelişmeler olduğunu ortaya koymuşlardır.

Beshr ve diğ. [7], yüksek dayanımlı betonun mekanik özellikleri üzerine kaba agregası kalitesinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında dolomitik kireçtaşı, kuvarsit kireçtaşı, kalkerli kireçtaşı ve demir cürufu olmak üzere 4 değişik agregası tipi kullanmışlardır. Bu agregalarla oluşturulan numunelere basınç, yarma ve elastikiyet modülü tayini deneyleri uygulamışlardır. Çalışma sonucunda, demir cürufu ile üretilen beton en yüksek dayanımı verirken en düşük dayanımı kalkerli kireçtaşı ile üretilen betonun verdiğini ortaya koymuşlardır. Dolomitik kireçtaşı ve kuvarsit kireçtaşı dayanımlarının ise demir cürufunu takip ettiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, kaba agregası tipinin elastikiyet modülünü de etkilediğini vurgulamaktadırlar.

Yasar ve diğ. [8], bazaltik ponza taşı ve uçucu külle üretilen hafif betonların dayanım özelliklerini araştırmışlardır. Bu amaçla bazaltik ponza taşı ile kontrol ve çimento ağırlığının %20' oranında uçucu kül katkılı betonlar dökmüşlerdir. Bu şekilde hazırlanan numunelere basınç ve çekme deneyleri uygulamışlardır. Sonuç olarak ise erken yaşlarda uçucu katkılı beton numunelerin dayanımları kontrol betonundan düşük olurken 28 günden sonraki dayanımı kontrol betonundan daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.



2. BETON ve BETONU OLUŞTURAN ELEMANLAR

Beton, agregâ, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir.

Beton agregaları minerallerden oluşmuş taneli malzemelerdir. Kum, çakıl, ve kırma taş normal ağırlıklı beton yapımında en çok kullanılan agregâ cinsleridir. Türk standartlarının tanımlamasına göre, elendiğinde 4.0 mm göz açıklıklı kare delikli elekten geçebilen boyutlardaki agregaya “ince agregâ” ve bu elek üzerinde kalan agregaya, “iri agregâ” denilmektedir.

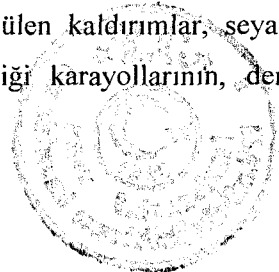
Çimento, bağlayıcı özelliğe sahip bir malzemedir. Çimentonun sağlayabileceği bağlayıcılık özelliği, bu malzemenin su ile birlikte karıştırılması sonucunda elde edilmektedir. Çimento ve suyun oluşturduğu malzeme, “çimento hamuru” olarak adlandırılmaktadır. Betonun oluşturulmasında çimento hamurunun işlevi, agregâ tanelerinin yüzeylerini kaplamak, agregâ taneleri arasındaki boşlukları doldurmak ve agregâ tanelerini bir arada tutacak tarzda bağlayıcılık sağlamaktır. Bu bakımdan, beton, “çimento hamurundan ve agregâlardan oluşan kompozit bir malzeme” olarak da tanımlanabilmektedir [9].

Çimento, su ve ince agreganın karışımından oluşan malzemeye “harç” denilmektedir. Harç, içerisinde iri agregâ bulunmayan bir betondur.

Çimento ve suyun birleştirilmesiyle elde edilen çimento hamuru başlangıçta plastik (yumuşak, şekil verebilir) bir malzeme durumundadır. Ancak, çimento ve su arasında hemen başlayan ve devam etmekte olan kimyasal reaksiyonların (hidratasyonun) etkisiyle, çimento hamurunun başlangıçtaki plastik özelliği zaman ilerledikçe azalmaktadır. Böylece, bir veya birkaç saat içerisinde, çimento hamuru katılaşmakta ve daha sonraları da tamamen sertleşmiş bir duruma gelmektedir.

Çimento hamurunun ilk zamanlarda plastik özellik göstermesi nedeniyle, betonda, ilk karıştırıldığı anı takip eden bir veya birkaç saatlik süre içerisinde plastik yapısını korumaktadır. Böylece, plastik durumdaki taze betonun, istenilen şekilde bir kalıba yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilebilmesi mümkün olmaktadır. Çimento hamurunun zaman ilerledikçe daha katı ve sert bir özellik kazanması nedeniyle, betonda sertleşme ve dayanım artışı meydana gelmekte, istenilen boyutlarda ve şekilde taş gibi sert bir malzeme elde edilmektedir.

Beton, çağımızda irili ufaklı bir çok yapıda kullanılmakta olan en önemli ve popüler yapı malzemesidir. İnsanların yaşadıkları evlerin, çalıştıkları işyerlerinin, eğitim gördükleri okulların, spor yaptıkları tesislerin, arabalarını park ettikleri park yerlerinin ve garajların büyük bir bölümünün yapımında beton kullanılmaktadır; üzerinde yürünülen kaldırımlar, seyahat edilen veya insanların ihtiyacı olan malların getirilip gönderildiği karayollarının, demir



yollarının, havaalanlarının ve limanların yapımında da beton kullanılmaktadır; içme suyunun veya atık suların depolandığı tanklar ve bu suların taşındığı borular betondan yapılmaktadır; enerji üretimi için kurulan barajların ve atom reaktörlerinin bir bölümünde ve enerji nakli için kullanılan direklerin yapımında, yine, beton kullanılmaktadır. Bu örnekleri daha da arttırmak mümkündür. Betonlu oluşturan elemanlar; çimento, karışım suyu, agrega (kum, çakıl vb.), çeşitli kimyasal ve mineralojik katkıları olarak sıralanabilir [9].

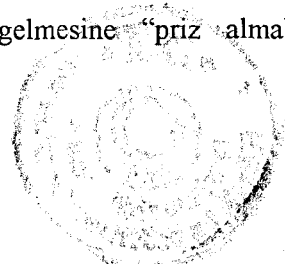
2.1 Çimento

Su ile reaksiyona girerek sertleşen bir yapı malzemesidir. Beton yapımında kullanılan agregaları (kum, çakıl vb.) birbirlerine bağlayıcı bir özelliğe sahiptir. Su ile temas eden çimento parçacıklarının yüzeyinde oluşan kristaller kenetlenerek katılaşır. Kenetlenerek katılaştığı için betonun sıklığını artıran bir malzemedir. Betonun içerisindeki boşlukları azaltarak geçirgenliği düşürmeye de neden olur. Beton üretiminde kullanılacak çimentonun ağırlık olarak miktarına dozaj denilmektedir.

Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket gibi) yapıştırma malzemesidir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve/veya kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500°C'de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne "klinker" denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçıtaşı eklenip (%4-5 oranında), çok ince toz halinde öğütülerek Portland Çimentosu elde edilir [10].

Portland çimentosu olarak elde edilen ürün genellikle gri renktedir. Bu gri renk, çimento üretiminde kullanılan hammaddelerde çok küçük miktarda yer alan demir oksitten kaynaklanmaktadır. Pişirilmek üzere seçilen hammaddede demir oksit ve mangan oksit bulunmadığı takdirde, üretilen portland çimentosunun rengi beyaz veya beyaza yakın renkte olmaktadır. Portland çimentosu toz gibi ince tanelidir; tanelerin boyutları 1-200 µm arasında değişmektedir.

Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.10-3.15 gr/cm³ kadardır. Torbalanmış durumdaki çimentonun birim ağırlığı 1.5 t/m³ civarındadır. Çimento ve suyun birleştirildiği andan itibaren bu iki malzeme arasında "hidratasyon" olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve devam etmektedir. Önceleri, yumuşak plastik durumda olan çimento hamuru, zaman ilerledikçe daha az plastik duruma gelmekte ve katılaşır, sertleşmektedir. Çimento hamurunun katılaşma göstererek şekil verilemez bir duruma gelmesine "priz alma" denilmektedir.



Çimento hamurunun katılaşma olayından sonraki safhadaki durumu “sertleşmiş çimento hamuru” olarak adlandırılmaktadır. Çimento hamurunun içerisindeki su ve çimento arasındaki kimyasal reaksiyonlar uygun sıcaklık ve nemlilik ortamı mevcut olduğu sürece devam etmekte, kazanılan dayanım miktarında artma olmaktadır [11].

2.2 Agregalar

Mineral kökenli, 100 mm ye kadar çeşitli boyutlarda tanelerden oluşan kum, çakıl veya kırmataş gibi malzemelere agregalar denir. Agregalar elde ediliş şekline bağlı olarak iki grupta toplanabilir [13].

a) Doğal agregalar (Doğal taş agregası): Nehirlerden, denizlerden, çöllerden, eski göl, dere yataklarından ve taş ocaklarından kırılmamış veya kırılmış olarak elde edilen agregadır.

b) Yapay agregalar (Sanayi ürünü agregalar): Yüksek fırın cürufu taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmamış veya kırılmış agregadır.

Öte yandan agregalar tane boyutlarına göre aşağıda gösterildiği gibi sınıflandırılırlar.

a) İnce agregalar:

İnce agregalar, taneleri 4 mm kare gözlü elekten geçen agregadır.

- Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır.
- Kırma kum: Kırılmış tanelerden oluşan ince agregadır.
- Yapay kum: Sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış ince agregadır.

b) İri agregalar:

İri agregalar taneleri 4 mm kare gözlü elek üzerinde kalan agregadır.

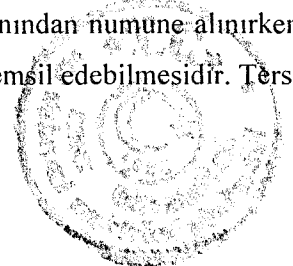
- Çakıl: Kırılmamış doğal durumdaki tanelerden oluşan iri agregadır.
- Kırmataş (Mıcır): Kırılmış tanelerden oluşan iri agregadır.
- Yapay taş: Sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış iri agregadır.

c) Taşunu (Filler):

Taşunu, 0.25 mm kare gözlü elekten geçen ince malzemedir. Filler, özellikle taze betonun ayrışmasını önleyen yani kohezyonu yüksek beton üretimine olanak veren bir malzeme çeşididir.

İyi nitelikteki bir agregalar temiz, sert ve sağlam olmalı, bunların yanında suyun etkisiyle yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentoların bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir [13].

Agregaların niteliğinin belirlenebilmesi için çeşitli deneyler ve bu deneyler için de belirli ölçeklerde agregalar numunelerine ihtiyaç vardır. Bir agregalar yığınının numune alınırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, numunenin agregalar yığınını temsil edebilmesidir. Tersine



durumda yanlış sonuçlara varılır. Bir şantiyede depolanmış agregaya yığınının alınacak örnekler yığının tepe ve etek kısımlarından değil orta kısımlarından farklı noktalardan alınmalıdır. Toplanan örnekler daha sonra homojen bir şekilde karıştırılmalıdır. Elde edilen toplam malzeme miktarının, tek bir deney için istenen miktara kadar küçültülmesi gerekir. Hangi deney isteniyorsa, o deney ile ilgili standartta tek deney için gerekli en az deney numunesi miktarları en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak belirtilir. Örneğin, en büyük tane boyutu 16 mm olan bir agregada birim ağırlık tayini 5 kg agregaya kullanılarak gerçekleştirilmelidir.

Deney numuneleri toplam numuneyi dörde bölerek çeyreklemeye yöntemiyle veya bölgeç kullanılarak elde edilir. Bu yöntemler, tek bir deney için gerekli en az miktar elde edilinceye kadar sürekli uygulanır. Sonuçta elde edilen numune üzerinde istenen deney gerçekleştirilir [13].

2.2.1 Fiziksel özellikler

a) Agregada rutubet durumu

Agrega taneleri boşluk içermesinden dolayı agregalarda bulunabilecek rutubet durumları aşağıda verilmiştir.

1. Fırın kuru: Agreganın tanesi içindeki tüm boşlukların kuru olması,
2. Hava kuru: Agreganın kuru havada tutulduğunda; yüzeyden itibaren belirli derinlikte boşlukların rutubetsiz, iç kısmının rutubetli olması,
3. Yüzey kuru-Suya doymuş: Agregadaki boşlukların su ile tamamen dolu, yüzeyin ise kuru olması,
4. Islak: Agreganın yüzeyinde de serbest suyun bulunması durumudur.

İnce agregaya olarak kumun hacmi içerdiği rutubet miktarına bağlı olarak değişir. Belirli bir rutubet yüzdesi için kumun inceliği arttıkça kumun hacmindeki artış daha fazla olmaktadır. Agregaya özelliklerini belirlemek için yapılan deneylerde ve beton karışım hesaplarında agreganın yukarıdaki hallerinden yüzey kuru suya doymuş (YKSD) durumu esas alınır. Bir şantiyedeki veya beton santralindeki agregaların mevcut su içeriği dikkate alınarak, YKSD duruma göre bulunan beton bileşimleri için gerekli düzeltmeler yapılmalıdır [13].



b) Birim ağırlık

Birim ağırlık, yığın halindeki bir agreganın taneler arasındaki boşluklar da dahil birim hacmin ağırlığıdır. Bu tanıma göre birim ağırlık,

$$\Delta = \frac{Pa}{V} \quad (2.1)$$

denklemleri elde edilir. Burada;

Pa: Agreganın ağırlığı,

V: Ölçü kabının hacmidir.

Agregalarda birim ağırlık gevşek veya sıkışık deney yöntemleri ile belirlenir. Gevşek birim ağırlığın belirlenmesinde agrega ölçü kabın içerisine üstten serbest şekilde boşaltılarak doldurulur. Bu sırada agreganın sıkışmamasına ve ayrışmamasına özen gösterilmelidir.

Sıkışık birim ağırlığın belirlenmesinde ise agrega ölçü kabı şişleme çubuğu ile sıkıştırılarak veya kaba titreşim uygulanarak yerleştirilmelidir. Doğal olarak bir agreganın sıkışık birim ağırlık değeri genelde 1.20 ile 1.80 kg/dm³ arasında değişir. Birim ağırlık değerleri, agreganın granülometrisine, kusurlu malzemenin miktarına, yerleştirme şekline ve agreganın özgül ağırlığına bağlıdır. Beton üretiminin hacim esasına göre yapılması durumunda birim ağırlığa gerek vardır [13-15].

c) Özgül ağırlık

Özgül ağırlık agrega tanelerinin işgal ettiği mutlak birim hacmin ağırlığıdır. Bu değer in hesabında taneler arasındaki boşluk dikkate alınmaz. Agreganın özgül ağırlığının belirlenmesinde izlenecek yol şöyledir: Öncelikle agrega deney numunesi ile ağzı cam kapakla kapatılmış içi su dolu ölçü kabı birlikte tartılır. Sonra agrega numunesi ölçü kabı içine konularak tartım yapılır. İki tartım arasındaki fark ölçü kabından taşan suyun ağırlığını yani agrega deney numunesinin tanelerinin toplam hacmini verir. Bu durumda özgül ağırlık;

$$\delta_a = \frac{W_1}{(W_1 + W_2 - W_3)} \quad (2.2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada:

δ_a = Agreganın özgül ağırlığı,

W_1 = Numune ağırlığı,

W_2 = Su ile dolu ölçü kabı ağırlığı,

W_3 = İçine numune konmuş, su dolu kabın ağırlığıdır.



Normal beton agregalarının özgül ağırlığı genellikle 2.50-2.90 kg/dm³ değerleri arasındadır. Beton karışım hesabını yapabilmek için üretimde kullanılacak agregaların özgül ağırlıklarını bilmek gerekir. Öte yandan bir agreganın özgül ağırlığı, elde edildiği kayanın kökenine bağlıdır [13,14,16].

d) Kompasite

Herhangi bir agreganın birim ağırlığı ve özgül ağırlığının bilinmesiyle, aynı zamanda bu agreganın kompasitesi yani birim hacmindeki tanelerin işgal ettiği gerçek hacim belirlenmiş olur. Çünkü agreganın kompasitesi (k),

$$k = \frac{\Delta}{\delta} \quad (2.3)$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Birim ağırlık daima özgül ağırlıktan küçük olduğuna göre kompasite 1'den küçük değer alacaktır. Bu durumda yığın halindeki agreganın birim hacmindeki boşluk, kompasiteyi 1'e tamamlayacak değer olacaktır. Boşluk (porozite) p,

$$p = 1 - k \quad (2.4)$$

formülü ile hesaplanır [13,17,19].

e) Granülometri (Tane Dağılımı)

Bir agregada belirli boyutlardaki tanelerin dağılımını gösteren eğriye granülometri eğrisi denilir. Agreganın granülometri eğrisi elek analizi deneyi ile belirlenir. TS 706 göz önüne alındığında elek analizi deneyinde kare gözlü 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm lik elekler kullanılır. Bir agregaya yığını üzerinde elek analizi deneyinin nasıl yapılacağı TS 3530'da belirtilmektedir [18].

Beton üretiminde kullanılacak karışım agregasının granülometrisi “ideal granülometri eğrileri” ile uyumlu veya “ideal bölgeler” dediğimiz bölgeler içinde kalmalıdır. Konu ile ilgili TS 706'da maksimum tane boyutuna bağlı olarak kabul edilen referans eğrileri ve bunlar arasında kalan ideal bölgeler tarif edilmektedir [13].

Beton karışım agregasının ideal bölge içinde kalmasının istenmesinin en önemli nedenlerinden biri kompasitesinin yüksek olmasıdır. Dolayısıyla kompasitesi yükselen betonun dayanımı da büyük değer alacaktır. Diğer taraftan kompasitesi yüksek agreganın kullanılmasıyla tanelerin, arasını doldurmak için daha az çimento gerekecek, böylece daha ekonomik beton üretilmiş olacaktır. Ancak, genellikle uygulamada kullanılan çimento hamurunun miktarı, agrega tanelerinin arasındaki boşlukların hacminden daha büyük olmaktadır.



Agrega karışım granülometrisinin ideal bölge içinde kalmasıyla su yönünden de optimum bir çözüm sağlanmaktadır. Çünkü agrega tanelerini ıslatmak için gerekli su agreganın granülometrik bileşimiyle yakından ilişkilidir. Sonuçta ideal bölge koşulunu sağlayan granülometriye sahip bir agrega, işlenebilme yönünden de bir sorun oluşturmaz.

Bir agreganın granülometri eğrisi aşağıdaki özellikleri gösterir [19].

- Granülometri eğrisi artan bir eğridir, sınır durumunda ancak yatay doğru parçaları olabilir.
- Eğrinin %100 çizgisine yakın olması, karışımın ince olduğunu, %0 çizgisine yakın olması agreganın iri olduğunu gösterir.
- Eğri tüm elek bölgesinde mevcuttur, eğrinin %100 veya %0 çizgileriyle çakışması, o bölgelerde bulunmadığı anlamına gelmez.
- Birbirini izleyen iki elek numarasına karşı gelen % ordinatlarının farkı, agrega yığnında o iki elek arasında kalan malzeme yüzdesini verir.
- Eğer eğride yatay bir çizgi varsa, bu yatay çizgiye karşı gelen elekler arasında tane yok demektir. Bu tür granülometriye sahip olan agregalara “kesikli (süreksiz)” granülometrilik agregalar denilir.

Bir beton üretiminde iri agreganın en büyük tane boyutunun (D_{maks}) seçimi de önemlidir. D_{maks} 'ı büyük agregada genel olarak iri taneler fazla miktarda bulunur. D_{maks} 'ı büyük agreganın kullanılması betonun kompaktitesini artırır. Aynı zamanda aynı işlenebilme için daha az su kullanılmasını olanaklı kılar. Böylece pratikte üretilen normal betonlar yüksek dayanımlı ve daha ekonomik olacaktır. Ancak yapının donatı durumu D_{maks} 'ın büyük seçilmesini önleyebilir. Örneğin, elemanları küçük kesitli ve çok sık donatının kullanıldığı bir yapıda üretilen betonda D_{maks} 'ı küçük seçmek zorunlu olur. Bu nedenle bir beton üretilirken D_{maks} 'ın yapı koşullarının izin verdiği en büyük değerini almak gerekir [19,18,20].

f) İncelik modülü

İncelik modülü, bir agreganın granülometrik bileşimi hakkında bilgi veren bir sayıdır. İncelik modülü, her bir eleğe karşı gelen % ordinatlarının, 100'den farklarının toplanması ve bu toplamın 100'e bölünmesi ile elde edilir. İncelik modülü elek sayısı ile ilgili bir büyüklüktür. Agregataneleri küçüldükçe incelik modülü azalır, taneler irileştikçe incelik modülü artar.

Aynı incelik modülüne sahip agregaların granülometri eğrileri farklı olabilir. Diğer bir deyişle, farklı granülometri eğrilerine sahip agregaların incelik modülleri aynı çıkabilir. Bu nedenle herhangi bir agreganın granülometrisi hakkında kesin bilgi isteniyorsa, agreganın granülometri eğrisi bilinmelidir [13].



2.2.2 Mekanik özellikler

a) Tane dayanımı

Yüksek dayanımlı beton elde etmek için mekanik dayanımı belirli değerlere ulaşan agregalara gereksinim vardır. Bu nedenle agregaların tane dayanımlarını da belirlemek gerekir.

Agreganın tane dayanımı, alındığı kayacın cinsi ve mevcut durumunun petrografik yönden incelenmesi ile yaklaşık olarak değerlendirilebilir. Eğer kullanılan agregası, kırmataş ise; TS 706'ya göre taşın suya doygun haldeki küp basınç dayanımı veya çapı yüksekliğine eşit silindir basınç dayanımı en az 1000 kgf/cm² (98 N/mm²) ise mekanik özellikler ile ilgili başka bir incelemeye gerek olmaksızın yeterli olduğu kabul edilebilir. Basınç dayanımı 1000 kgf/cm² den küçük olması halinde ve kuşkulu durumlarda agregalarda aşınmaya dayanıklılık deney sonuçlarına bakılmalıdır. Eğer iri agregası olarak çakıl kullanılıyorsa, bahsi geçen basınç deneyini yapmak mümkün olmayacağından, yine bu agregalar üzerinde aşınmaya dayanıklılık deneyleri uygulanarak çakılların sağlamlığı hakkında bilgi edinilir [13].

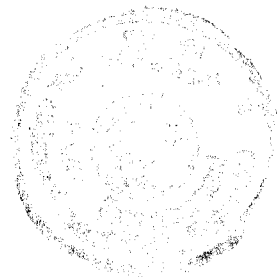
b) Aşınma dayanımı (Los-Angeles deneyi)

Agregaların aşınma dayanımını elde etmek için en çok Los –Angeles deneyi uygulanır. Deneyin ayrıntıları TS 699'da açıklanmaktadır [20].

Bu deneyde kullanılan cihaz iki tarafı kapalı, eksenini tarafında dönebilen, iç çapı 710 mm, boyu 508 mm olan bir çelik silindirden oluşmaktadır. Silindir içinde belirli ağırlıkta ve sayıda çelik bilyeler mevcuttur. Tane büyüklüğü sınıfına göre miktarı ilgili tabloda gösterilen agregası silindir tambur içine konarak, tambur döndürülmeye başlanır. Deney sırasında taneler çelik bilyelerin çarpmasıyla parçalanır ve ufalanır. Alet 100. ve 500. devir sonunda duracak şekilde ayarlıdır. Bu devirler sonunda silindirden çıkartılan numune 1.4 mm'lik kare gözlü elekten elenerek, alta geçen miktarın yüzdesi saptanır. Bu değer deney sonrasındaki kayıp yüzdesini ifade eder.

$$\text{Kayıp Yüzdesi} = \frac{1.4 \text{ mm'lik elekten geçen agregası}}{\text{Toplam agregası}} \quad (2.5)$$

TS 706, yukarıdaki gibi gerçekleştirilen deneyde 100 dönme sonunda ağırlıkça %10, 500 dönme sonunda %50 den az kayıp varsa agreganın yeterli dayanıma sahip olduğunu kabul etmektedir. Genellikle yassı ve uzun taneli agregaların kayıp yüzdesi, yuvarlak taneli agregalarınkinden daha büyük olur [12,13,20].



c) Agregalarda dona dayanıklılık

Soğuk iklimlerde üretilen betonun donma etkisiyle yüzeyinin soyulmaması ve bir bütün olarak parçalanmaması istenir. Betonun dona dayanıklılığında agrega önemli rol oynar. Bu nedenle donma etkisinde kalacak betonlarda kullanılacak agreganın da dona dayanıklı olması istenir. Agreganın dona dayanıklılığı esas olarak don deneyleri ile belirlenir. Öte yandan, agrega üzerinde uygulanan don deneyi ile agreganın sağlamlığı hakkında da dolaylı olarak bilgi edinilir.

TS 706 [12], iri agrega olarak kırmataş kullanıldığında, taşın su emme oranının ağırlıkça %0.5 den büyük olmaması veya TS 699 [20]'a göre elde edildiği kayacın suya doygun haldeki küp basınç dayanımı en az 1500 kgf/cm² olması halinde, agreganın dona dayanıklı olduğunu kabul etmektedir. Ancak, kuşku durumlarda kırmataş veya kum-çakıl agregaları üzerinde aşağıda açıklanan don deneyleri gerçekleştirilir.

TS 3655 [21]'de üç farklı dona dayanıklılık deneyi vardır.

I. Dona dayanıklılığın şiddetli don etkisi altında belirlenmesi (Suda donma)

Bu deneyde agrega örnekleri su içine konarak suyla birlikte dondurulmaktadır. Agreganın donma-çözülmesi 1 çevrim kabul edilerek, agregalara 10 çevrim uygulanmaktadır. TS 706 [12], deney sonunda hesaplanan don kaybı oranının %4'ten büyük olmaması öngörülmektedir.

II. Dona dayanıklılığın orta şiddetteki don etkisi altında belirlenmesi (Havada donma)

Deneyde agregalara önce su emdirilir, daha sonra sudan çıkarılan deney örneği soğutucu içine konarak, dondurulur ve tekrar suda çözülür. Böyle bir deneyde donma-çözülme çevrimi 20 kez tekrarlanır. TS 706 [12], bu deney yöntemi için de don kaybı oranı sınır değerini %4 olarak belirlemektedir.

III. Dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle belirlenmesi (Sodyum Sülfat veya Magnezyum Sülfat deneyi)

Sonuca kısa sürede varılmak istendiğinde dona dayanıklılık deneyi kimyasal yöntem ile yapılır. Bu yöntemde sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltilerinden yararlanılır. Agreganın numunesi etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulduktan sonra sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltisi içerisine daldırılarak, belirli bir süre bekletilir. Daldırma süresinin sonunda, numune çözeltiden çıkarılarak tekrar sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulur. Bu şekilde çevrim 5 kez tekrarlanır. Sonuçta; deney numunesi, TS 706 [12]'ya göre Tablo 2.1'deki sınırlardan fazla ağırlıkça kayıp vermemelidir [21].



Tablo 2.1 Dona Dayanıklılık Deneyi Sınır Değerleri

Agrega Sınıfı	% Sınırlar (ağırlıkça en fazla)	
	Sodyum Sülfat Çözeltisi	Magnezyum Sülfat Çözeltisi
İnce Agregat (Kum)	15.0	22.0
İri Agregat (Çakıl)	18.0	27.0

2.2.3 Zararlı Maddeler

Zararlı maddeler, betonun prizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, betonun dayanımını azaltan, parçalanmasına neden olan veya beton içindeki donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşüren maddeler olarak tanımlanır. Betonda bu şekilde olumsuz etkilere neden olan zararlı maddelerden agregalarda en çok bulunanları aşağıda incelenecektir [12,13].

a) İnce Maddeler (Yıkanabilir Maddeler)

Boyutu 0.063 mm (63 mikron) den küçük olan taneleri içeren malzeme ince madde olarak tanımlanır. Yıkanabilir ince maddeler agregalarda kısıtlı miktarda bulunması istenen zararlı maddelerdendir. Kil ve silt gibi 63 mikrondan daha ince taneli malzeme agregada topaklanmış halde veya toz halde dağılmış veya iri tanelerin yüzeyine yapışmış olarak bulunurlar. Bunlardan en zararlısı, yıkanabilir maddelerin agrega tanesinin yüzeyine yapışmış olanıdır. Çünkü bu durumda agrega ile çimento hamuru arasındaki bağ (aderans) çok zayıflayabilir ve sonuçta betonun dayanımı önemli ölçüde düşebilir. Öte yandan agregada kil veya siltin bazı tipleri çok fazla bulunursa betonun su ihtiyacı artacağından, dayanım yine olumsuz yönde etkilenecektir.

Özellikle eski göl ve dere yataklarından elde edilen agregalarda ince madde miktarı büyük değerlere varabilmektedir. Bu agregalar ancak iyi bir şekilde yıkanmaları halinde kullanılabilir.

Beton agregalarında ince madde oranının belirlenmesi ile ilgili Türk Standartları TS 3527 'dir [22]. Bu standardın incelenmesinden anlaşıldığı üzere, agregalarda ince madde miktarı ya ölçü silindiri (mezür) kullanılarak çökeltme yöntemi ile veya agreganın 0.063 mm'lik elek üzerinde yıkanması ile (yıkama yöntemi) yapılabilir. Kesin sonuca varılmak istendiğinde yıkama yöntemi kullanılmalıdır. İlgili TS 706 standardında (0-4 mm)agrega tane sınıfları için yıkanabilir madde miktarı ağırlıkça en fazla %4.0 değeri ile sınırlandırılmıştır [12,22].



b) Organik Maddeler

Organik maddelere daha çok kumlarda rastlanır. Humus, turba ve organik balçık gibi organik maddelerin beton agregasında bulunmaması istenir. Organik maddeler betonun prizini ve sertleşmesini geciktirerek dayanımın düşmesine neden olabilirler. Hatta bazı durumlarda betonun bozulmasına bile yol açabilirler [13].

TS 3673 [23]'e göre %3 NaOH eriyiği ile yapılan organik madde deneyinde sıvı renginin renksizden açık sarıya kadar değişmesi halinde organik maddelerin önemsiz miktarda bulunduğu karar verilebilir. Buna karşılık eriyiğin renginin koyu sarı, kahverengi veya kırmızı olması halinde agreganın organik maddeleri zararlı oranda içerdiği kabul edilebilir [13,23,24].

c) Hafif Maddeler

Agregalarda bulunabilen hafif maddeler, kömür ve linyit taneleri, odun parçaları, ayrılmış şist ve diğer muhtelif yumuşak taneler gibi yoğunlukları genellikle mineral kökenli agregatanelerinin yoğunluklarından daha düşük olan maddelerdir. Bu maddelerin agregalarda belirli bir miktarın üstünde bulunmaları halinde, bu agregalarla üretilen betonların dayanımları çok düşebilir. Hafif taneler don etkisine maruz kaldıklarında kolaylıkla parçalanabilirler. Öte yandan bu tür tanelerin hacim sabitliği özelliği yoktur. Bunlar özellikle beton yüzeyine yakın olmaları halinde şişerek beton yüzeyinde patlamalara neden olabilirler. Özellikle, bu maddelerin agregalarda aşırı miktarda bulunması, betonun dayanıklılığını, durabilitesini önemli şekilde etkiler.

Agrega içindeki hafif maddeler genellikle farklı renkleri ile gözle seçilip ayrılabilirler. Gözle seçme olanağı bulunmayan hallerde, bunların miktarı 2.0 kg / dm^3 yoğunluklu bir sıvıda yüzdürme yöntemiyle elde edilebilir. TS 706 [12], yüzdürme yöntemiyle bulunan organik kökenli hafif madde miktarının ağırlıkça, % 0.5'ten çok olmamasını öngörmektedir [25].

d) Alkali – Agregat Reaksiyonu

Alkali- agregat reaksiyonu (AAR) betonda çatlamalara yol açan kimyasal bir reaksiyondur. Bu reaksiyon bazı agregalarda bulunan aktif mineral bileşenler ile betona genellikle çimentodan gelen sodyum ve potasyum alkalileri arasında oluşur. AAR'nun başlıca türü alkali-silika (ASR) reaksiyonudur.

ASR'nin önemli derecede oluşması üç faktöre bağlıdır:

1. Çimentodaki alkali oksit ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}$) miktarı %0.6 dan büyük ise,

2. Agregada alkaliye duyarlı silisli mineraller bulunuyor ise;

Yurdumuzda bulunan agregalardaki alkaliye duyarlı tanelerin; opalli kumtaşı, diğer opalli taşlar ve reaksiyon yapabilen çakmaktaşı olmak üzere 3 grupta toplanabileceği belirtilmektedir.

3. Betonda yeterli miktarda rutubet bulunuyor ise;

ASR aşağıda açıklanan iki aşama sonunda zararlı etkisini gösterir;

Alkali + Silika → Jel (alkali silikat çözeltisi) (2.6 a)

Jel + Rutubet → Genleşme (2.6 b)

Buradaki iki aşama sonunda meydana gelen genleşme çatlamalara yol açarak, betonu hasara uğrattır.

AAR'nu inceleyen çeşitli deney yöntemleri mevcuttur. Ülkemizde ise konuyla ilgili olarak "Alkali Agregat Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini" adlı TS 2517 standardı bulunmaktadır [26,27].

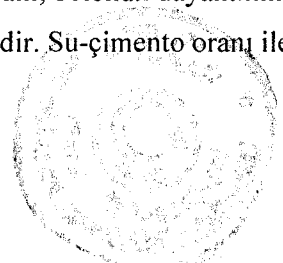
2.3 Karışım Suyu

Karışım suyu olarak doğada bulunan her türlü su kullanılabilir. Ancak, karışım suyunda beton prizini, katılaşmayı engelleyecek, donatı korozyonuna sebep olacak maddeler, bitkisel ve hayvansal yağlar, alkali tuzlar, amino asitler ve diğer zararlı maddeler bulunmamalıdır. Bu nedenle tuzlu, şekerli sular, deniz suları, endüstri atıkları ile kirlenmiş sular, bataklık suları vs. beton yapımında kullanılmamalıdır.

Bir dereeden alınan ve içinde çeşitli maddeler bulunan su, ya dinlenme havuzlarında dinlendirilmeli, yada çeşitli metotlarla temizlenmelidir. Bu konuda yapılan bazı deneyler göstermiştir ki, %1'e kadar SO_4 ihtiva eden suların betonda tesiri pek fazla değildir. %0.5'lik bir SO_4 konsantrasyonu betonda ortalama %4'lük bir mukavemet düşmesine neden olurken, %1'lik bir konsantrasyonda azalma %10'u geçmektedir. %5'lik bir tuz, mukavemeti %30 azaltmaktadır. Az miktarda sülfat ve klorür ihtiva eden yüksek karbonlaşmış mineralli sular, %80 kadar düşük mukavemete neden olmaktadır [28].

Betonda kullanılacak en iyi karma suyu olarak içme suyu tavsiye edilir önceden denenip uygun sonuçlar alınmış sularda kullanılabilir. İçerisinde betonun dayanımını olumsuz etkileyen amonyum tuzları, serbest klor, organik maddeler ve madeni yağlar gibi maddeler bulunmaması gerekir. Kullanılan su, çimentonun katılaşması için gerekli olmasının yanında betonun işlenebilirliğini de sağlamaktadır.

Kullanılacak su-çimento oranı iyi ayarlanmalıdır. Su-çimento oranı, betonun dayanımını ve dış etkilere karşı dayanıklılığını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Su-çimento oranı ile



betonun dayanımı ters orantılıdır. Karışımda kullanılacak su-çimento oranı küçüldükçe betonun dayanımı artar.

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır:

1. Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek,
2. Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlenin sertleşmesini sağlamak.

Kıvam 1 m³'e giren su miktarına bağlıdır. Beton mukavemeti su/çimento oranına bağlıdır. İşte bu sebeple taze betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini önemli derecede azaltır. Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir. Bir takım ön deneyler yapılmak kaydıyla içilmeyen sularla gayet kaliteli beton üretilebilir. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım, endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkilere neden olabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamaktadır. Boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb. zararlı etkenler) beton ve donatıya zarar vermekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır [10].

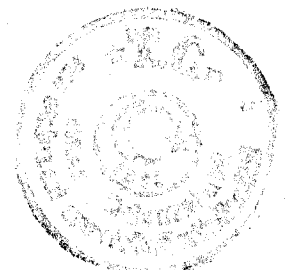
2.4 Beton Katkıları

Katkı maddeleri; Taze veya sertleşmiş betonun yada taze durumdan sertleşmeye geçen betonun bazı özelliklerini değiştirmek amacıyla harman sırasında betonun, kum, çakıl, çimento ve su gibi normal bileşeni kabul edilerek karışıma ilave edilen maddelerdir.

Katkı maddeleri çeşitli nedenlerden dolayı kullanılmaktadır.

Bunlar:

- Priz süresini kısaltmak veya uzatmak,
- Karışım suyu miktarını azaltmak ve sertleşmeyi kontrol etmek,
- Beton içinde hava sürüklemek,
- Hava oranını azaltmak ve betonu yoğunlaştırmak,
- Betonu daha akışkan bir hale getirmek,
- Genleşmeyi sağlamak,
- Betonun su ve buhar geçirimsizliğini sağlamak,
- Aderansı arttırmak,
- Alkali-daneli malzeme genleşmesini azaltmak,
- Donatı korozyonunu önlemek,



- Beton terlemesini kontrol etmek,
- İstenen rengi vermek için belli oranlarda betona ilave edilirler [28].

Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkıları olarak ikiye ayırmak mümkündür.

2.4.1 Kimyasal Katkıları

a) Su Azaltıcıları (Akışkanlaştırıcıları)

Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin, daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Azalttığı su miktarı ile orantılı olarak normal ve süper akışkanlaştırıcı şeklinde isimlendirilirler.

b) Priz Geciktiriciler

Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdır.

c) Priz Hızlandırıcıları

Priz geciktiricilerin aksine, bu katkıları betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

d) Antifrizler

Suyun donmasını zorlaştırır ve don neticesi çimentonun mukavemet kazanmasındaki aksamaya engel olurlar. Bu katkıların betondaki miktarı hava sıcaklığına göre ayarlanabilir.

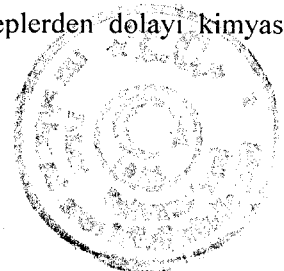
e) Hava Sürükleyici Katkıları

Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.

f) Su Geçirimsizlik Katkıları

Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılarıdır. Ancak, yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozup bozmadıkları araştırılmalıdır. Bu sebeplerden dolayı kimyasal katkıları, betonun ayrılmaz parçası olmuştur.



2.4.2 Mineral Katkılar

Çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf, uçucu kül, silis dumanı, taşunu... vb. çeşitli maddelere “Mineral Katkı” adı verilir. Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar fakat, birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkıları doğal puzolanlar, uçucu küller, silis dumanı, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu tez çalışmasında mineral katkı olarak uçucu kül ve silis dumanı kullanıldığından, diğer katkılardan bahsedilmemiştir.

2.4.2.1 Uçucu Küller

Termik santrallerin en önemli atık malzemesi toz kömürün yanmasıyla meydana gelen baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Bunlar elektrostatik yöntemlerle elektrofiltrelerde ve siklonlarda yakalanmakta ve baca gazlarıyla atmosfere çıkışları önlenmektedir. Bu şekilde elde edilen küle uçucu kül adı verilir. Uçucu kül tanecikleri çoğunlukla küresel yapıda olup büyüklükleri 1-200µm arasında değişmektedir. Bir uçucu külün tane boyutları termik santraldeki kül toplama yöntem ve ekipmanına bağlıdır. Uçucu küllerin renkleri açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar değişik tonlarda olabilir. İçindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça uçucu küllerin renkleri koyulaşır.

Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları santralde kullanılan kömürün içerdiği mineral safsızlıkların tipi ve miktarına bağlıdır. Genellikle uçucu küllerin %85 ini SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ve MgO oluşturur.

Uçucu küller kimyasal kompozisyonlarına göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklamaları ile sıralanmıştır.

I. Kireç ve SO_3 Göre Sınıflandırılması: Bu sınıflandırmaya göre;

- a) Esas yapısı silikoaluminatlardan meydana gelen ve genellikle taş kömüründen elde edilen uçucu küllere “silikoaluminoz uçucu küller”,
- b) Genellikle linyit kömüründen elde edilen ve diğerlerine oranla yüksek miktarda SO_3 ve CaO içeren küllere “sülfokalsik uçucu küller”,
- c) Diğerleri gibi genellikle linyit kömürlerinden elde edilen kireç silika miktarı yüksek uçucu küllere ise “silikokalsik uçucu küller” adı verilir [29].

II. CaO Miktarına Göre Sınıflandırma: Son yıllarda oldukça geniş kabul gören bir başka sınıflandırma ise uçucu külün içerdiği analitik CaO miktarına dayanmaktadır. Buna göre, CaO



miktarı %10'un altında olan uçucu küller düşük kireçli veya düşük kalsiyumlu, %10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya yüksek kalsiyumlu uçucu küller olarak adlandırılırlar.

III. ASTM C 618 Sınıflandırması: ASTM C 618 [31] 'e göre uçucu küller iki kategoriye ayrılmaktadır. Buna göre:

a) F sınıfı uçucu küller bitümlü kömürlerden elde edilip $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$ şartını sağlayan uçucu küllerdir,

b) C sınıfı uçucu küller ise genelde linyitler veya yarı bitümlü kömürlerden elde edilip $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$ şartını sağlayan uçucu küllerdir.

Yukarda sözü edilen silikoaluminöz küller F sınıfına dahildirler. Silikokalsik uçucu küllerin kimi F sınıfına kimide C sınıfına; sülfokalsik uçucu küllerin bir çoğu ise C sınıfına girerler.

IV. ENV 197-1 Sınıflandırması: Tokyay ve diğ. (1998) araştırmasına göre, Avrupa Çimento Standardı ENV 197-1'e göre uçucu küllü çimentolarda kullanılabilecek uçucu küller:

a) Silisli Uçucu Küller (V) ve,

b) Kalkerli Uçucu Küller (W) olarak iki gruba ayrılmaktadır [29]. V sınıfı küller esas itibariyle reaktif silika ve aluminadan meydana gelmiş olan reaktif CaO miktarı %5'in altında, reaktif SiO_2 miktarı ise %25'in üstünde olan uçucu küllerdir. W sınıfı uçucu küller ise esas itibariyle reaktif CaO , reaktif SiO_2 ve aluminadan oluşan, reaktif CaO miktarı %52'in üstünde uçucu küllerdir.

Yukarda belirtilenlerin dışında, Polonya'da benimsenmiş olan iki sınıflandırma da ilginçtir. Her iki sınıflandırmada da uçucu küller dört gruba ayrılmaktadır. Birinci sınıflandırma SiO_2 , Al_2O_3 , CaO ve SO_3 miktarı ve oranlarına göre yapılmıştır. Buna göre,

Grup I: İçerdikleri SiO_2 miktarı, Al_2O_3 miktarından yüksektir. CaO miktarı %15'in altındadır.

Grup II: SiO_2 miktarı Al_2O_3 miktarından daha düşüktür. CaO miktarı yine %15'in altında SO_3 miktarı ise %3'ün altındadır.

Grup III: Sülfokalsik uçucu küller niteliğinde olan bu grupta CaO %15'in, SO_3 %3'ün üzerindedir.

Grup IV: Bu grupta CaO yine %15'in üstünde iken, SO_3 %3'ün altındadır.

İkinci sınıflandırma ise küllerin yalnızca CaO içeriklerine bağlı olarak yapılmaktadır.

Buna göre,

$\text{CaO} < \%3.5$ olan küller çok düşük aktiviteli

$\%3.5 < \text{CaO} < \%7$ olan küller düşük aktiviteli

$\%7 < \text{CaO} < \%14$ olan küller aktif



CaO>%14 olan küller çok aktif uçucu küller olarak adlandırılmaktadır [29].

Ancak, belirtilen tüm bu sınıflandırmalar sorunu gerçektekinden daha basitleştirmektedir. Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonlarının elde edildikleri kömürün jeolojik geçmişiyle, termik santraldeki yanma sıcaklığıyla, üretilen enerji miktarıyla, kül toplama sisteminin özellikleriyle, v.b. doğrudan ilişkili olması her türlü sınıflandırma çabasını yetersiz kılmaktadır. Yukarıda da görüldüğü gibi, geniş sınıflandırmalar yapmak mümkündür ancak, bazı uçucu küller birden fazla sınıfın özelliklerini taşıırken bazıları da neredeyse kendileri bir sınıf oluşturacak kadar özel niteliklere sahip olabilirler. Bazı araştırmacılar uçucu küllerin sınıflandırılması çabalarına oldukça radikal bir biçimde yaklaşarak her uçucu külün bizzat kendi sınıfını meydana getirdiğini belirtmektedirler [29].

a) Uçucu Küllerin Kimyasal ve Mineralojik Yapıları

Uçucu küller senosfer (içi boşluklu) ve plerosfer (iç içe geçmiş) olarak adlandırılan camsı kürecikler, süngerimsi yapıda, yanma sonucu dekompoze olmuş, kil safsızlıkları, hematit ve manyetit kürecikleri, bir kristal üzerinde oluşan daha kaba kürecikler (demosfer), diğer mineral parçacıkları ve yanmamış kömür taneciklerinden oluşur. Kimyasal yapılarında ana elementler olarak Si, Al, Ca, Fe ve S bulunur. Bu elementler yanma biçimine bağlı olarak, SiO₂, Al₂O₃, demir oksitler (Fe₂O₃, FeO, Fe₃O₄), kireç (CaO) ve SO₃ oluştururlar. Bunların dışında, daha az miktarda MgO, alkali oksitler (Na₂O, K₂O), TiO₂ v.b. uçucu küller içinde bulunabilir.

Uçucu küllerin karbon içeriği termik santralin verimine bağlıdır. Genel olarak modern termik santrallerde bu miktar %3'ün altındadır. Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonlarının yüksek fırın cürufu, kil ve çimentolarda karşılaştırılması Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2 Uçucu Küllerin Tipik Kimyasal Kompozisyonlarının Yüksek Fırın Cürufu, Kil ve Çimento ile Karşılaştırılması

Oksit	Silikoaluminöz Uçucu Kül	Sülfokalsik Uçucu Kül	Silikokalsik Uçucu Kül	Yüksek Fırın Cürufu	Kil	Portland Çimentosu
SiO ₂	50.0	18.0	38.0	30.0	50.0	22.0
Al ₂ O ₃	30.0	12.0	22.0	11.0	17.0	6.0
Fe ₂ O ₃	7.0	7.0	4.0	1.0	8.0	3.0
CaO	2.6	67.0	24.0	40.0	5.0	65.0
MgO	1.8	1.8	5.0	-	-	
SO ₃	0.5	6.0	1.0	-	7.0	
K ₂ O	5.0	6.0	2.0	-	0.4	
Na ₂ O	0.8	8.2	1.0	-	0.4	
Diğer	3.0	1.2	3.0	-	12.4	



Uçucu küllerin çimento ve beton endüstrisinde kullanılma nedenleri içinde en önemlilerinden birisi olan puzolanik özellikleri kimyasal kompozisyonlarından ziyade mineralojik yapılarına bağlıdır. Düşük kireçli uçucu küllerdeki ana aktif bileşen silika ve aluminadan oluşan amorf veya camı fazdır. Bu tür uçucu küller rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcı özelliklere sahip bileşenler meydana getirirler. Diğer bir deyişle, düşük kireçli uçucu küller puzolanik özeliğe sahiptirler. Yüksek kireçli küller ise bir yandan puzolanik özellik gösterirken, içerdikleri serbest kireç, anhidrit, trikalsiyum aluminat, amorf silika ve alumina v.b. nedeniyle de kendi başlarına bir miktar bağlayıcı özeliğe sahip olabilirler. Düşük kireçli uçucu küllerin camı faz miktarı yüksek kireçlilere oranla daha yüksektir [29].

Düşük kalsiyumlu uçucu küllerde görülen mineral fazlar camı faz, mullit ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$), hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_3O_4), kuvartz (SiO_2), v.b. iken yüksek kalsiyumlu küllerde bunlara ek olarak, zaman zaman daha fazla miktarda serbest (CaO), anhidrit (CaSO_4), trikalsiyum aluminat ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$) ve feldspat, gehlenit gibi çeşitli kalsiyum silikatlar bulunur. Uçucu küllerin tipik mineralojik kompozisyonları Tablo 2.3’de verilmiştir.

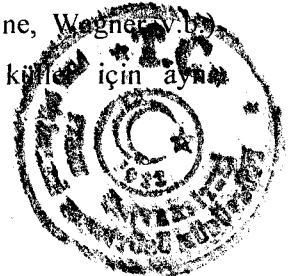
Tablo 2.3 Uçucu Küllerin Mineralojik Kompozisyonları

Mineral (%)	Silikoaluminöz Uçucu Kül	Sülfokalsik Uçucu Kül	Silikokalsik Uçucu Kül
Camsı ve Amorf Faz	60	35	50
Mullit	20	1	5
Hematit	7	4	3
Manyetit	6	1	1
Kuvartz	5	5	5
Anhidrit	-	15	5
Serbest Kireç	-	20	10
Feldspat ve Gehlenit	-	≥ 20	≥ 15

b) Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

I. İncelik: Uçucu küllerin incelikleri kül tutma mekanizmalarına bağlıdır. Ancak, elektrostatik yöntemlerle tutulan uçucu küller, çimento ve beton endüstrisinde kullanım açısından daha uygundur. Bir termik santralden elde edilen uçucu küllerin tane dağılımları zaman içinde kömür kaynağında, kömür öğütme yönteminde, termik santralin çalışma prensiplerinde büyük değişiklikler olmadığı sürece, sabit kabul edilebilir.

Uçucu küllerin inceliklerinin tayini yöntemleri konusunda araştırmacılar arasında çeşitli anlaşmazlıklar mevcuttur. İnceliğin özgül yüzey cinsinden ölçülmesi (Blaine, Wagner v.b.) portland çimentoları için anlamlı bir yöntem olmakla birlikte uçucu küller için aynı



güvenilirlikte kullanılamayacağı iddia edilmektedir. Buna karşın, şimdiye kadar yapılan çeşitli araştırmalar uçucu küllerin özgül yüzeylerinin 1800-5000 cm²/gr arasında değiştiğini göstermektedir. Öte yandan pratik oluşu nedeniyle sıkça kullanılan bir başka yöntem ASTM No 325 (45 µm) eleğinin üstünde kalan kısmın tespit edilmesidir. Bunların dışında lazerli tane dağılım analizi, hidrometre analizi, azot absorpsiyonu, x ışınları sedimantasyonu gibi yöntemler de uçucu küllerin inceliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

II. Yoğunluk: Uçucu küllerin yoğunlukları inceliklerine ve mineralojik yapılarına bağlıdır ve genellikle 1,9-2,4 arasında değişir. Kuru uçucu külün gevşek birim ağırlığı yaklaşık 800 kg/m³ tür [29,30].

c) Radyoaktivite

Çeşitli mineraller, kayalar, kömürler gibi birçok doğal malzeme az veya çok radyoaktif özellik taşır. Radyoaktivite bu malzemelerde eser miktarda bulunan ve çekirdekleri kendiliğinden bozularak α,β veya γ ışınları yayan elementlerden kaynaklanır. α ve β ışınları, sırasıyla, iyonize helyum atomları ve elektronlardır. γ ışınları ise elektromanyetik radyasyondur [29,30].

2.4.2.2 Silis Dumanı

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında otaya çıkan gazın hızlı soğutularak yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85 - %98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye “yoğunlaştırılmış silis dumanı” veya kısaca “silis dumanı” adı verilmektedir.

Bu malzeme, “mikrosilis” veya “silis tozu” veya “silika fume” gibi isimlerle de anılmaktadır. Silis dumanı, amorf yapıya sahip olduğundan, çok ince taneli malzeme olduğundan ve yüksek miktarda SiO₂ içerdiğinden, mükemmel bir puzolanik malzemedir. Diğer puzolanik malzemeler gibi, kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştirildiği takdirde, hidrolik bağlayıcılık göstermektedir.

Silis dumanı, portland çimentosu klinkeriyle ve küçük bir miktardaki alçıyla birlikte öğütülerek “silis dumanlı çimento” (çimento-silika fume) üretiminde kullanılabilir. Ancak, asıl kullanımı, beton katkı maddesi tarzındadır. Genellikle, beton karışımında yer alan çimento miktarı yaklaşık %10 kadar azaltılmakta ve onun yerine bu puzolanik madde yerleştirilmektedir. Çok ince taneli olması ve çok yüksek miktarda SiO₂ içermesi nedeniyle



gerek ilk zamanlarda ve gerekse nihai olarak oldukça yüksek dayanımlı betonların elde edilebilmesinde kullanılmaktadır.

Silis dumanının çok ince tanelerden oluşmuş olması, taze betonun kıvamını ve işlenebilirliğini azaltmakta, su ihtiyacını artırmaktadır. O nedenle, yüksek dayanımlı beton üretimi için katkı maddesi olarak silis dumanı kullanıldığında, ayrıca, su-azaltıcı katkı maddesi de kullanılmaktadır [9].

a) Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri

I. Renk: Silis dumanının rengi açık griden koyu griye kadar değişiklik göstermektedir. Karbon içeriği arttıkça renk daha koyu olmaktadır. Su ile birleşmiş durumda, siyaha yakın bir renk sergilemektedir.

II. İncelik: Silis dumanını oluşturan taneciklerin boyutları 0.1-0.2 μm kadardır. 45 μm boyutlu elekten elendiğinde, elek üzerinde kalan taneler aşırı büyük boyutlu taneler olarak kabul edilmektedir. Bu tür tanelerin miktarı genellikle %6'nın altındadır. Kanada standardı aşırı büyük boyutlu tanelerin %10'dan çok olmaması gerektiğini belirtmektedir [9].

Silis dumanının inceliği çimentonun ve diğer puzolanların inceliğini ölçmek için kullanılan Blaine yöntemiyle tayin edilememektedir. Özgül yüzey tayini için nitrojen emme yöntemi kullanılmaktadır. Silis dumanının özgül yüzeyi 130,000-280,000 cm^2/g arasında değişmektedir. Beton katkı maddesi olarak kullanılan silis dumanının özgül yüzeyi, genellikle, 200,000 cm^2/g civarındadır.

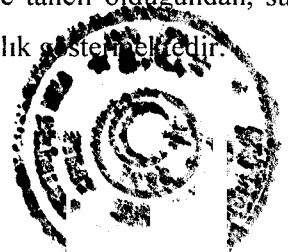
Silis dumanının ne kadar ince taneli olduğunu daha iyi açıklayabilmek amacıyla, aşağıda silis dumanının ve bazı malzemelerin özgül yüzeylerine dair değerler verilmektedir [9]:

Silis dumanı	: ~200,000 cm^2/gr .
Sigara dumanı	: ~100,000 cm^2/gr
Uçucu kül	: ~4,000-7,000 cm^2/gr
Portland çimentosu	: ~3,000 cm^2/gr

III. Özgül ağırlık: Silis dumanının özgül ağırlığı 2.2-2.3 gr/dm^3 kadardır. Bilindiği gibi portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.10-3.15 civarındadır.

IV. Gevşek Birim Ağırlık: Silis dumanının birim ağırlığı, üretildiği haliyle, 240 – 300 kg/m^3 civarındadır. Sıkıştırılmış durumdaki portland çimentosunun birim ağırlığı 1200 kg/m^3 kadardır. Yani 50 kg portland çimentosu alan torbaya ancak 10-12 kg kadar gevşek durumdaki silis dumanı yerleştirilebilmektedir.

V. Su İhtiyacı ve Puzolanik Aktivite: Silis dumanı çok ince taneli olduğundan, su ihtiyacı oldukça yüksektir. Ayrıca, çok kuvvetli bir puzolanik bağlayıcılık göstermektedir.



Silis dumanının su ihtiyacının en fazla ne miktarda olması ve en az ne miktarda olması dayanım-aktivite indeksine sahip olması gerektiğini, TS ve ASTM standartlarında yer almamaktadır. Ancak yapılan çalışmalarda kontrol numunesine oranla silis dumanı katkılı numunelerin su emmesi %134, dayanım-aktivite indeksi ise %110 kadardır [32,33].

b) Silis Dumanının Kimyasal Kompozisyonu

Silis dumanındaki SiO_2 miktarı, genellikle %85'in üzerindedir. Bunun yanı sıra, çok küçük miktarda bazı değişik maddeler de bulunabilmektedir.

Tablo 2.4, ABD'de, Norveç'te ve Türkiye'de üretilen silis dumanlarının kimyasal kompozisyonlarını göstermektedir.

Tablo 2.4 Silis Dumanlarının Kimyasal Kompozisyonları, (%'ce)

İçerik	ABD	Norveç	Türkiye
SiO_2	90.0-93.0	90.0-96.0	93.0-95.0
C	1.3-2.6	0.5-1.4	0.8-1.0
Fe_2O_3	0.4-0.7	0.2-0.8	0.4-1.0
Al_2O_3	0.5-1.6	0.5-3.0	0.4-1.4
MgO	0.3-0.5	0.5-1.5	1.0-1.5
CaO	0.5-0.8	0.1-0.5	0.6-1.0
Na_2O	0.1-0.3	0.2-0.7	0.1-0.4
K_2O	1.0-1.2	0.4-1.0	0.5-1.0
S	0.1-0.2	0.1-0.4	0.1-0.3
Kızdırma Kaybı	1.4-2.8	0.7-2.5	0.5-1.0

“Karbon miktarı” ile “kızdırma kaybı miktarı”, Tablo 2.4'den görülebileceği gibi, çok yakın değerlerdir. Kızdırma kaybı değerinin %85 - %95'i, silis içerisinde yer alan yanmamış kömür taneciklerinden oluşmaktadır. O nedenle, çoğu zaman, bu iki değer eş anlamda kabul edilmektedir. Silis dumanında karbon miktarının fazla olması, sürüklenmiş beton üretiminde kullanılacak hava sürükleyici katkı ihtiyacını artırmaktadır. Kanada standartları, silis dumanındaki karbon miktarının %6'yı geçmemesi gerektiğini belirtmektedir [32].

c) Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkileri

Silis dumanının beton özelliklerine etkilerini şöyle özetlemek mümkündür:

a) Olumlu etkileri;

- I. Betonda yüksek basınç dayanımı elde edilmesini sağlamaktadır,

- II. Taze betondaki terlemeyi ve ayrışmayı azaltmaktadır,
- III. Betonun hidratasyon ısını azaltmaktadır,
- IV. Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmaktadır,
- V. Sertleşmiş betondaki alkali-silika reaksiyonunu azaltmaktadır,
- VI. Sertleşmiş betonun sülfatlara karşı dayanıklılığını artırmaktadır.

b) Potansiyel zararlı etkileri;

- I. Silis dumanı kullanılarak üretilen betonların yüksek miktarda karışım suyu ihtiyaçları vardır. Bunu telafi edebilmek için su azaltıcı katkılarla birlikte kullanılmaları gerekmektedir,
- II. Silis dumanı çok ince taneli olduğundan ve terlemeyi azalttığından, betonun yüzeyinin düzeltilmesi işlemi daha zor olabilmektedir,
- III. Silis dumanı kullanılması durumunda, daha çok miktarda plastik büzülme çatlağına yol açabilmektedir.
- IV. Silis dumanı, nispeten daha koyu renkli beton elde edilmesine neden olmaktadır [32].

d) Silis Dumanının Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanabilirliğine Dair Standartların Belirtildiği Sınır Değerler

Silis dumanının beton katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için ne gibi özelliklere sahip olması gerektiğine dair, Türk Standartları'nda ve ASTM'de sınır değerler belirtilmemektedir. Ancak, CSA –A23.5.M.86 no.lu Kanada Standardı bu konuda yararlı bilgileri ve hükümleri içermektedir [31,32,33].

Bazı değerler belirtmek gerekirse: dayanım aktivite en az %85, 45µm üzerinde kalan miktar en çok %10 olmalıdır. SiO₂ miktarı en az %85, SO₃ ve kızdırma kaybı, sırasıyla, en çok %1.0 ve %6 olmalıdır.



3. BETONDAN BEKLENİLEN ÖZELLİKLER

Yapıda istenilen şekil ve boyutlarda betondan yapılmış elemanların kullanılması için, önce, o şekil ve boyutlardaki kalıplar hazırlanmakta ve içlerine taze beton yerleştirilmektedir. Kalıpların içerisindeki beton yeterince sertleşip dayanım kazandıktan sonra da, kalıplar sökülmeaktadır. Betonun sertleşmesi ve dayanım kazanması, kalıpların sökülmesinden sonra devam etmektedir.

Bazen, istenilen şekil ve boyutlardaki kalıplar kullanılarak, içerisinde çelik donatı bulunmayan veya çelik donatı ile takviye edilmiş beton elemanlar bir fabrikada önceden üretilmekte ve sertleşmiş durumdaki bu elemanlar, yapının bulunduğu yere taşınarak kullanılmaktadırlar. Beton bloklar, direkler, borular, panel duvarlar, kirişler, döşemeler gibi elemanlar, ön yapımlı (prefabrike) elemanlara örnek olarak belirtilebilecek elemanlardır [9].

3.1 Taze Betondan Beklenen Özellikler

Taze beton kolayca karılabilir, taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır; bu işlemler sırasında iri agregalarla çimento harcı arasında ayrışma olmamalıdır.

Yerine yerleştirilen taze betonun içerisindeki suyun yukarıya çıkma eğilimi (terleme) mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Betonun homojen yapısı bozulmamalıdır.

Ayrıca, malzemelerin karılmasından hemen sonra plastik duruma sahip bir betonda, plastikliğin kaybolmasına kadar geçen sürenin uzunluğu (priz süresi) gerekenden daha uzun veya daha kısa olmamalıdır.

3.2. Sertleşmiş Betondan Beklenen Özellikler

İster yapıdaki kalıbına yerleştirilerek elde edilen beton elemanların üretilmesinde, isterse önyapımlı beton elemanların üretilmesinde, üreticinin ve kullanıcının son hedefi, sertleşmiş durumdaki betonun, kendisinden beklenen özellikleri gösterebilecek kalitede olmasıdır.

Sertleşmiş betondan beklenen özellikler başlıca şu şekilde belirtilebilir: Sertleşmiş beton,

- 7 günlük, 28 günlük, 90 günlük gibi herhangi bir yaş için hedeflenmiş olan minimum beton dayanımından daha az bir dayanım göstermemelidir.
- Çevredeki suyun ve diğer sıvıların içerisine kolayca girerek olumsuz etki oluşturmaması için, yeterince geçirimsiz olmalıdır.



- Yapıda hizmet gördüğü süre içerisinde çevrede oluşan yıpratıcı etkenler karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır. Bir başka deyişle, donma-çözölmeye, ıslanma-kurumaya, ısınma-soğuma, aşınmaya, asitlere, sülfatlara ve alkali-agarega reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık gösterebilecek kalitede olmalıdır.

- Yeterli hacim sabitliğine sahip olmalıdır; yani, çatlamalara yol açacak ölçüde büzölme (rötre) veya genleşme göstermemelidir.

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, tekrarlı yükler altında yorulma dayanımı, gerilme-birim deformasyon ilişkisi, elastiklik modülü, poisson oranı, ısısal genleşme katsayısı, rötre (büzölme), sabit yükler altında sünme ve yoğunluk, betonda aranan önemli özelliklerdir [9].

3.3 Beton Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Gerek taze betonun ve gerekse sertleşmiş betonun tüm özellikleri, beton karışımının oluşturulmasında kullanılan çimentonun, agreganın, suyun ve katkı maddelerinin özellikleri ve karışım içerisinde yer almış oldukları oranlar tarafından etkilenmektedir. Sertleşmiş beton, taze betonun katılaşmasından sonraki safhadaki durumu olarak tanımlandığı için, sertleşmiş betondan beklenen performans, önemli ölçüde taze betonun özelliklerine bağlı olmaktadır.

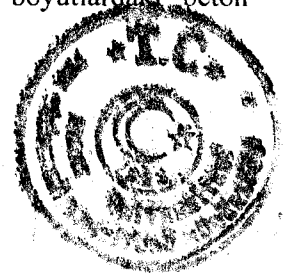
Sertleşmiş betonun özelliklerini çok büyük ölçüde etkileyen başka faktörlerde bulunmaktadır. Bunlar, taze betonun uygun tarzda taşınması, yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzgünleştirilmesi ve hidrasyonun sağlıklı şekilde yer alabilmesi için kür edilmesi (bakım) işlemleridir. Sertleşmiş betondan beklenen özelliklerin elde edilebilmesi için bu işlemlerin uygun tarzda yerine getirilmiş olmaları gerekmektedir [9].

3.4 Diğer Yapı Malzemelerine Göre Betonun Avantajları ve Dezavantajları

a) Betonun Avantajları

Betonun çok değişik yapılarda çok değişik amaçlarla kullanılan önemli ve popüler bir yapı malzemesi olmasının nedenleri, bu malzemenin sahip olduğu üstün özelliklerden ileri gelmektedir. Betonu diğer yapı malzemelerinden daha elverişli kılan özellikleri, “betonun avantajları” olarak adlandırabilmek mümkündür. Betonun avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [9].

1. Taze betonun plastik özelliği nedeniyle, istenilen şekil ve boyutlardaki beton elemanlar kolayca üretilmektedir.



- II. Setleşmiş beton elemanlar yapıdaki yerinde üretilebildiği gibi, bir fabrikada da önceden üretilebilmekte ve yapıya sertleşmiş elemanlar olarak getirilip kullanılabilir.
- III. Beton yerleştirme yöntemlerinde çeşitlilik ve kolaylık bulunmaktadır. Taze betonun plastik özelliğe sahip olması nedeniyle, yapının bulunduğu yerdeki erişilmesi güç noktalara bu malzemenin pompalanarak taşınabilmesi veya değişik eğimli yüzeylere püskürtülerek yerleştirilebilmesi mümkün olabilmektedir.
- IV. Sertleşmiş beton oldukça yüksek basınç dayanımına sahiptir. Uygun malzemelerle uygun yöntemlerle üretilen betonların basınç dayanımları bazı doğal taşların basınç dayanımlarına yakın değerler gösterebilmektedir.
- V. Sertleşmiş beton, hizmet gördüğü süre boyunca, çevrede oluşan yıpratıcı etkenlere karşı diğer yapı malzemelerinin çoğundan daha dayanıklıdır. Bakım işlemleri ve masraf gerektirmemektedir.
- VI. Beton, çelik donatılarla çok iyi aderans (kenetlenme) gösterebilecek kapasitede bir özelliğe sahiptir.
- VII. Beton, diğer yapı malzemelerine göre, daha ekonomiktir.
- VIII. Beton, estetik amaçlarla kullanılmaya uygun özellikte bir malzemedir. Beton elemanlara istenilen şekil ve yüzey dokusu verilebilmekte, renklendirici katkı maddelerinin istenilen renkte beton üretilebilmektedir.

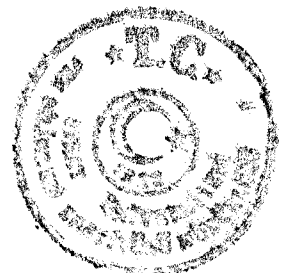
b) Betonun Dezavantajları

Mükemmel bir yapı malzemesi olarak nitelendirilebilecek olan betonun, diğer yapı malzemelerine göre bazı eksik yanları da mevcuttur. Bu eksiklikler, “betonun dezavantajı” olarak adlandırılabilir. Aslında, betonun dezavantajı olarak belirtilebilecek özelliklerin hiçbiri, betonun kullanımını engelleyecek nitelikte değildir. Ancak, betonun dezavantajlı tarafının bilinmesi, ve bu eksiklikleri giderebilecek önlemlerin alınması gerekmektedir. Betonun dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [9].

- I. Sertleşmiş beton, çekme dayanımı düşük olan bir malzemedir.
- II. Sertleşmiş beton gevrek özelliğe sahiptir.
- III. Beton, çevreden maruz kalabileceği ısınma-kuruma veya sıcaklık değişiklikleri karşısında bir miktar hacim değişikliği gösterebilmektedir.
- IV. Beton, birçok yapı malzemesi gibi, sabit yükler altında zamanla kalıcı deformasyon gösterebilmektedir.



- V. Beton, mükemmel geçirimsizliğe sahip değildir; içerisine bir miktar su veya zararlı maddeler içeren sular sızabilmekte ve betonun dayanıklılığını azaltabilecek olaylara neden olabilmektedir.
- VI. Betonlardaki “dayanım/ağırlık” oranı, metallerde olduğu kadar yüksek değildir. Yüksek değerdeki yüklerin taşınabilmesi için, metallere göre, daha büyük boyutlarda beton elemanların kullanılması gerekmektedir.



4. BETON DAYANIMI

Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan betonun üzerine değişik yönlerde etki yapan statik ve/veya dinamik yükler (kuvvetler) gelebilmektedir. Beton, bu yükleri taşıyabilmek için direnç göstermektedir. Doğal olarak, üzerine gelen yükün etkisiyle betonda bir miktar şekil değişikliği meydana gelmektedir. Üzerine gelen yüklerin büyüklüğü arttıkça, hem betondaki şekil değişikliklerinin miktarı artmakta, hem de bu yükleri taşıyabilmek için daha çok direnç gerekmektedir. Şayet, betonun üzerine gelen yüklerin büyüklüğü, betonun bu yüklere karşı koyma kapasitesinden daha büyük boyutlara ulaşır ise, çok büyük şekil değişiklikleri yer almakta ve beton kırılmaktadır [9].

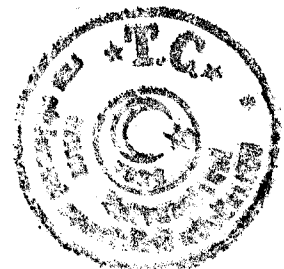
Bilindiği gibi, bir malzemenin birim alanının üzerinde etki yapan yük, “gerilme” olarak adlandırılmakta ve kgf/cm^2 veya MPa gibi birimlerle ifade edilmektedir.

“Beton dayanımı”, “üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme” olarak tanımlanmaktadır.

Betonun üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler oluşturabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi oluşturacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyeti, sırasıyla, basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kayma dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Tekrarlı yüklerin etkisi altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyetine ise yorulma dayanımı denilmektedir [13].

Sertleşmiş betonun belirli dayanımda olmasının yanı sıra, yeterli dayanıklılığı göstermesi, su geçirimsizliğinin az olması gibi diğer bazı özelliklere de sahip olması istenir. Bu özelliklerin her biri çok önemli olmakla beraber, beton özellikleri arasında en çok aranılanı ve kullanılanı, dayanım özelliğidir. Bunun nedenleri aşağıdaki gibi özetleyebilmek mümkündür.

- I. Betonun genellikle kullanıldığı yapılar, basınç, çekme, eğilme ve kayma oluşturacak kuvvetlerin etkisi altındadır. O nedenle, betondaki basınç, çekme, eğilme ve kayma dayanımlarının bilinmesi, beton yapıların bu yükler altındaki taşıma kapasitelerinin bilinmesine yaramaktadır.
- II. Sertleşmiş betonda aranılan hacim sabitliği, dayanıklılık, su geçirimsizlik ve dayanım gibi bir çok özellik arasında, deneysel olarak en kolay tayin edileni betonun dayanım özelliğidir.
- III. Betonun dayanım özelliği ile diğer özellikleri arasında bir korelasyon kurabilmek ve kalitatif (niteleyici) olarak diğer özelliklerin ne büyüklükte olduğunu değerlendirebilmek mümkündür. Örneğin, dayanımı yüksek olan bir betonda, su geçirimsizlik ve dayanıklılık da daha iyi olmaktadır [9].



4.1 Beton Dayanımını Oluşturan Unsurlar

Betonun yapısı makro ölçekte ele alınacak olursa: Betonun, çimento hamurundan ve bu hamur içerisine gömülmüş olan agregatanelerinden oluşan kompozit bir malzeme olduğunu kabul edebilmek mümkündür. Betonun yük altında kırılması, çimento hamuru veya agreganın yeterli direnci gösterememesinden yada çimento hamuru ile agregataneleri arasındaki aderansın yeterince yüksek olmamasından kaynaklanmaktadır. Bir başka deyişle, beton dayanımı, aşağıda sıralanan dayanımların büyüklüklerine bağlıdır:

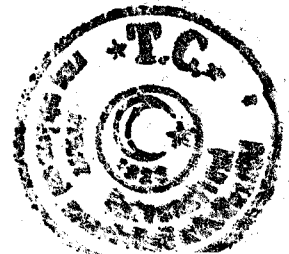
a) Çimento hamurunun dayanımı: Bilindiği gibi, çimento hamuru, bağlayıcı özelliğe sahip bir malzemedir, agregaların yüzeyini kaplamakta, agregatanelerinin arasındaki boşlukları doldurmakta, agregataneleri ile aderans kurarak, betonun tek bir malzeme durumunu alabilmesini sağlamaktadır. Sertleşmiş çimento hamurunun dayanımının yüksek olmadığı takdirde betona uygulanan yükler karşısında, çatlamların ve kırılmaların oluşması bu malzemeden başlamaktadır.

b) Agreganın dayanımı: Beton üretiminde kullanılan agregaların sert, dayanıklı ve temiz olmaları, mümkün olabildiği kadar reaktif silis ve reaktif karbonat içermemeleri gerekmektedir. Normal ağırlıklı beton üretiminde kullanılan agregalar genellikle çimento hamurunun dayanımından daha yüksek dayanıma sahiptirler. Ancak, beton yapımında kullanılan agregalar düşük dayanımlı ve kolayca kırılabilir türde iseler, uygulanan yükler altında betonda meydana gelebilecek çatlama ve kırılma, iri agregatanelerinin kırılmasıyla başlamaktadır.

c) Çimento hamuru ile agregataneleri arasındaki aderans: Sertleşmiş betondaki kırılmanın başladığı en zayıf bölgeler, iri agregataneleri ile çimento hamuru arasındaki yüzeylerdir. Yüzey dokusu pütürlü agregalarla yapılan betonların eğilme ve çekme dayanımları, düzgün yüzeyli agregalarla yapılan betonlarınkinden daha fazla olabilmektedir [13,28,37].

4.2 Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler

Beton üretiminde kullanılan agregaların genellikle yeterli dayanımda oldukları göz önünde tutulur ise, çimento hamurunun dayanımının beton dayanımı üzerindeki rolünü daha iyi anlayabilmek mümkün olur. Çimento hamurunun yeterli dayanımda olması, bir yandan bu malzemenin yük taşıma kapasitesinin yeterli düzeyde olabilmesini sağlarken, bir yandan da, çimento hamuru ile agregataneleri arasındaki aderansın daha kuvvetli olabilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, çimento hamurunun dayanımının yüksek olması, çimento hamurunun içerisinde yer alan jel boşlukları dışındaki diğer boşlukların daha az miktarda yer almış olduklarını işaret etmektedir.



Jel boşluklarının dışında çimento hamurunun içerisinde yer alabilecek diğer boşluklar olarak, kapiler boşluklar, hapsolmuş hava boşlukları ve hava sürükleyici katkı maddeleri kullanıldığı takdirde çimento hamuru içerisinde oluşan sürüklenmiş hava kabarcıkları kastedilmektedir.

Betonun içerisinde bulunan boşluklar sadece çimento hamurunun içerisinde yer almış olan boşluklardan ibaret değildir. Taze betonun üretimi, taşınması ve özellikle yerleştirilmesi esnasında betonun içerisine bir miktar hava girmektedir. İçerisinde çok büyük boşluklar bulunan beton, o haliyle sertleştiği takdirde, çok düşük dayanımlı bir beton olmaktadır. O bakımdan, yerine yerleştirilen taze betona vibrasyon veya başka yöntemlerle sıkıştırılma uygulanarak, taze betonun içerisindeki havanın mümkün olabildiği kadar dışarı çıkartılması gerekmektedir [13].

Yeterli dayanıma sahip agregaların kullanılması durumunda elde edilecek olan beton dayanımı, hem hidrasyon sonunda oluşacak jel miktarındaki artışa ve hem de betonun içerisinde yer alan boşlukların miktarındaki azalmaya bağlı olduğuna göre, beton dayanımını etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabilmek mümkündür:

- I. Su/çimento oranı,
- II. Karma suyunun kalitesi,
- III. Çimento özellikleri,
- IV. Agregada özellikleri,
- V. Betona uygulanan karılma, taşınma, yerleştirilme ve sıkıştırılma işlemleri ve
- VI. Kür koşulları ve betonun yaşı [9].

4.3 Betonun Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı, “eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti (eksenel basınç yükü etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilme)” olarak tanımlanmaktadır.

Beton basınç dayanımını ölçebilmek için değişik deney yöntemleri kullanılmaktadır. Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri arasında en çok kullanılanları 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 bir ortamda kür edildikten sonra kırıldıkları “hızlandırılmış kür’e 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”.

Betonun basınç dayanımının belirlenebilmesi için uygulanan değişik deney yöntemleri sonucunda birbirinden farklı değerler elde edilmektedir. Herhangi bir deney yöntemi özel olarak belirtilmediği takdirde ve betonun basınç dayanımından söz edildiğinde, böyle bir değer, “standart deney yöntemi” ile elde edilen değer olduğu anlaşılmaktadır [28].

Bu çalışmada standart deney yöntemi ve ultrasonik test çalışmaları yapıldığından bu deney yöntemleri üzerinde durulmuştur.

4.3.1 Beton Basınç Dayanımının “Standart Deney Yöntemi” İle Elde Edilmesi

Betonun basınç dayanımının elde edilebilmesi için uygulanan “standart deney yöntemi” ile ilgili Türk ve ASTM standartları şunlardır: TS 3068, TS 3114, ASTM C 31 ve ASTM C 39. Bu konudaki Türk ve ASTM standartları birbirine oldukça benzerdir [34,35,43,44].

“Standart deney yöntemi”nin 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 kalıplardan çıkarılmaktadır. Kalıplardan 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 [34,35].

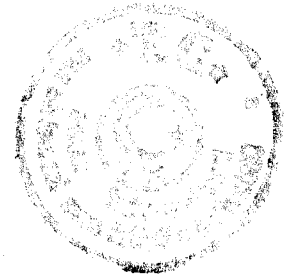
Basınç dayanımı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$

Burada:

σ = Basınç dayanımı (maksimum basınç gerilmesi),

P= Numunenin kırılmasına yol açan maksimum yük miktarı,



A= Numunenin kesit alanıdır.

“Standart deney yöntemi”nin uygulanmasında kullanılan beton numunelerinin şekilleri, boyutları, hazırlanması, deney presinde uygulanan yükün hızı ve numune sayısı aşağıda açıklanmaktadır [34].

a) Numune Şekli

“Standart deney yöntemi”nde silindir veya küp şekilli beton numuneler kullanılmaktadır.

ABD, Fransa, Kanada, Avustralya, Yeni Zelanda gibi bazı ülkelerde, sadece silindir şekilli numuneler kullanılmaktadır.

Türkiye, İsveç, Norveç, Danimarka gibi bazı ülkelerde ise hem silindir şekilli hem de küp şekilli numuneler kullanılmaktadır.

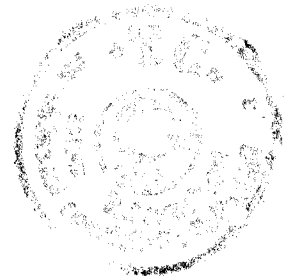
Basınç dayanımının bulunabilmesi için genellikle silindir şekilli numuneler kullanılmaktadır. Birçok Avrupa ülkesi, son yıllarda, silindir şekilli beton numuneyi daha çok kullanır duruma gelmişlerdir [34].

b) Numune Boyutları

Türkiye’de, ABD’de ve birçok ülkede kullanılan “standart boyuttaki beton silindir numune”nin çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm’dir. Standart silindir numunede, boy/çap=2.0’dır [34,35,42-44].

Araştırma amacıyla veya bazı özel uygulamalar için, yukarıda belirtilen standart boyuttan farklı boyutta silindir numuneler de kullanılmaktadır. Bu numuneler 7.5 cm, 10 cm, 30 cm gibi çaplara sahip olabilmektedirler. Ancak, silindir numunelerin üretiminde boy/çap oranlarının daima 2.0 olmasına dikkat edilmektedir.

Türkiye’de, “standart boyuttaki beton küp numune” olarak kenarları 20 cm olan numuneler kullanılmaktaydı. Ancak, son yıllarda 20 cm boyutlu küp numuneler kullanılmamakta, daha çok, 15 cm boyutlu küp numuneler kullanılmaktadır [34].



c) Numunelerin Hazırlanması

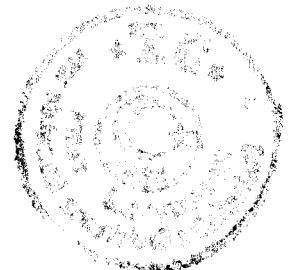
Beton numunelerin hazırlanmalarında çelik, dökme demir veya plastik gibi su emmeyen malzemelerden yapılmış, şekil değişikliği göstermeyen, iç yüzeyleri ve tabanı pürüzsüz düzgünlükte olan kalıplar kullanılmaktadır.

Taze betonun yerleştirilmesi işleminden önce, kalıpların iç yüzeyi çok ince bir madeni yağ tabakası ile kaplanmalıdır. Bu işlem, kalıplardan çıkartılan beton numunelerin yüzeylerinin kalıp malzemesine yapışmamasına, çok düzgün olmalarına yararmaktadır.

Silindir veya küp kalıplara yerleştirilecek taze betonun yerleştirilme yöntemi, taze betonun kıvamına ve uygulanacak sıkıştırılma yöntemine göre farklı olmaktadır. Şöyle ki:

- Kıvamı 7.5 cm'den fazla olan betonlarla 15 cm x 30 cm boyutlu standart silindir numuneler elde edebilmek için, betonun kalıp içerisine yerleştirilme işlemi yaklaşık 10'ar cm yükseklikteki üç tabaka halinde yapılmaktadır. Her tabakanın yerleştirilmesini takiben, çapı 1.6 cm olan metal bir çubukla, her tabaka 25 kez şişlenerek sıkıştırılmaktadır. En üstteki tabakanın yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinden sonra, betonun üst kısmı kalıbın üst yüksekliğiyle aynı hizada olacak tarzda, bir mala yardımıyla mümkün olduğunca düzgün duruma getirilmektedir.
- Kıvamı 2.5 cm'den az olan betonlarla 15cm x 30cm boyutlu standart silindir numune elde edebilmek için, betonun kalıp içerisine yerleştirilmesi yaklaşık 15'er cm yükseklikteki iki tabaka halinde yapılmaktadır. Her tabakanın yerleştirilmesini takiben, dahili vibratör kullanılarak, vibrasyonla sıkıştırılma yapılmakta ve sonrada, üst yüzey düzeltilmektedir. Vibrasyon işleminin segregasyon oluşturacak kadar uzun tutulmamasına dikkat edilmektedir.
- Kıvamı 2.5 cm ile 7.5 cm olan betonlara standart silindir numuneler elde edebilmek için, ister şişlenerek sıkıştırılma, isterse de vibrasyon yöntemi uygulanabilmektedir.
- Küp numuneler elde edebilmek için, beton yaklaşık iki tabaka halinde yerleştirilmekte, ve her tabaka 25'er kez şişlenmek suretiyle sıkıştırılmaktadır; veya beton tek bir tabaka olarak yerleştirilip dahili vibrasyon uygulanmaktadır. Sıkıştırılma işlemi takiben, betonun üst yüzeyi, kalıbın üst yüzeyiyle aynı seviyede olacak tarzda düzeltilmektedir.

Yukarıda anlatılan tarzda kalıplara yerleştirilen, sıkıştırılan ve üst yüzeyi düzgünleştirilen beton, kalıplardan çıkartılacakları zamana kadar (genellikle 24 saat kadar) üst yüzeyleri ıslak bir bezle örtülü durumda ve 21-25 °C sıcaklık ortamında tutulmaktadır [9,28,34].



d) Numunelere Uygulanan Kür

Hazırlanan beton silindir veya küp numuneler, kalıplardan çıkartıldıktan sonra, deney anına kadar (normal olarak 28 gün) 23 ± 2 °C sıcaklık ve %95 rölatif nem ortamına sahip olan bir kür odasında, veya bu sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmektedir. Yapının bulunduğu sahada (şantiyede) üretilen beton numuneler, kalıplarından çıkartılıncaya kadar uygun sıcaklık ortamında ve üst kısımları nemli bir bez ile örtülü olarak saklanmaktadır [34].

e) Silindir Şekilli Numunelere Başlık Yapılması

Beton numunesinin alt ve üst yüzeylerine üniform dağılımlı eksenel yük uygulanabilmesi için, deney presinin başlıklarıyla temas eden beton numunesinin alt ve üst yüzeylerinin mükemmel düzgünlükte olmaları gerekmektedir. Beton numunesinin alt ve üst yüzeylerinde çukurluklar veya çukurlar bulunduğu takdirde, eksenel yükün üniform dağılımlı tarzda uygulanabilmesi mümkün olmamaktadır.

Beton silindir numunelerinin alt ve üst yüzeylerini pürüzsüz düzgünlükteki bir duruma getirebilmek amacıyla, deneyden önce, bu numunelerin alt ve üst yüzeylerinde, kükürt-grafit tozu karışımı bir malzemeden, veya çimento hamurundan veya çimento-alçı karışımından oluşan ince fakat yüzeyi çok düzgün bir tabaka oluşturulmaktadır. Bu malzeme tabakasına “başlık” adı verilmektedir. Başlık yapımında kullanılan malzemenin dayanımı, beton dayanımından daha az olmamalıdır. Başlık kalınlığı 3-8 mm’dir; genellikle 5 mm’den fazla olmayacak kalınlıkta yapılmaktadır [9,34,35,44].

f) Deney Presi

Deney presi, üzerine yerleştirilen numunenin alt ve üst yüzeylerine yük uygulayabilecek iki bloktan oluşmaktadır. Alttaki blok (alt tabla), rijittir. Numune, bu blok üzerine yerleştirilmektedir. Üstteki blok ise, bir yatak üzerine oluşturulmuş küresel şekilli ve oynak başlıktır. Bu tür bir düzen, üst bloktaki başlık plakasının numune üzerine tam olarak oturmasına ve numune yüzeyine uygulanan yükün deney süresince tamamen dik ekseninde uygulanmış olmasına yararmaktadır. Alt yüzeyi dairesel şekilli olan üst bloktaki boyutlar ve bu bloğun sahip olması gereken minimum T kalınlığı standartlarda belirtilmiştir. Gerek alt blok ve gerekse üst blok, çelikten yapılmıştır ve numune ile temas edecek yüzeyler özel olarak sertleştirilmiş çok düzgün yüzeylerdir.



Numuneye uygulanan yük miktarı, deney presi üzerindeki bir göstergeden okunabilmektedir. Yük uygulama işlemi, numune kırılıncaya kadar devam ettirilmekte, böylece, kırılmaya neden olan yükün büyüklüğü elde edilebilmektedir [34].

g) Uygulanan Yükün Hızı

Hidrolik sistemle çalışan deney presleri ile yapılan deneylerde, numunenin üzerine 1.4-3.5 Kgf/cm²/sn hızla yük uygulanmaktadır [9].

h) Basınç Dayanımının Bulunabilmesi İçin Gerekli Numune Sayısı

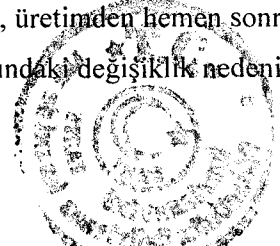
Herhangi bir beton karışımının herhangi bir yaş'taki basınç dayanımını bulabilmek için, en az 3 adet silindir veya en az 3 adet küp numunenin kırılma deneyine tabi tutulması gerekmektedir.

Her numunenin basınç dayanımı hesaplandıktan sonra, basınç dayanımlarının ortalaması bulunmakta ve o yaş'taki betonun basınç dayanımı olarak belirtilmektedir [34].

Basınç Dayanımının “Standart Deney Yöntemi” İle Elde Edilmesindeki Amaçlar

Betonla ilgili standartlara ve yapım şartnamelerine 1921 yılında girmiş olan “standart deney yöntemi”, betonun basınç dayanımının bulunabilmesi için, günümüzde de kullanılmakta en önemli yöntem durumundadır. Bu yöntemin kullanılma amaçları aşağıda sıralanmaktadır:

- I. Yapıların tasarımında, betonun belirli bir basınç dayanımı değerine sahip olacağı varsayılmakta ve hesaplar ona göre yapılmaktadır.
- II. Yapıda kullanılmak üzere üretilecek olan betonun basınç dayanımının, tasarım hesaplarında kullanılmış olan değerlerden daha az olmaması gerekmektedir. Bunun için, önce, beton karışım hesapları yapılarak istenilen basınç dayanımını elde edebilmek için betonu oluşturacak malzemelerin hangi oranlarda karılmaları gerektiği araştırılmaktadır.
- III. Yapıda kullanılacak olan beton, karışım hesapları sonunda saptanmış olan malzeme oranlarına uygun olarak üretilmektedir. Ancak, bazen, beton santrallerinde üretilerek yapıya taşınan betonun kalitesinden, elde edilmek istenen beton kalitesinden farklılıklar gösterebilmektedir. Bu farklılıklara yol açan bazı nedenler şunlardır: kullanılan malzemelerin cinsinde herhangi bir değişiklik olması, beton santralindeki karılma süresinin gereğinden daha az veya çok fazla olması, üretimden hemen sonraki beton kıvamı ile betonun teslim edildiği andaki kıvamı arasındaki değişiklik nedeniyle



veya herhangi bir nedenle beton karışımına su eklenmesi, beton karışımının sıcaklığı, v.b. O bakımdan, yapıda kullanılmak üzere teslim alınan betonun istenilen kalitede bir beton olup olmadığının mutlaka kontrol edilmesi gerekmektedir.

Betonun kabul veya reddedilmesi için teslim alınan betonun basınç dayanımının araştırılması, standart deney yöntemine uygun olarak yapılmaktadır

- IV. Betonun üretildiği yöntem, saklandığı kür ortamı, numunelerin farklı şekil ve boyutta olması, uygulanan deney yükünün hızındaki farklılık gibi bir çok faktör, deney sonunda elde edilen basınç dayanımı değerinin farklı olabilmesine yol açmaktadır. Bu faktörlerin her birinin, elde edilen basınç dayanımı değeri üzerindeki etkisini bulabilmek için, standart deney yöntemi kullanılmaktadır [9].

“Standart Deney Yöntemi” İle Elde Edilen Basınç Dayanımı Değerini Etkileyen Faktörler

Daha önce beton dayanımı genel olarak ele alınmış ve beton dayanımını etkileyen faktörler şu şekilde belirtilmiştir:

- Su/çimento oranı,
- Karma suyunun kalitesi,
- Agreganın gradasyonu,
- En büyük agregata tane boyutu,
- Agregata tane şekli,
- Agregata tanelerinin yüzey dokusu,
- Agregada bulunan zararlı maddelerin miktarı,
- Çimentonun özellikleri,
- Beton yapımında kullanılan mineral veya kimyasal katkıların özellikleri ve miktarları,
- Betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemleri, betonun hazırlandığı, döküldüğü ve kür edildiği ortamdaki sıcaklık, nem miktarı ve
- Betonun yaşı.

Yukarıdaki faktörler, betonun kazanabileceği dayanımın miktarını etkilemektedir. Ancak, aynı kalitedeki bir betondan değişik şekil ve boyutlara sahip numuneler alınıp, değişik koşullar altında kırılma deneyine tabi tutulacak olursa, bu numunelerin aynı büyüklüklerdeki yükler altında kırılmadıkları görülmektedir. Yani, beton kalitesinin ve numunelerin yaşının aynı olduğu bir durumda, basınç dayanımı deneyi sonunda elde edilen değerler birbirinden farklı olabilmektedir. Deney sonunda elde edilen beton basınç dayanımı değerini etkileyen önemli faktörlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir [9,28,35] .



- a. Silindir numunelerinin sahip olduğu farklı boy/çap oranı,
- b. Beton numunesinin silindir veya küp şekilli olması,
- c. Aynı boy/genişlik oranlarına fakat farklı boyutlara sahip numunelerin kullanılması,
- d. Deney esnasında uygulanan kırılma yükünün hızı,
- e. Numune kalıplarına yerleştirilen betondaki en büyük agrega tane boyutu,
- f. Deney anında numunenin sahip olduğu nemlilik durumu,
- g. Deney anında numunenin sahip olduğu sıcaklık [9].

4.3.2 Ultrasonik Test Cihazı Kullanarak Beton Basınç Dayanımının Elde Edilmesi

Ultrasonik test cihazının kullanılması ile, herhangi bir beton bloğun bir yüzüne ultrasonik pulse (nabız atışı gibi ritmik sesüstü vuruş) uygulanarak, betonun içerisinde basınç dalgaları oluşturulmaktadır. Betonun içerisinde ilerleyen sesüstü dalgalar, beton bloğun bir başka yüzeyinden geri alınmaktadır. Ultrasonik test cihazı, sesüstü dalga'nın, betona gönderildiği yüzey ile geri alındığı yüzey arasındaki bir mesafeyi ne kadar zaman süresinde geçtiğini ölçmektedir [9].

Ultrasonik cihazın kullanılmasıyla, betonun içerisine gönderilen sesüstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmekte, dalga hızı hesaplanmaktadır. Hesaplanan sesüstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilmektedir.

Ultrasonik test cihazı ile ölçüm yapabilmek için belirli boyutlarda numunelerin kullanılması şart değildir. Ultrasonik test cihazı ile yapıdaki betonun basınç dayanımı ölçülebilmektedir.

Ultrasonik test yönteminin uygulanması durumunda, ölçüm yapılan betonda çatlama veya kırılma oluşmamaktadır. Bu yöntem “hasarsız deney yöntemi”dir [36].

a. Ultrasonik Test Cihazı

Ultrasonik cihazın üzerinde bulunan bir anahtar, elektronik devrenin açılmasına veya kapanmasına kumanda etmektedir. Cihaz çalışır durumdayken, sesüstü dalgalar üretebilmektedir.

Ultrasonik cihaza kablolarla bağlı olan, birisi “dalga gönderici” ve diğeri “dalga kaydedici (alıcı)” iki adet transdüser başlık bulunmaktadır.

Cihaz çalışır durumda iken, dalga gönderici başlık, ölçüm yapılmak istenen beton bloğun bir yüzüne tamamen temas edecek tarzda elle bastırılmaktadır. Beton bloğun diğer yüzüne de, dalga alıcı başlık tamamen temas edecek tarzda elle bastırılmaktadır. Gönderici başlık vasıtasıyla betonun bir yüzünden içeriye gönderilen dalgalar, betonun diğer yüzünden alıcı başlık vasıtasıyla kaydedilmekte, yükseltilmekte ve zaman ölçücü devreye nakledilmektedir.

Ultrasonik test cihazı, sesüstü dalgaların dalga gönderici ve alıcı başlıklar arasındaki bir mesafeyi ne kadar zamanda geçtiğini mikrosaniye birimiyle otomatik olarak belirlemekte ve cihazın üzerindeki ekranda gösterilmektedir.

Katı bir malzemenin içerisinden geçen sesüstü dalgaların hızı (V), sesüstü dalganın içerisinden geçtiği malzemenin elastiklik modülü (E) ve malzemenin yoğunluğu (D) ile ilgilidir ve $V^2 \approx E/D$ olarak gösterilmektedir. Ultrasonik test cihazı, bu ilişkiden yararlanılarak geliştirilmiştir.

Beton bloğun bir yüzeyinden içeriye gönderilen sesüstü dalganın, bloktaki diğer bir yüzeye ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$V = (S / t) 10^6 \quad (4.2)$$

Burada,

V = Sesüstü dalga hızı (metre/saniye),

S= Beton bloğun sesüstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),

t = Sesüstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zaman (mikrosaniye).

Ultraosnik cihaz kullanılarak kalınlığı 15 metreye varan beton bloklar üzerinde ölçüm yapılabilmektedir. Normal olarak, kalınlığı 10 cm ile 30 cm arasında olan bloklar üzerinde ölçüm yapılmaktadır. 15 cm kalınlığındaki bir beton blokta ses dalgasının bir uçtan karşı uca geçme süresi yaklaşık 30 – 45 mikrosaniye kadardır. Cihazın gönderici ve alıcı başlıklarının beton üzerine yerleştirileceği noktalar seçilirken, mümkünse, başlıkların arasında betonarme demirlerinin yer almamış olmasına dikkat edilmelidir [36,38].



b. Ultrasonik Test Cihazı Kullanımı Sonunda Hesaplanan Sesüstü Dalga Hızı Değerini Etkileyen Faktörler

Sesüstü dalganın betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi dolayısı ile, sesüstü dalga hızı aşağıdaki faktörler tarafından etkilenmektedir:

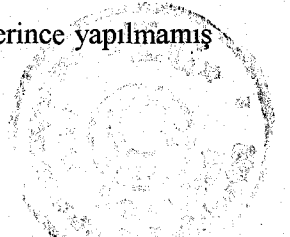
- I. Cihazdaki gönderici ve alıcı başlıkların beton yüzeyi ile temaslarının iyi olup olmaması.
- II. Betona sesüstü dalgalarını gönderen başlık ile dalgaların geri alındığı başlık arasındaki mesafe; Sesüstü dalgaların takip ettiği yolun uzun olması, dalga enerjisinde bir miktar azalma oluşturmakta, ve hatalı değerlendirmelere yol açabilmektedir.
- III. Ultrasonik test yönteminin uygulandığı ortamın sıcaklığı; Sesüstü dalga hızı 5 °C ile 30°C arasındaki sıcaklık ortamlarında etkilenmemektedir. Ancak, çok yüksek sıcaklık ortamında sesüstü dalga hızında bir miktar azalma, 0 °C sıcaklıktan daha az ortamlarda ise, dalga hızında bir miktar artma olabilmektedir.
- IV. Betondaki nem miktarı; Betondaki nem miktarının fazla olması, sesüstü dalga hızının daha yüksek olmasına yol açmaktadır.
- V. Betonun içerisindeki demir donatılar; Betonda demir donatıların bulunması, sesüstü dalga hızının artmasına neden olmaktadır [36].

c. Ultrasonik Test Yöntemiyle Ölçülen Sesüstü Dalga Hızı Değerini Kullanarak Basınç Dayanımının Elde Edilebilmesi

Ultrasonik test yöntemi ile betonun bir yüzeyinden içeriye gönderilen sesüstü dalgalarının beton içerisinde ilerleme hızı hesaplanmaktadır.

Betonun içerisinde geçen sesüstü dalgasının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak, sesüstü dalganın hızı ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir betonda, sesüstü dalganın betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Bir başka deyişle, betonun içerisindeki boşluk miktarı arttıkça sesüstü dalganın hızı daha az olmaktadır[9].

Bilindiği gibi betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu yüksek olan betonların basınç dayanımları da genellikle yüksektir. Su/çimento oranı yüksek olan betonlar daha çok kapiler boşluk içerdiklerinden, bu betonların yoğunluğu ve basınç dayanımları da yüksek değildir. Sıkıştırılma işlemi yeterince yapılmamış



olan betonlarda da daha çok boşluk yer aldığı için, bu tür betonların yoğunluğu ve basınç dayanımları yüksek değildir [13,17].

Ultrasonik test yöntemi ile herhangi bir betonun basınç dayanımını yeterince hassas olarak bulabilmek zor olmakla birlikte, herhangi bir beton içerisinde geçen sesüstü dalganın hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı ve yoğunluğu ile yakından ilgili olduğu için, elde edilen sesüstü hız ile betonun kalitesi hakkında genel bir ilişki kurabilmek mümkün olabilmektedir. Whitehurst tarafından yoğunluğu yaklaşık 2400 kg/m^3 olan betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonunda, sesüstü dalga hızı bilindiği takdirde beton kalitesinin ne olabileceğine dair önerilen sonuçlar Tablo 4.1’de gösterilmektedir [36,38].

Tablo 4.1 Ultrasonik Test Yöntemi ile Beton Kalitesinin Değerlendirilmesi

Dalga Hızı m/sn	Beton Kalitesi
>4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Şüpheli
2000-3000	Zayıf
<2000	Çok zayıf

4.4 Betonun Çekme ve Eğilme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, “betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti” olarak tanımlanmaktadır. Genellikle, yapıdaki betona doğrudan çekme dayanımı uygulanmamaktadır. Ancak, beton elemanların üzerine gelen basınç ve/veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Betonda büzülme olması durumunda yer alacak şekil değiştirmelerin agrega taneleri ve betondaki donatı tarafından engellenerek serbestçe yer almaması nedeniyle de betonun içerisinde çekme kuvvetleri oluşmaktadır.

Basit bir kirişin üzerindeki eğilme yükleri, kiriş kesitinde kesme kuvveti ve eğilme momenti oluşturmaktadır. Eğilme momenti, kirişteki tarafsız eksenin üstünde kalan bölgede basınç gerilmesi, altında kalan bölgede ise çekme gerilmesi meydana getirmektedir. Buna göre tarafsız eksenin hemen alt kısımlarında hem çekme hem de kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Kayma gerilmelerine diyagonal olan düzleme (eğik düzleme) dik olarak “eğik çekme” kuvveti oluşmaktadır. Eğik çekme kuvveti, eğik düzlem üzerinde “eğik çatlak” olarak adlandırılan çatlakların yer almasına neden olmaktadır.

Betonda oluşan çekme kuvvetleri, betonun çatlamasına ve kırılmasına yol açan en önemli neden olarak kabul edilmektedir [39-42]. Betondaki basınç ve çekme dayanımları



birbiriyle yakından ilgilidir. Genel olarak, betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının %9 - %10'u kadardır. Betonun kalitesine ve yaşına bağlı olarak, bu oran %7 ile %17 arasında değişebilmektedir.

Yapıların tasarım hesaplarında genellikle kullanılmakta olan dayanım türü, betonun basınç dayanımıdır. Ancak, oldukça gevrek bir malzeme olan betonun çekme kuvvetlerine karşı direnme kabiliyeti çok düşük olduğundan, çekme dayanımının değeri betonun içerisindeki çatlakların oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Betonarme kirişlerde oluşan eğik çekme kuvvetleri çok büyük sorun oluşturmaktadır. Betonda büyük çatlakların oluşması, kırılmaya neden olmaktadır.

Betonun kırılmasına yol açabilecek kadar büyük çatlakların oluşmadığı durumlarda dahi, karşılaşılabilecek sorunlar ortadan kalkmamaktadır. Çatlakların oluşması ile, betonun içerisine dışardan su veya bu sularla birlikte sülfat, asit, klor gibi maddelerin girebilmesi daha kolay olmaktadır; betonarme elemanlardaki demir donatı korozyon (paslanma) göstermektedir; betonun içerisine giren yabancı maddelerin oluşturduğu kimyasal olaylar betonun büyük hasar görmesine, dayanıklılığının azalmasına yol açmaktadır.

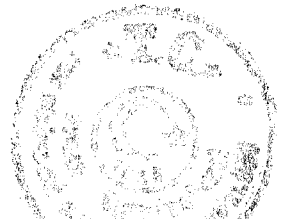
Betonun çekme dayanımının bilinmesi, çatlakların ve yapıyla ilgili analizlerin yapılabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır [9].

4.4.1 Doğrudan Çekme Dayanımı

Betonun doğrudan çekme yükleri altındaki dayanımını bulabilmek için standart bir deney yöntemi yoktur. O nedenle, böyle bir deneyde kullanılmak üzere standart boyutlu ve şekilli numuneler de bulunmamaktadır.

Doğrudan çekme yükleri, değişik boyutlardaki silindir, prizma ve özel boyutlu numuneler üzerinde uygulanabilmektedir. Ancak, beton numuneye doğrudan çekme yükleri uygulayabilmek için, kullanılacak numunenin uçlarına özel olarak hazırlanmış metal başlıkların yapıştırılması ve bu metal başlıkların ortasına 90° açıyla dik olacak tarzda metal çubukların bağlı olması gerekmektedir.

Özel başlık düzeni takılan beton numunelerin uçlarındaki metal çubuklar, normal demir çubukların çekme deneyinde olduğu gibi, deney makinesinin çeneleri tarafından sıkıca kavranacak tarzda deney makinesine yerleştirilmektedir. Deney makinesi çalıştırıldığında, makinenin çeneleri birbirinden uzaklaşmakta ve böylece çubuklara ve metal başlıklara sıkıca bağlanmış olan beton numuneye doğrudan çekme yükleri uygulanmış olmaktadır. Yük uygulaması, beton numune kırılıncaya kadar devam etmektedir [9].



Betonun çekme dayanımı (σ_c) kırılma oluşturacak olan yükün (P'nin), numune boyunun ortasındaki numune kesit alanına (A'ya) bölünerek hesaplanmaktadır. Yani,

$$\sigma_c = P/A \quad (4.3)$$

olarak hesaplanmakta ve kgf/cm² veya MPa birimleriyle ifade edilmektedir.

Doğrudan çekme yüklerinin etkisiyle bulunabilen çekme dayanımı, betonun sahip olduğu hakiki çekme dayanımıdır. Ancak, tekrar hatırlamak gerekir ise, herhangi bir düzenleme ile dahi, betona doğrudan çekme yükleri uygulayabilmek hem zahmetli hem de zordur. O nedenle, betonun çekme dayanımının bulunabilmesi için doğrudan çekme deney yöntemi nadiren kullanılmaktadır [9].

4.4.2 Yarmada Çekme Dayanımı

Dolaylı çekme yükleri betonun çekme dayanımının elde edilebilmesini belirleyen deney yöntemi bütün ülke standartlarında yer almaktadır. Bu konudaki Türk standardı, TS 3129 [39]'dur.

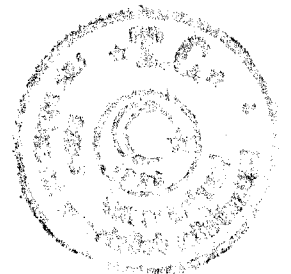
Bu deney yönteminde genellikle silindir şekilli numuneler kullanılmaktadır. Küp şekilli beton numunelerin kullanılabilmesi de mümkündür.

Deneylerin uygulanmasında, numune, deney presinin üzerine, numune eksenini presin alt tablasına paralel olacak tarzda yatırılmaktadır. Numunenin yan yüzünün alt ve üst kısımlarına 25 mm eninde ve yaklaşık 3 mm kalınlığında kontrplak çiteler yerleştirilmektedir. Deney presi vasıtasıyla uygulanan basınç yükü numune kırılınca kadar devam ettirilmekte ve kırılma yükü (P) ölçülmektedir. Böyle bir yükleme altında, silindir numunenin ortadan yarılarak iki parçaya ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir.

Silindir şekilli beton numuneye bu şekilde basınç yükünün uygulanması durumunda, beton, yük ekseninde kısalmaya ve yük eksenine dik olan yatay ekseninde ise uzamaya maruz kalmaktadır. Betonun içerisinde, basınç gerilmeleri ve basınç gerilmeleri nedeniyle ortaya çıkmış olan çekme gerilmeleri bulunmaktadır.

Bu şekilde bir deneye tabi tutulacak numune içerisindeki herhangi bir parçacığın üzerine düşecek olan basınç ve çekme gerilmeleri aşağıda belirtilen değerlere eşittir:

$$\text{Basınç Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \left[\frac{D^2}{r(D-r)} - 1 \right] \quad (4.4)$$



$$\text{Çekme Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (4.5)$$

Yukarıdaki formüllerde,

P = Kırılmaya neden olan basınç yükü

L = Silindir numunenin boyu

D = Silindir numunenin çapı,

r = Deney numunesi içerisindeki herhangi bir parçacığın pres üst başlığına uzaklığı.

Betonun içerisinde oluşan basınç gerilmesinin değeri çekme gerilmesininkinden daha yüksektir. Beton kesitinin ortasında, yani D/2 noktasında, betonda oluşan basınç gerilmesi, çekme gerilmesinden 3 kat daha fazladır. Ancak, betonun çekme yüklerine karşı gösterebileceği direnç yüksek olmadığından, betondaki kırılma, çekme yükleri nedeniyle yer almış olmaktadır.

Yukarıda açıklanan tarzda uygulanan basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulan silindir numunelerin çekme dayanımı, formül 4.5 yardımıyla hesaplanmaktadır.

Şayet, silindir numune yerine boyutları a x a x a olan küp numuneler kullanılır ise, çekme dayanımı, $\sigma_c = 2P/\pi a^2$ ilişkisinden hesaplanmaktadır.

Dolaylı çekme dayanımı yönteminin uygulanması sonucunda beton numune yarılarak iki parçaya ayrıldığı için, bu yöntem, genellikle “yarma deneyi yöntemi” olarak anılmaktadır [39,42,43].

4.4.3 Eğilmede Çekme Dayanımı

Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi ile ilgili Türk standartları şunlardır: TS 3284, TS 3285 [40,41]. Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi için beton kiriş numuneler hazırlanmakta, ve eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır.

TS 3285 [41], beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki mesafenin orta noktasından (L/2 mesafesinden) yüklenmesi durumundaki deney yöntemini açıklamaktadır.

TS 3284 [40]’de ise, beton kirişin oturtulduğu mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi durumundaki deney yöntemi anlatılmaktadır.

Eğilme dayanımı deneylerinde genellikle kare kesitli kirişler kullanılmaktadır. Kiriş kesiti 15 cm x 15 cm’dir.

Numunelerin hazırlanması için kalıplara yerleştirilen taze beton sıkıştırılmakta ve deney gününe kadar 23±2 °C sıcaklıkta ıslak küre tabi tutulmaktadır.



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

$$\sigma_e = \frac{Mc}{I} \quad (4.6)$$

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 [40].

Orta noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde ($\sigma_e = Mc/I$ formülüne uyarak) eğilme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (4.7)$$

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

$$\sigma = \frac{PL}{bd^2} \quad (4.8)$$

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. O bakımdan, beton kirişlerde elde edilen eğilme dayanımı değeri, aslında, betonun çekme dayanımını işaret etmektedir [40,41,42,43].



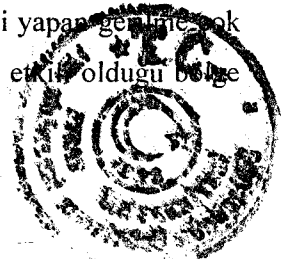
4.4.4 Değişik Yöntemlerle Elde Edilen Çekme Dayanımı Değerlerinin Karşılaştırılması

Aynı kalitedeki betondan üretilmiş olan numunelere değişik deney yöntemlerinin uygulanması sonucunda birbirinden farklı çekme dayanımı değerleri elde edilmektedir. Değişik yöntemlerle elde edilen çekme dayanımı değerinin büyüklüğü şu sırayı takip etmektedir:

Eğilmede Çekme Dayanımı > Yarmada Çekme Dayanımı > Doğrudan Çekme Dayanımı

Eğilme yükleri uygulayarak elde edilen çekme dayanımı değerinin, doğrudan çekme yükleri altında elde edilen çekme dayanımı değerinden daha yüksek olmasının nedenleri aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir:

1. Gerilme dayanımı $\sigma = Mc/I$ formülüne göre hesaplandığı için, kirişin kesitindeki tarafsız eksenden uzaklaştıkça, elde edilen gerilme dayanımı daha yüksek olmaktadır. Kiriş kesitinin en altında oluşan ve kırılmaya neden olan gerçek çekme dayanımı, hesaplarda bulunan değerden çok daha küçüktür. Bir başka deyişle, eğilme deneyleri sonunda hesaplanan dayanım değerleri, gerçekten daha büyük değerleri yansıtmaktadır.
2. Eğilme yükü altındaki kirişte, en büyük çekme gerilmesi, kiriş kesitinin en altında oluşmaktadır. Betondaki çatlaklar burada başlamakta ve iç kısımlara doğru ilerleme eğilimi göstermektedir. Ancak, kiriş kesitinin en alt bölgesinden tarafsız eksene doğru yaklaşıldıkça, kiriş kesitinde oluşan çekme gerilmeleri daha az olmaktadır. Gerilmeler azaldıkça, çatlakların ilerlemesine veya yeni çatlakların oluşmasına yol açacak enerji de azalmış olmaktadır.
3. Doğrudan çekme deneyinde, numune kesit alanının tümü çekme gerilmesi etkisindedir. Numune içerisinde yüksek çekme gerilmesi oluştuğunda, kesit alanının tümü üzerinde aynı ölçüde etkili olmaktadır. Betondaki çatlak beton kesit alanındaki yapısal olarak en zayıf noktadan başlamaktadır. Betonun tüm kesit alanı içerisinde yapısal olarak zayıf noktaların bulunabilme olasılığı oldukça yüksektir. Öte yandan eğilme yükleri altındaki bir beton kirişin kesit alanı ele alınacak olur ise, çekme gerilmeleri kesit alanının tarafsız eksen altındaki bölgesinde etkili olmaktadır. Yüksek miktardaki çekme gerilmeleri ise, kirişin en alt kısımlarında yer almaktadır. Beton kirişin kesit alanında oluşacak çatlak, kiriş kesit alanının en alt bölgesinde bulunabilecek yapısal olarak en zayıf noktada başlamaktadır. Daha üst bölgelerde yapısal zayıflıklar olsa dahi, bu bölgelerde etki yapan gerilme çok yüksek değildir. Çok yüksek değerlerdeki çekme gerilmesinin etki olduğu bölge



ise, doğrudan çekmeye maruz kalan kesit alanı gibi büyük bir alana sahip değildir. Böyle bir bölgede yapısal olarak zayıf noktaların bulunabilme olasılığı daha düşüktür. O nedenle, doğrudan çekme yüklerine maruz kalan betonlarda çatlak oluşturacak çekme gerilmesinin büyüklüğü, eğilme yüklerine maruz kalan betonlarda çatlak oluşturacak çekme gerilmesinin büyüklüğünden daha düşüktür.

Yarma deneyi sonucunda elde edilen beton çekme dayanımları da, doğrudan çekme yükleri altında elde edilen değerlerden daha yüksektir. Bunun nedeni şu şekilde açıklanabilmektedir:

Yarma deneyinde meydana gelen kırılma, beton kesitinin orta bölgesinde oluşan üniform dağılımlı çekme gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. Çekme gerilmeleri numune çapının tüm yüksekliği boyunca etkili değildir. Burada da nispeten daha küçük bir bölgede yapısal zayıflıkların bulunma olasılığı daha küçüktür.

Yapılan değişik deneysel çalışmalarda, yarma deneylerinden elde edilen çekme dayanımı değerleri doğrudan çekme deneylerinininkine göre %23 - %29 daha yüksektir. İki noktadan eğilme yüklemesi altında elde edilen dayanım değerleri ise, doğrudan çekme deneylerinininkine göre %45 - %97 daha büyüktür [39-43].



5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Betonun mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde agreganın etkisini araştıran bu tez çalışmasında üç değişik tip agrega, iki ayrı mineralojik katkı ile birlikte kullanılmıştır. Kullanılan agregalar sırasıyla doğal agrega, kırmataş ve hafif agregadır (ponza taşı). Çalışmada mineralojik katkı olarak uçucu kül ve silis dumanı kullanılmıştır. Bu agrega ve mineralojik katkılarla birlikte kontrol betonu, uçucu kül katkılı beton ve silis dumanı katkılı beton olarak üç değişik türde beton üretilmiştir. Bu betonlara 3, 7, 14 ve 28. günlerde ultrasonik test, basınç dayanımı ve yarma dayanımı deneyleri yapılmıştır.

5.1 Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan malzemelerden agregalar ve çimento Elazığ yöresinden temin edilirken kullanılan uçucu kül Sivas ilinde bulunan Kangal Termik Santrali'nden, silis dumanı ise Antalya ilinde bulunan Eti Elektro Metalurji A.Ş.'den temin edilmiştir. Deney numuneleri Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Laboratuvarında hazırlanmış ve belirlenen deneylere tabi tutulmuştur.

5.1.1 Numune Kalıpları

Deney numunelerinin hazırlanışında standart çelik kalıplar kullanılmıştır. Ultrasonik test ve basınç dayanımı deneyleri için 150 x 150 x 150 mm'lik küp kalıplar, yarma dayanımı deneyi için ise çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm olan silindir kalıplar kullanılmıştır. Her deney için kalıplar temizlenip yağlanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

5.1.2 Çalışmada Kullanılan Agregalar

Çalışmada kullanılan ince agrega Elazığ Palu yöresi doğal agregasıdır. Kaba agregalar ise Elazığ Palu yöresi doğal agregası ve bu agreganın kırmataşıdır. Diğer tip kaba agrega ise Elazığ Meryem dağından elde edilen hafif agrega (ponzataşı) dır. Bu malzemelerin her biri, çalışmada kullanılacak olan elek sınıflarında ayrılmış ve depolanmıştır. Çalışmada kullanılan kaba agregaların bazı fiziksel özellikleri tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Deneylerde kullanılan kaba agregaların fiziksel özellikleri

Agrega Tipi	Özgöl Ağırlık (gr/dm ³)	Su Emme Mik.(%)	500 Devirdeki Aşınma (%)
Doğal Agr.	2.76	0.95	16.23
Kırmataş	2.78	1.09	16.37
Hafif Agr. (Ponzataşı)	1.85	22.36	42

Çalışmada kullanılan elek aralıkları ise;

İnce Kum: 0-5 mm,

Orta Sınıf: 5-10 mm,

İri Sınıf : 10-20 mm şeklinde hazırlanmıştır.

5.1.3 Çalışmada Kullanılan Çimento

Çalışmada numunelerin hazırlanmasında Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş.'nin üretmiş olduğu PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır. Çimento, fabrikadan alındıktan sonra deney süresince uygun koşullarda saklanarak tüm seriler için aynı koşullarda kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan çimentonun dozajı 310 kg/m³'tür. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Çimento	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K.K.	Blaine	Öz.Ağ.	f _{ce}
PÇ 42.5	21.12	5.62	3.24	62.94	2.73	1.79	1.78	3382	3.07	51.7

5.1.4 Karışım Suyu

Türk Standartlarında verilen veriler ışığı altında çalışmada içme suyu (Elazığ şehir şebekesi) kullanılmıştır.

5.1.5 Karışımında Kullanılan Katkılar

Daha önceki çalışmalardan elde edilen bulgulara dayanarak bu tez çalışmasında karışıma giren çimentonun ağırlıkça %30'u uçucu kül ve %10'u oranında silis dumanı kullanılmıştır. Uçucu kül Sivas ilinde bulunan Kangal Termik Santrali'nden silis dumanı ise Antalya'da bulunan Eti Elektro Metalurji A.Ş.'den belirli miktarlarda temin edilmiştir. Elde edilen bu mineralojik katkı maddeleri laboratuvar şartlarında torbalanmış olarak çalışma süresince muhafaza edilmiştir. Bu malzemelere ait çeşitli bilgiler aşağıda sunulmuştur.

a. Uçucu Kül

Kangal Termik santralinden elde edilen uçucu külün içerdiği hakim kristal fazlar kuvarz, hematit, manyetit, anhidrit, feldspat ve serbest kireçtir. Ana faz ise amorf ve camsı fazdır. Kangal uçucu külünün içeriği yakından incelendiğinde camsı fazın silisle birlikte alümine içeren bir karakterde olduğu anlaşılr.

Bilindiği gibi uçucu küllerin kimyasal kompozisyonunu etkileyen kömür yatağının değişmesi, üretilen elektrik enerjisi miktarı, termik santralin kısa süreli zorunlu duruşları, yakma sıcaklığının değişmesi uçucu kül toplama sistemlerindeki gibi bir çok parametre bulunur. Aynı termik santralin farklı ünitelerinden farklı kompozisyonunda uçucu küller elde edilmesi dahi bu nedenlerle kuvvetle olasıdır. Çalışmada kullanılan uçucu külün kimyasal özellikleri tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Kangal uçucu külü kimyasal analiz sonuçları

Oksit	Ortalama %
SiO ₂	38.34
Al ₂ O ₃	16.69
Fe ₂ O ₃	5.11
S+A+F	60.14
CaO	27.62
MgO	1.60
SO ₃	4.44
K ₂ O	1.29
Na ₂ O	0.61
K.K	0.79

Kangal Termik Santral'inden elde edilen uçucu kül, kimyasal kompozisyon açısından önemli değişiklikler göstermemektedir. Dolayısıyla, bu termik santralden üniform özelliklere sahip uçucu kül sağlanmasının mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Ortalama değerler göz önünde bulundurularak, standartlarda verilen sınır değerlerle karşılaştırma tablo 5.4'te verilmiştir. Tablo 5.4'teki değerlere bakıldığında Kangal uçucu külünün yüksek kireçli (CaO>%10), sülfokalsik bir uçucu kül (ENV 197-1'de W sınıfı) olduğu görülmektedir. Ayrıca, linyit kömürünün yakılmasıyla elde edildiğinden, ASTM C-618 C sınıfı uçucu küldür.



Tablo 5.4 Kangal Uçucu Külünün Kimyasal Kompozisyonunun Standart Sınırlarıyla Karşılaştırılması.

Oksit (%)	Kangal U.K.	TS 639 Sınırları	ASTM C 618 Sın.	EN 450 Sınırları	ENV 197-1 Sınırları	
					V	W
SiO ₂	38.34	-	-	-		
Al ₂ O ₃	16.69	-	-	-		
Fe ₂ O ₃	5.11	-	-	-		
S+A+F	60.14	> 70.0	> 50.0	-		
CaO	27.62	-	-	-		
Serbest CaO				< 1.0		
Reaktif CaO	~19.0	-	-		< 5.0	> 5.0
Reaktif SiO ₂	~32.50			> 25.0	>25.0	>25.0
Cl ⁻				< 1.0		
MgO	1.60	< 5.0	-			
SO ₃	4.44	< 5.0	< 5.0	< 3.0		
K ₂ O	1.29	-	-			
Na ₂ O	0.61	-	-			
K.K	0.79	< 10.0	< 6.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0

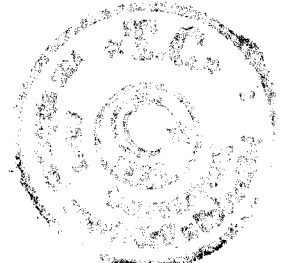
Görüldüğü gibi Kangal uçucu külü TS 639'da S+A+F>%70 koşulunu sağlamamakta, ASTM 618 sınırını sağlamaktadır. Ancak ENV 197-1'de W tipi uçucu küller için belirtilmiş olan, koşullara uygundur. Dolayısıyla TS 639 açısından kullanılabilir olmamakla birlikte diğer iki standart açısından Kangal uçucu külü, kimyasal kompozisyon bakımından kullanılabilir niteliktedir.

Kangal uçucu külünün fiziksel özellikleri ise; özgül ağırlığı 2.50 gr/dm³ ve blaine inceliği 1343 cm²/gr'dır. Kangal uçucu külünün portland çimentosuyla birlikte kullanılması sonucu elde edilen basınç dayanımı. 18.1 N/mm², kireçle birlikte kullanılması ile elde edilen basınç dayanımı ise 3.8 N/mm²'dir. Pozolanik aktivitesi %34.3 olarak tespit edilmiştir.

b. Silis Dumanı

Bu çalışmada daha önce de belirtildiği gibi, Antalya ili Eti Elektro Metalurji A.Ş.'den elde edilen silis dumanı kullanılmıştır.

Silis dumanı kimyasal özellikleri şöyledir: Silis dumanındaki "SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃" miktarının yüksek olması, pozolanik aktivitenin daha iyi olmasına yol açmaktadır. MgO'nun, kükürt'ün ve alkali miktarlarının yüksek olmasının sertleşmiş betonda genleşmeye yol açtıkları bilinmektedir. Betonda genleşme oluşturabilecek bu maddelerin miktarları silis dumanının yapısında çok düşüktür. Tablo 5.5'te kullanılan silis dumanının kimyasal özellikleri verilmiştir.



Tablo 5.5 Antalya silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri

SiO ₂	(%)	91
Al ₂ O ₃	(%)	0,58
Fe ₂ O ₃	(%)	0,24
CaO	(%)	0,71
MgO	(%)	0,33
SO ₃	(%)	1,06
Na ₂ O	(%)	0,38
K ₂ O	(%)	4,34
TiO ₂	(%)	-
CL ⁻	(%)	0,09
Çözünmeyen Kalıntı(%)		-
Kızdırma Kaybı(%)		1,84
Serbest Kireç(%)		-
Özgül Ağırlık(gr/cm ³)		2,20

Rengi açık gri, su emme oranı ve puzolanik aktivitesi oldukça yüksektir. Silis dumanı katkılı betonlarda su emme yüzdesi %134 ve dayanım aktivite indeksinin %110'lara ulaştığı bilinmektedir.

5.1.6 Beton Karışımları

Betonun mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde farklı agregaların etkisini araştırabilmek amacıyla üç ayrı agrega türü ile; katkısız (kontrol betonu), uçucu kül (UK) katkılı ve silis dumanı (SD) katkılı beton çeşitleriyle dokuz çeşit beton karışımı oluşturulmuştur. Bunlar sırasıyla;

- 1.1. Doğal agregalı katkısız beton (kontrol betonu)
- 1.2. Doğal agregalı uçucu kül katkılı beton (UK katkılı)
- 1.3. Doğal agregalı silis dumanı katkılı beton (SD katkılı)
- 2.1. Kırmataş agregalı katkısız beton (kontrol betonu)
- 2.2. Kırmataş agregalı uçucu kül katkılı beton (UK katkılı)
- 2.3. Kırmataş agregalı silis dumanı katkılı beton (SD katkılı)
- 3.1. Hafif (ponzataşı) agregalı katkısız beton (kontrol betonu)
- 3.2. Hafif (ponzataşı) agregalı uçucu kül katkılı beton (UK katkılı)
- 3.3. Hafif (ponzataşı) agregalı silis dumanı katkılı (SD katkılı) betondur.

Mineral katkıların kullanılmasıyla hem betonun parametreleri artırılmış hem de agregalar ile birlikte, beton mukavemeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Beton karışımları oluşturulurken malzemelerin (özellikle silis dumanı ve agrega olarak ponzataşının) su emmeleri farklılık göstereceğinden dolayı, taze beton çökme miktarı sabit tutulmuştur (6-9 cm).

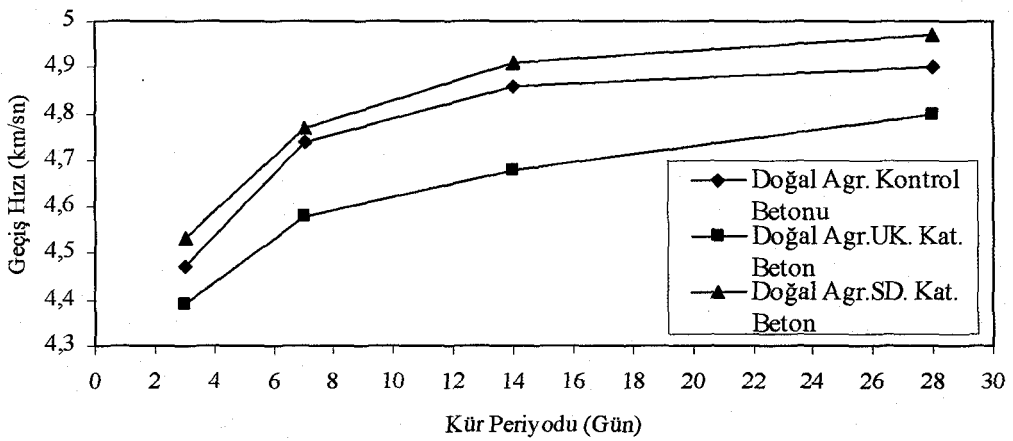
5.1.7 Beton Numunelerin Kür ve Bakımı

Dökülen beton numuneler bir gün süre ile kalıplarda bekletildikten sonra, özellikle numune köşe ve kenarları zarar görmeyecek şekilde özenle kalıplar sökülerek numuneler kür tankına yerleştirilmiştir. Kür tankının sıcaklığı 23 ± 2 °C'de sabit tutulmuştur.

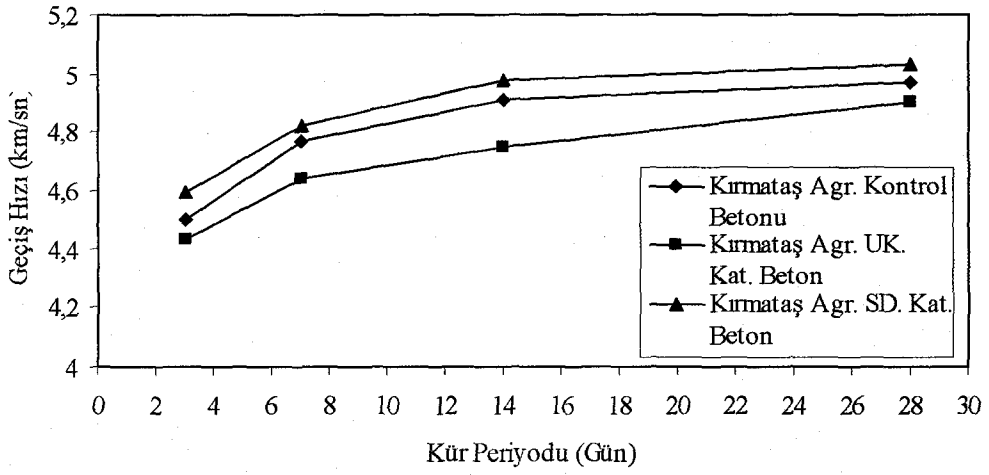
5.2 Numunelere Uygulanan Deneyler

5.2.1 Ultrasonik Test

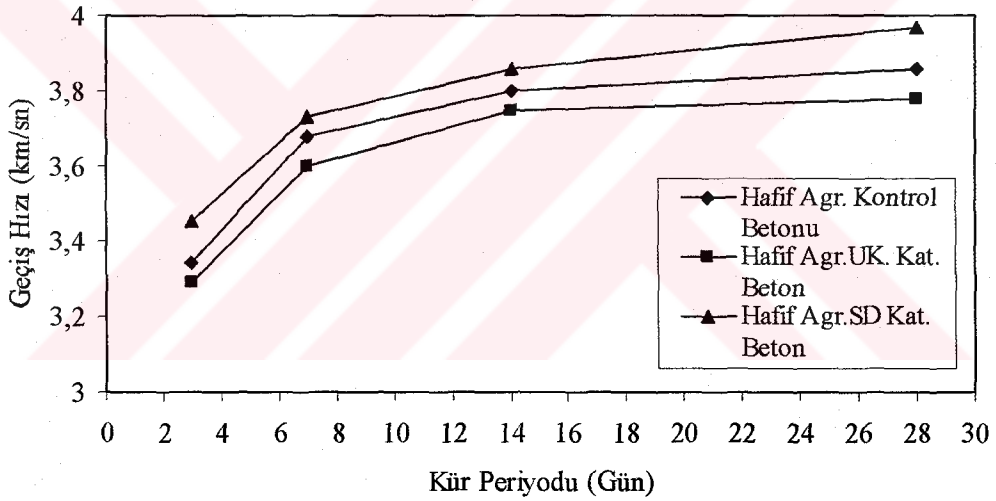
Ultrasonik test için 150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler kullanılmıştır. Belirlenen yaşa erişen numuneler kür tankından çıkarılıp belirli bir ortalama nem derecesine ulaştıklarında deney numunesi yüzeylerindeki toz, kireç ve benzeri temizlenmiştir. Ultrasonik test cihazı dalga verici ve alıcısının numune yüzeylerinde birbirlerini tam olarak karşılamaları için deney numunesi yüzeyleri karşılıklı şekilde işaretlenmiştir. Bu şekilde deney için hazırlanan numunelerin 4 kenarından karşılıklı olarak 2 okuma gerçekleştirilerek ortalama değerler kaydedilmiştir. Bu şekilde farklı agregalar ve farklı mineralojik katkıları ile oluşturulan beton serilerinin farklı yaşlardaki ses geçirgenlik hızları araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şekil (5.1-5.3)'de sunulmuştur.



Şekil 5.1 Doğal agregalı beton serilerinin kür periyodu-geçiş hızı grafiği



Şekil 5.2 Kırmataş agregalı beton serilerinin kür periyodu-geçiş hızı grafiği



Şekil 5.3 Hafif agregalı beton serilerinin kür periyodu-geçiş hızı grafiği

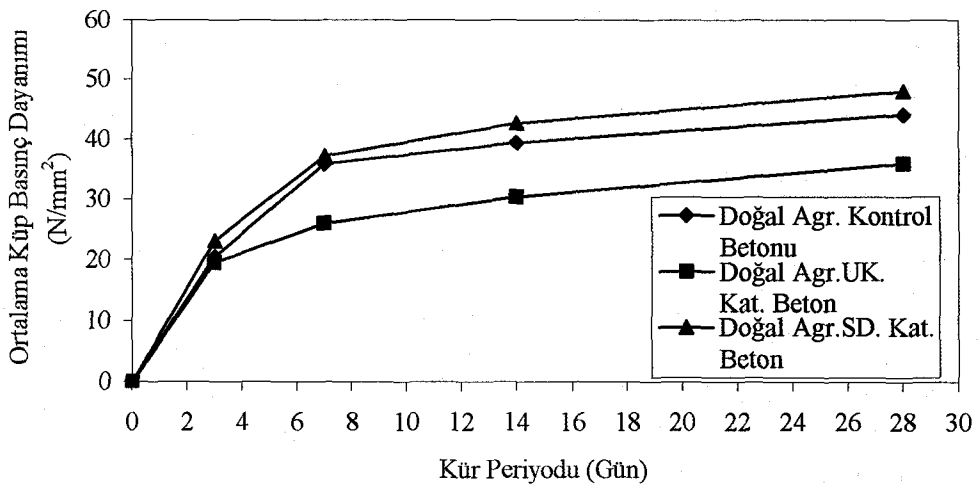
Boşluk miktarı çok olan bir betondan sesüstü dalga hızının geçiş süresi daha uzundur. Betonun boşluk yapısı, yoğunluğu ve agregalar ile yakından ilişkilidir. Bu bakımdan ultrasonik test sonuçları incelendiğinde doğal agregalı ve kırmataş agregalı betonlar birbirine yakın özellik gösterirken hafif agregalı betonlar da sesüstü dalga geçiş hızı daha düşüktür. Her bir agrega ile dökülen beton serileri kendi içerisinde incelendiğinde doğal agregalı beton serilerinin sesüstü dalga hızı en yüksek olanı silis dumanı katkılı beton olarak görülmektedir. Doğal agregalı kontrol betonundan geçen sesüstü dalga hızı ise silis dumanı katkılı betonun değerine yakındır. Uçucu kül katkılı betondan geçen sesüstü dalga hızı ise bunlardan daha düşüktür (Şekil 5.1).

Her bir agregâ ile dökülen beton serileri ayrı ayrı olarak incelendiğinde kırmataşlı beton serilerin ultrasonik test sonuçları diğerlerine göre daha iyi olduğu görülmektedir (Şekil 5.1-5.3). Doğal agregalı beton serilerinin sesüstü dalga hızı kırmataşlı beton serilerinininkine yakın olmakla birlikte kırmataşlı beton serilerinin sesüstü dalga hızı daha yüksektir (Şekil 5.1-5.2). Hafif agreganın boşluk miktarının yüksek olmasından dolayı bu agregâ ile oluşturulan betonların sesüstü dalga hızı diğer beton serilerine göre daha düşüktür (Şekil 5.3).

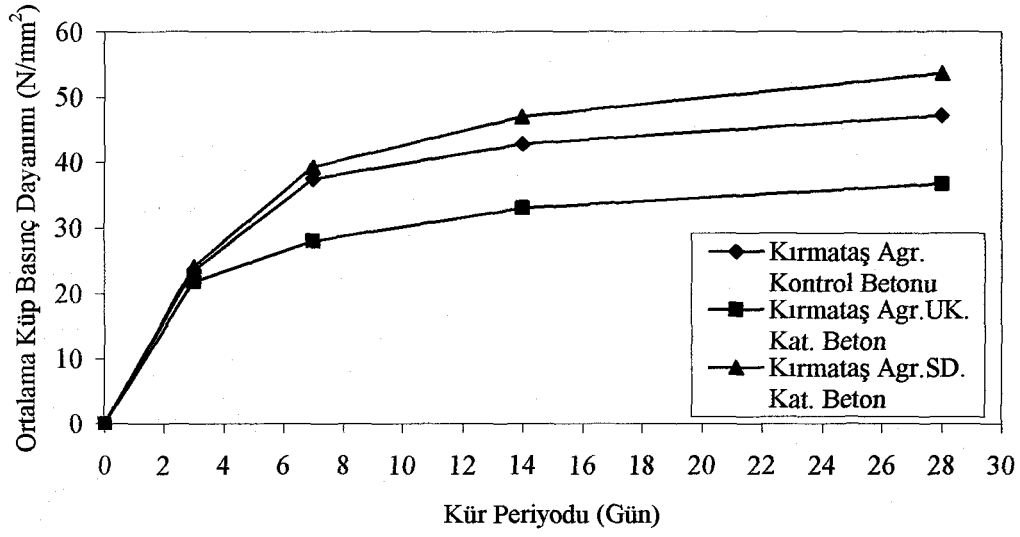
Ultrasonik test sonuçları incelendiğinde agregaların betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi hakkında bir fikir edinilebilir. Agregâ ve karakteristik özellikleri ne kadar iyi olursa bu agregâlarla oluşturulan betonun sesüstü dalga hızı da o derece iyi olmaktadır. Bu bakımdan ultrasonik test sonuçları incelendiğinde kırmataş agregalı betonların diğerlerine göre daha yüksek dayanım özellikleri sergileyeceği söylenebilir (Şekil 5.2).

5.2.2 Basınç Dayanımı Deneyi

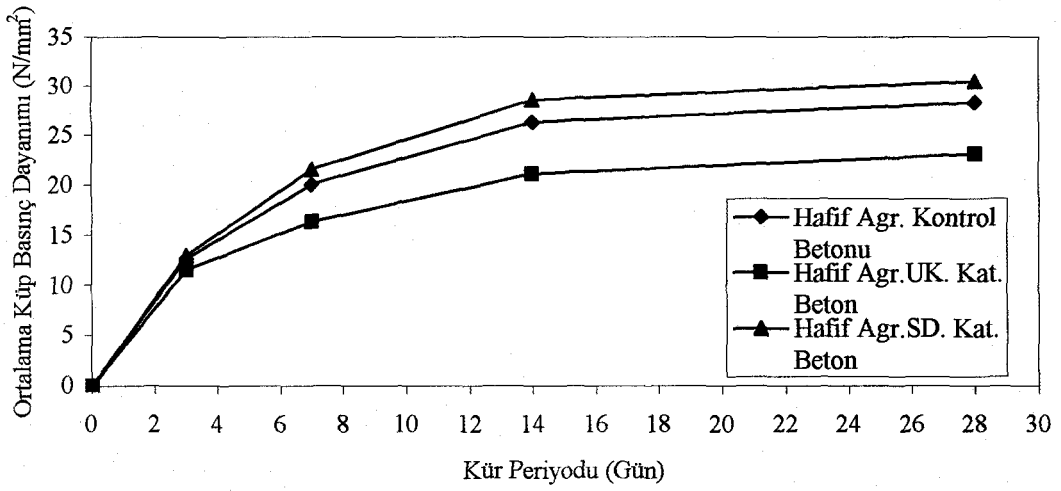
Basınç dayanımı deneyi için 3'er adet 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Her bir agregâ için kontrol, uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) katkılı üçer adet olmak üzere 9 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Basınç dayanımı deneyleri 3, 7, 14 ve 28 günlük betonlarda yapılmıştır. Bu yaşlara ulaşan beton numuneler kür tankından çıkarılıp aynı nem derecesinde ve standartlarda belirtilen hususlara da dikkat edilerek deney presine yerleştirilip kırımı gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kırılmasını takiben deney presi ekranından kırılma yükü, gerilme v.b. bilgiler okunarak kaydedilmiştir. Bu veriler ışığında grafikler oluşturulmuştur (Şekil 5.4-5.10).



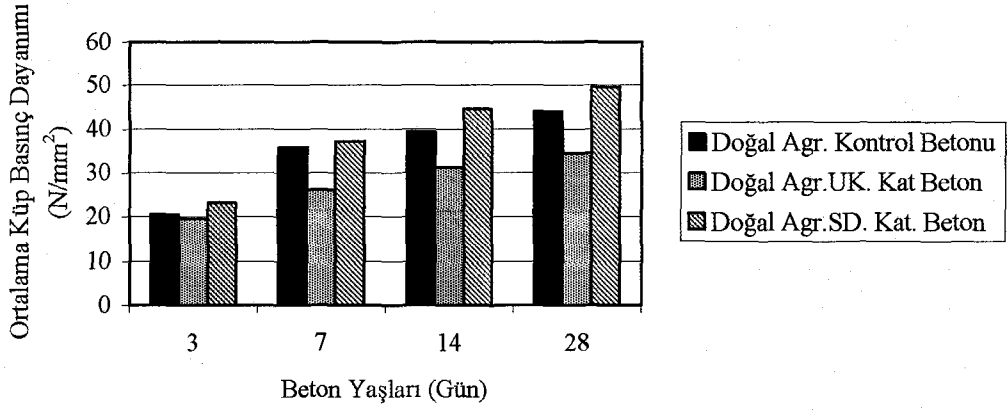
Şekil 5.4 Kür periyoduna göre doğal agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları.



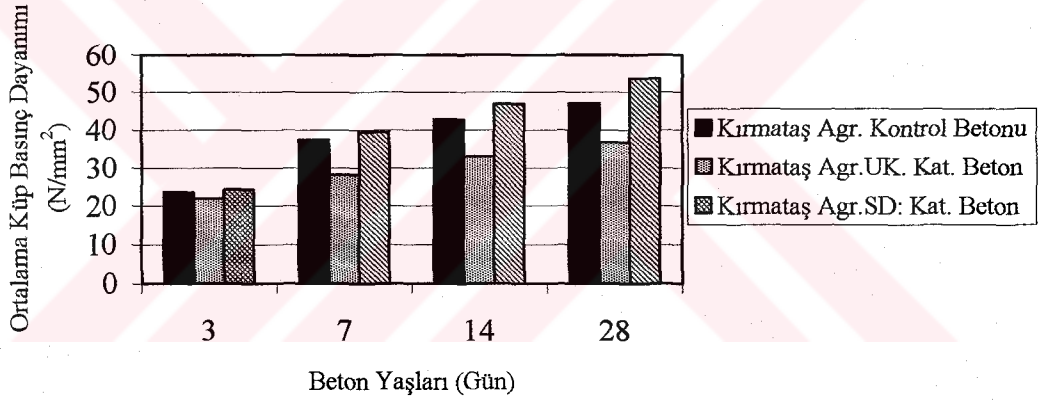
Şekil 5.5 Kür periyoduna göre kırmaş agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları.



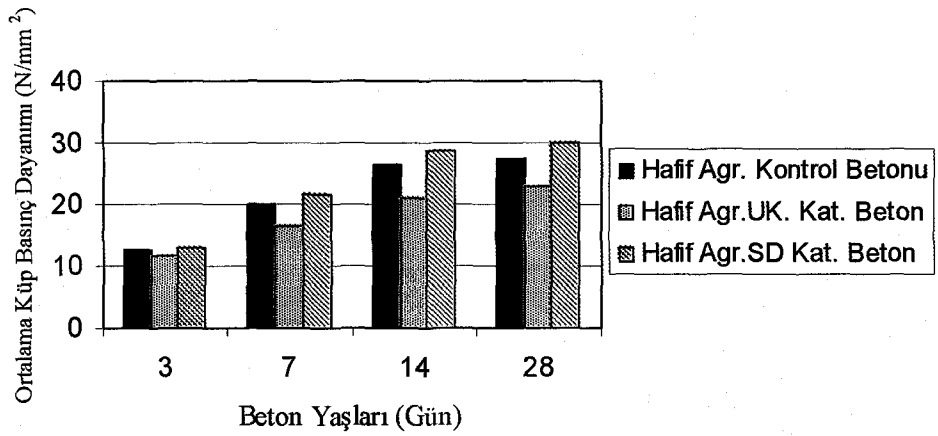
Şekil 5.6 Kür periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları.



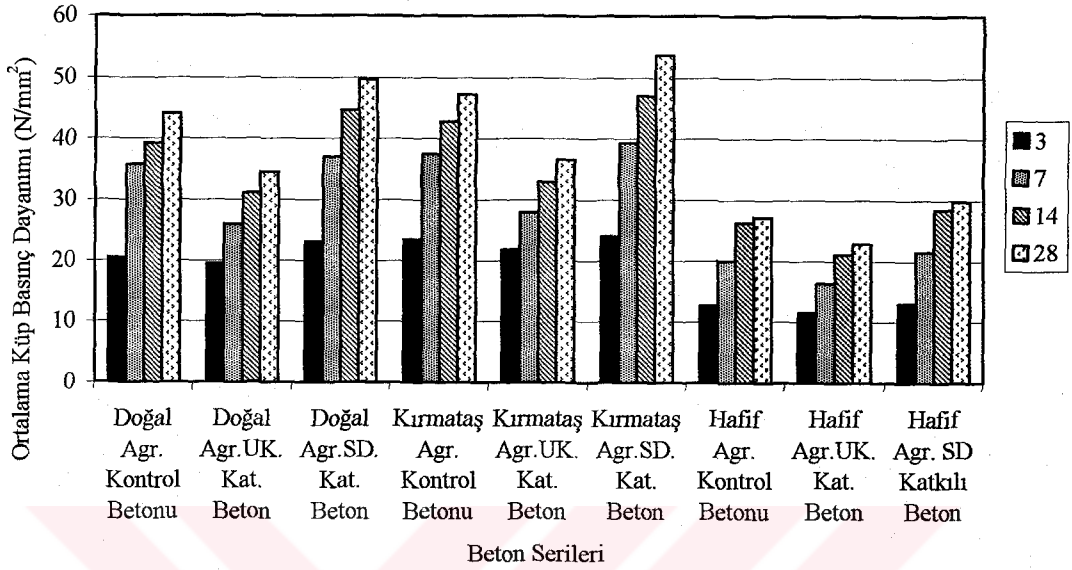
Şekil 5.7 Doğal agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı.



Şekil 5.8 Kırmataş agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı.



Şekil 5.9 Hafif agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı.



Şekil 5.10 Tüm beton serilerinin beton yaşı-ortalama küp Basınç dayanımı grafiği.

Erken yaşlarda tüm serilerde (kontrol, UK ve SD katkılı) benzer basınç dayanımı artışları görülmüştür. Üç günlük yaştan sonra uçucu kül katkılı beton serileri ile diğer beton serileri arasında belirgin bir basınç dayanımı farkı göze çarpmaktadır. Buna karşılık 7 günlük yaşa kadar benzerlik gösteren kontrol betonu serileri ile silis dumanı katkılı beton serileri bu yaştan sonra daha hızlı bir basınç dayanımı artışı sergilemiştir (Şekil 5.4-5.10).

Grafikler incelendiğinde kür periyoduna göre basınç dayanımı yükselme oranı en çok doğal agregalı ve kırmataş agregalı beton serilerinde görülür. Hafif agregalı beton serilerinin ise basınç dayanımı bunlardan çok daha aşağıdadır (şekil 5.6, Şekil 5.9).

Her bir agreganın farklı beton (kontrol, UK ve SD katkılı) serilerinde ise en yüksek basınç dayanımı artışı silis dumanı katkılı beton serilerinde gözlenirken en düşük basınç dayanımı artışı uçucu kül katkılı beton serilerinde gözlenmiştir (Şekil 5.4-5.10).

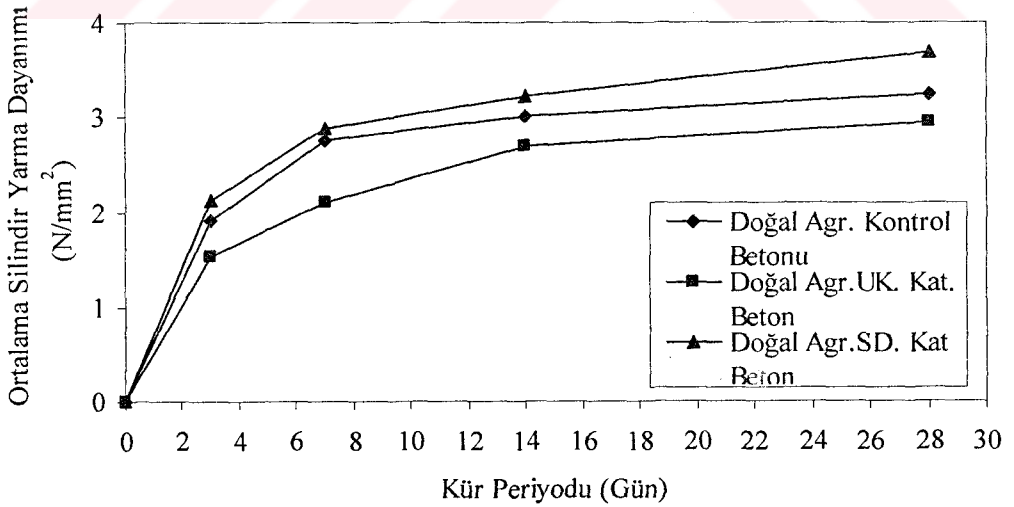
Tüm beton serilerinin yaşlara göre dayanım ilişkisinin verildiği Şekil 5.10 incelendiğinde de aynı beton yaşlarındaki farklı agrega ve katkılı beton serilerinin basınç dayanımlarındaki değişim belirgin olarak göze çarpmaktadır. Yine kırmataşlı beton serileri her yaşta diğer agregalı betonlara göre daha yüksek basınç dayanımı sergilediği ve doğal agregalı beton serilerinin bunu takip ettiği görülmektedir. Hafif agregalı beton serilerinin basınç dayanımı ise diğerlerine göre daha düşüktür.

5.2.3 Yarma Dayanımı Deneyi

Yarma dayanımı deneyi 150 mm çapında ve 300 mm boyunda hazırlanan silindir beton numuneler üzerinde yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyinde olduğu gibi yarma dayanımının belirlenmesinde de 3'er adet deney numunesi hazırlanmıştır. Bölüm 5.1'de belirtildiği gibi dökümü ve bakımı gerçekleştirilen deney numuneleri, belirtilen yaşlara ulaştıklarında yine aynı nem ve kuruluk derecesinde yarma deneyine tabi tutulmuşlardır.

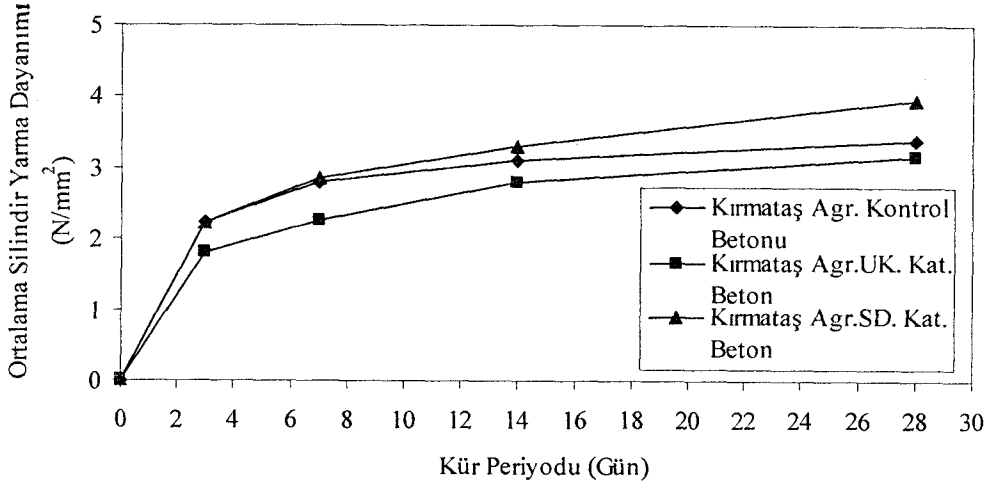
Kalıplardan dolayı numune yüzeyinde oluşan beton çapakları temizlenerek yanal olarak prese yerleştirilen deney numunelerinin alt ve üstüne (pres başlıklarına temas eden yüzeyleri boyunca) kontrplak çitalar yerleştirilmiştir. Üst kısma yerleştirilen çitanın üzerine, çita boyunca yükün tek noktadan ve düzgün bir şekilde yayılması amacıyla standartlarda belirtildiği üzere demir levha yerleştirilmiştir. Bu şekilde deneye hazırlanan numune, preste yüklemeye tabi tutularak yarma deneyi gerçekleştirilmiştir. Yarma deneyi yapılırken tüm beton yaşları için yükleme hızı 1.0 kN/sn seçilmiştir. Bu oranın seçilmesinde yükleme oranı-dayanım ilişkisi göz önünde tutulduğu gibi yükleme oranı-beton yaşı ilişkisi de göz ardı edilmemiştir.

Belirlenen beton yaşına ulaşan numunelerin kırımından sonra deney verileri kaydedilerek grafikler oluşturulmuştur (Şekil 5.11-5.17).

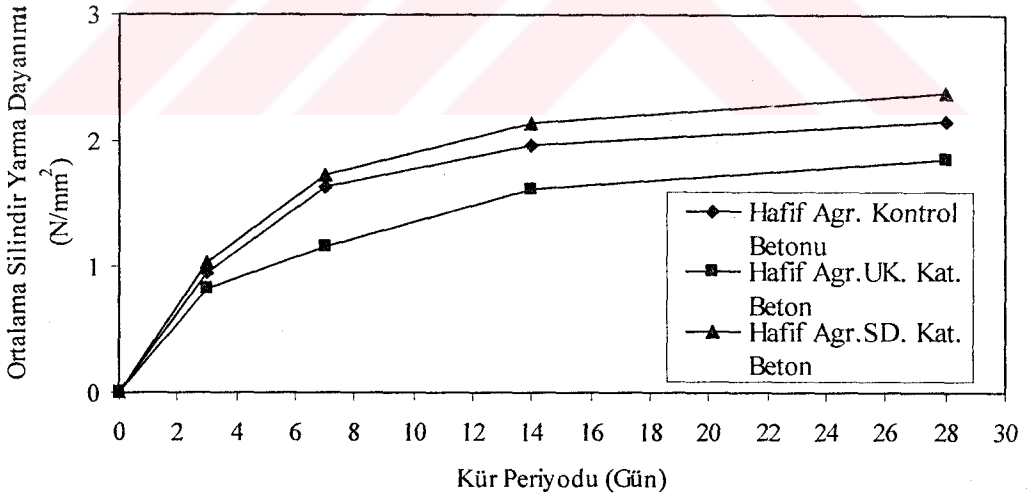


Şekil 5.11 Kür periyoduna göre doğal agregalı beton serilerinin ortalama silindir yarma dayanımı.



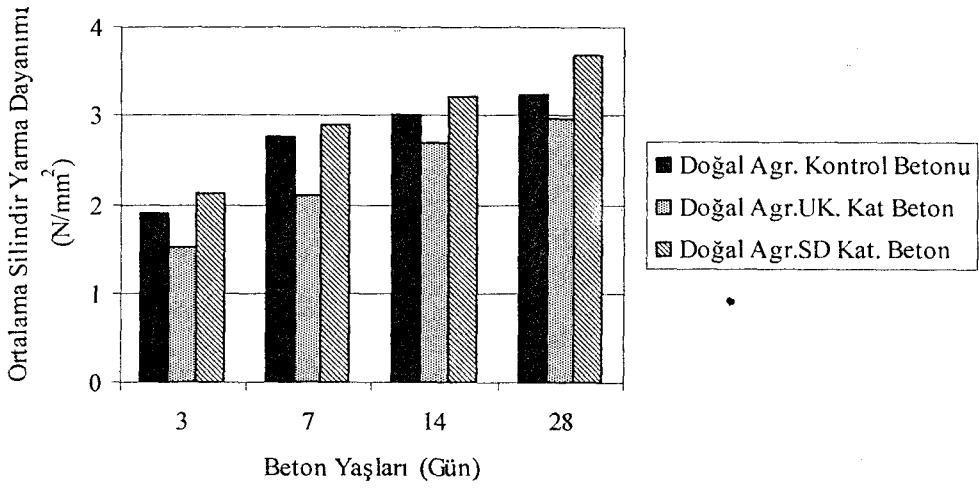


Şekil 5.12 Kür periyoduna göre kırmataş agregalı beton serilerinin ortalama silindir yarma dayanımı.

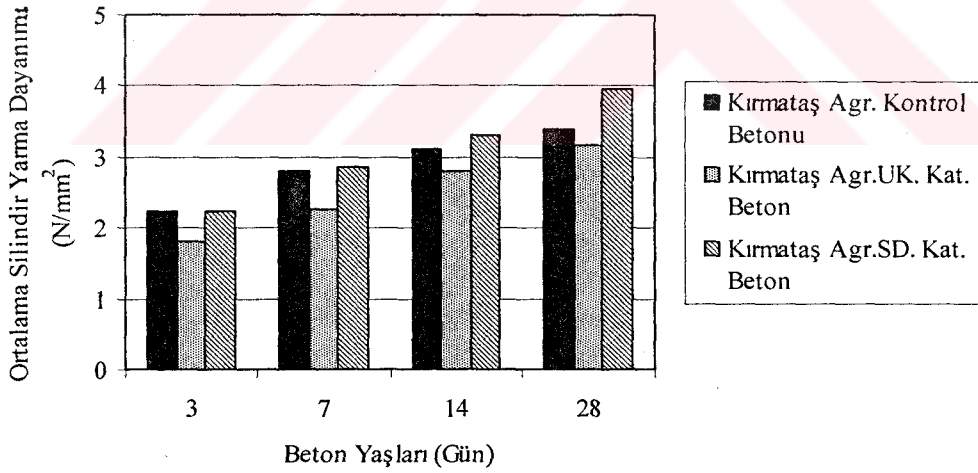


Şekil 5.13 Kür periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin ortalama silindir yarma dayanımı.



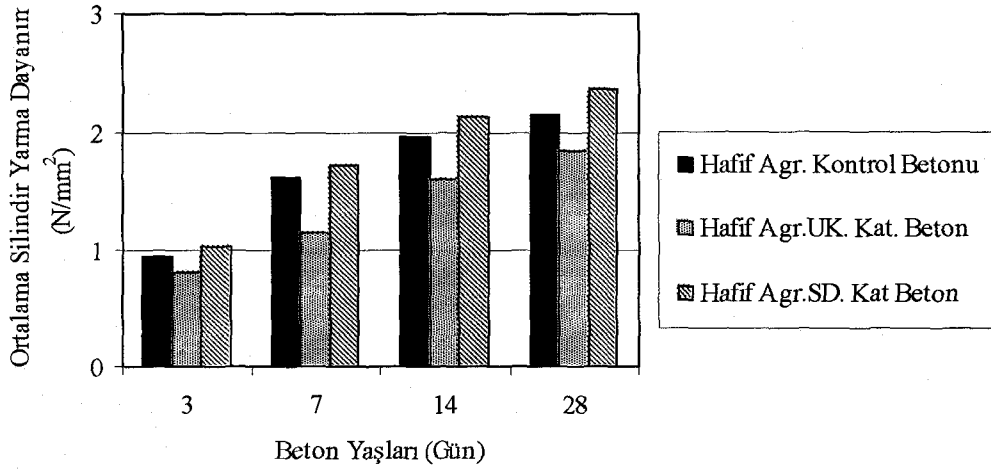


Şekil 5.14 Doğal agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı

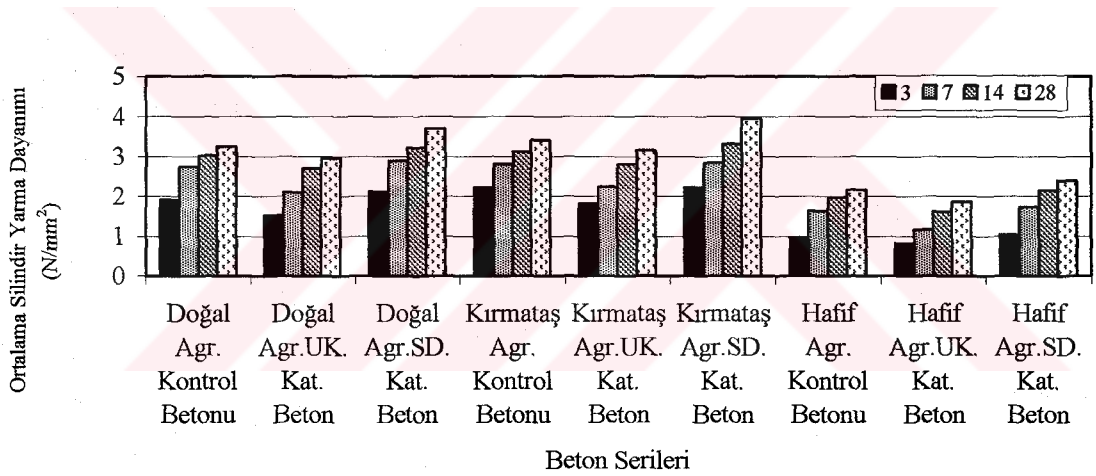


Şekil 5.15 Kırmataş agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı.





Şekil 5.16 Hafif agregalı beton serilerinin beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı



Şekil 5.17 Tüm beton serilerinin beton yaşı-ortalama silindir yarma dayanımı grafiği.

Yarma dayanımları incelendiğinde tüm beton serilerinin kür periyoduna göre yarma dayanımlarında da yükselme olduğu görülmektedir (Şekil 5.11-5.16). Değişik agregalara göre beton serilerinin kür periyodu-ortalama silindir yarma dayanımları incelendiğinde en yüksek yarma dayanımına kırmataşlı beton serileri sahip olmuştur (Şekil 5.12, Şekil 5.15). Doğal agregalı beton serilerinin yarma dayanımı yine kırmataş agregalı beton serilerini takip etmektedir (Şekil 5.11-5.12, Şekil 5.14-5.15). Yarma dayanımında da en düşük dayanım seviyesi hafif agregalı beton serileri göstermektedir (Şekil 5.13-5.16). Agregaların yarma dayanımı üzerindeki etkisi bu şekillerden açıkça görülmektedir.

Her bir agrega ile dökülen beton serilerin 28 günlük yarma dayanımları kendi içinde incelendiğinde silis dumanı katkılı beton serilerinin en yüksek yarma dayanımı artışı sergilediği görülmektedir. Uçucu kül katkılı beton serileri ise basınç dayanımında olduğu gibi yarma dayanımında da en düşük dayanımı kazandığı görülmektedir. Kontrol betonu serilerinin yarma dayanımı ise silis dumanı katkılı beton serilerinin dayanımını takip etmektedir (Şekil 5.11-5.17).

Her bir beton serisinin yarma dayanımının kür periyoduna göre birlikte gösterildiği Şekil 5.17 incelendiğinde de aynı beton yaşlarındaki farklı agrega ve farklı katkılı beton serilerinin yarma dayanımlarındaki değişim belirgin olarak görülmektedir.



6. SONUÇ

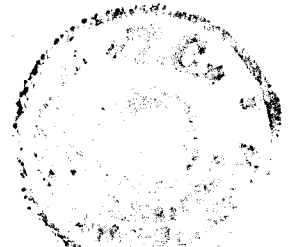
Yapılan bu tez çalışmasında betonun mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde agreganın etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen verilerin ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Kullanılan agregaya göre betonun sesüstü dalga geçirim hızı da değişim göstermiştir. Agregaya bağlı olarak agrega nitelikleri daha iyi olan betonların sesüstü dalga geçirgenlikleri de o derece yüksek olmaktadır.
2. Aynı agrega ile oluşturulan betonların (kontrol, SD katkılı, UK katkılı) sesüstü geçirgenlik hızları ise kullanılan katkının niteliğine göre değişim göstermektedir. Silis dumanı katkısının nitelik ve aktivasyonunun uçucu külden yüksek olması bakımından silis dumanı katkılı betonların sesüstü dalga hızları daha yüksek çıkmıştır. Uçucu kül katkılı betonların sesüstü dalga hızlarının daha düşük çıkmasının nedeni uçucu külün aktivasyonunun zayıf olmasına bağlanmıştır.
3. Silis dumanı ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanım artışı oranı yaklaşık olarak incelendiğinde, kırmataş agregalı SD katkılı beton serileri %14; doğal agregalı SD katkılı beton serileri %12,5; hafif agregalı SD katkılı beton serileri ise %7.5'dir.
4. Farklı agregalar erken yaşlarda dahi birbirinden çok farklı basınç dayanımları sergilemişlerdir. Basınç dayanımı bakımından en yüksek dayanımı, kırmataş agregalı betonlar gösterirken doğal agregalı betonların basınç dayanımları buna oldukça yakındır. Basınç dayanımı en düşük olan beton serileri ise hafif agregalı olanlardır.
5. Tüm betonların yarma dayanımları zamanla artış göstermiştir. Aynı tip agregalı betonlarda en yüksek dayanımı silis dumanı katkılı betonlar göstermiştir. Kontrol betonunun yarma dayanımı silis dumanından daha düşük iken uçucu kül katkılı betonların dayanımından daha yüksek çıkmıştır. En düşük yarma dayanımı uçucu kül katkısı ile hazırlanan betonlarda gözlenmiştir. Silis dumanı ile üretilen betonların 28 günlük yarma dayanımlarındaki en yüksek artış yaklaşık olarak %15 ile kırmataşla üretilen beton serilerde olmuştur.
6. Farklı tip agregalarla üretilen betonların yarma dayanımı en yüksek kırmataş agregalı betonlarda gözlenirken, en düşük yarma dayanımı hafif agregalı betonlarda görülmüştür.

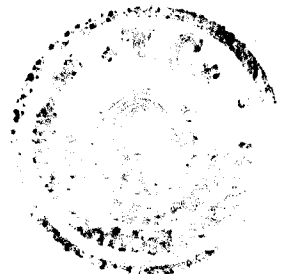
KAYNAKLAR

1. Şengül, Ö., Agrega Türünün Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Davranışına etkisi İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi.
2. Özturan, T. and Çeçen, C., 1997, Effect of Coarse Agregate Type on Mechanical Properties of Concretes With Different Strengths, Cement and Concrete Research, No. 2, pp. 165-170.
3. Alonso, E., Martinez, L., Martinez, W., Villaseñor, L., 2001, Mechanical Properties of Concrete Elaborated With Igneous Aggregates, Cement and Concrete Research, No. 32, pp.317-321.
4. Wu, K.- R., Chen, B., Yao, W., Zhang, D., 2001, Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of High-Performance Concrete, Cement and Concrete Research, No. 31, pp. 1421-1425.
5. Temiz, H., Karakeçi, A. Y., 2002, An Investigation on Microstructure of Cement Paste Containing Fly Ash and Silica Fume, Cement and Concrete Research, No. 32, pp. 1131-1132.
6. Siddique, R., 2003, Effect Of Fine Aggregate Replacement With Class F Fly Ash on The Mechanical Properties of Concrete, Cement and Concrete Research, No. 33, pp.539-547
7. Beshr, H., Almussalam, A. A., Maslehuddin, M., 2003, Effect Of Coarse Agregate Quality on The Mechanical Properties of High Strenght Concrete, Construction and Building Materials, No. 17, pp. 97-103.
8. Yasar, E., Atis, C. D., Kilic, A., Gulsen, H., 2003, Strength Properties of Lightweight Concrete Made With Basaltic Pumice and Fly Ash, Materials Letters, No. 57, pp. 2267-2270.
9. Erdoğan, T .Y., 2003, Beton, ODTU Geliştirme Vakti Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
10. Demirli, İ., H., 2004, Kırmataşla Üretilen Hazır Betonların Donma-Çözölmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
11. TS 19, 1994, Portland Çimentoları, TSE Ankara.
12. TS 706, 1980, Beton Agregaları, TSE Ankara.
13. Özkul, H., Taşdemir, M. A., Tokyay, M., Uyan, M., 1999, Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
14. TS 707, 1980, Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, TSE Ankara.
15. TS 3529, 1980, Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, TSE Ankara.
16. TS 3526, 1980, Beton Agregalarında, Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TSE Ankara.

17. Postacıoğlu, B., 1987, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Teknik Kitaplar Yayınevi Cilt 2.
18. TS 3530, 1999, Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımı, TSE Ankara
19. Akman, S., 1990, Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fak. Matbaası, 2. Baskı, İstanbul.
20. TS 699, 1987, Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları, TSE Ankara.
21. TS 3655, 1981, Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık, TSE Ankara.
22. TS 3527, 1981, Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini, TSE Ankara.
23. TS 3673, 1982, Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu, TSE Ankara.
24. TS 3820, 1983, Beton Agregaları-Organik Maddelerin Harç Dayanımına Etkisinin Tayini Metodu, TSE Ankara.
25. TS 3528, 1980, Beton Agregalarında Hafif Madde Oranı, TSE Ankara.
26. TS 2517, 1977, Alkali Agregası Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini, TSE Ankara.
27. Stark, D., 1991, Handbook For The Identification of Alkali-Silika Reactivity in Highway Structures, SHRP-C/FR-91-101, Washington, D.C.
28. Özışık, G., 2000, Beton. Birsen yayınevi kod no:0029, İstanbul, s:3-109.
29. Tokyay, M., Erdoğan, K., 1998, Uçucu Küllerin Karakterizasyonu, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği.
30. TS 639, 1975, Uçucu Küller, TSE Ankara.
31. ASTM C 618, 1994, Standard Specification For Coal Fly Ash And Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use As a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
32. Malhotra, V. M. And Carrette, G. G., 1983, Silica Fume Concrete-Properties, Applications, And Limitations, Concrete International, ACI, pp. 40-46.
33. Malhotra, V. M., Carrette, G. G., And Sivasundaram, V., 1992, Role of Silica Fume in Concrete: A Review, Advances in Concrete Technology, CANMET-Energy, Mines and Resources, pp.925-991.
34. TS 3323, 1979, Beton Basınç Dene Numunelerinin Hazırlanması Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanımı Deneyi, TSE Ankara.
35. TS 3114, 1980, Beton Basınç Mukavemeti Deney Metodu, TSE Ankara.
36. ASTM C 597, 1994, Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
37. Neville, A. M., 1981, Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, England.



38. Whitehurst, E.A., 1951, Soniscope Tests Concrete Structures, J. of American Concrete Institute, No. 47, pp. 443-444.
39. TS 3129, 1978, Betonda Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Deneyi, TSE Ankara.
40. TS 3284, 1979, Betonda Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (1/3 Noktalarından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle), TSE Ankara.
41. TS 3285, 1979, Betonda Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Orta Noktasından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle), TSE Ankara.
42. TS 3068, 1978, Laboratuarlarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı, TSE Ankara.
43. ASTM C 31, 1994, Standard Praticce For Making And Curing Concrete Test Specimens in The Field, Annual Book of ASTM Standards.
44. ASTM C 39, 1994, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards.



ÖZGEÇMİŞ

Nusret BOZKURT 1980 yılında Tokat'ta doğmuştur. İlk, orta öğrenimini Tokat ilinin Turhal ilçesinde sırasıyla Kahraman Cengiz İlkokulu ve Alparslan Ortaokulu'nda yapmıştır. Lise öğrenimini ise Tokat ilinde bulunan Tokat Teknik Anadolu Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nde tamamlamıştır. 1998 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümünü kazanmış ve 2002 yılında başarı ile mezun olmuştur. Aynı yıl, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.