

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müslüm ÖZDEMİR

KAYAÇ MUKAVEMETİNİN BETON DAYANIMINA ETKİLERİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ADANA, 2006

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYAÇ MUKAVEMETİNİN BETON DAYANIMINA ETKİLERİ

Müslüm ÖZDEMİR
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ç.Ü
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez/....../2006 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

İmza:
Prof. Dr. Mesut ANIL
ÜYE

İmza:
Doç. Dr. Alaettin KILIÇ
DANIŞMAN

İmza:
Doç. Dr. Adem ERSOY
ÜYE

İmza:
Doç. Dr. C.Duran ATİŞ
ÜYE

İmza:
Doç. Dr. Ergül YAŞAR
ÜYE

Bu tez Enstitümüzün Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: MMF 2004.YL.46

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAYAÇ MUKAVEMETİNİN BETON DAYANIMINA ETKİLERİ

Müslüm ÖZDEMİR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Alaettin KILIÇ

Yıl: 2006, Sayfa: 56

Jüri: Prof. Dr. Mesut ANIL

: Doç. Dr. Alaettin KILIÇ

: Doç. Dr. Adem ERSOY

: Doç. Dr. C. Duran ATİŞ

:Doç. Dr. Ergül YAŞAR

Bu çalışma, agrega özelliklerinin yüksek dayanımlı, silis dumanı içeren betonların aşınma dayanım özellikleri üzerinde etkilerinin araştırılması ile ilgili sonuçları içermektedir. Bu amaçla beş farklı agrega türü; gabro, bazalt, kuvarsit, kireçtaşı, kumtaşı kullanılarak silis dumanı katkı-yüksek dayanımlı beton üretilmiştir. Su/çimento oranı 0,35, silis dumanının çimentoya oranı %4 civarındadır. Gabro ile üretilen beton en yüksek basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve aşınması gösterirken aşınması az olan dayanımlı agregaların betonlarında az aşındığı görülmüştür.

Araştırmalar, agrega dayanımının, beton basınç ve eğilme dayanımlarını, agrega ile çimento ara yüzey bağlantısının dayanımı nasıl etkilediğini ve agrega türünün beton aşınma dayanımını nasıl etkilediğini göstermiştir. Ayrıca araştırma sonuçları uygun karışımların hazırlanmasının betonu oluşturan agreganın potansiyel dayanımlarını nasıl ortaya çıkarabileceğini de göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Agrega türü, beton, dayanım, aşınma

ABSTRACT

MSc THESIS

THE INFLUENCE OF AGGREGATE PROPERTIES ON THE STRENGTH OF CONCRETE

Müslüm ÖZDEMİR

DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF MANURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF CUKUROVA

Supervisor: Alaettin KILIÇ

Year: 2006, **Page :** 56

Jury: Prof. Dr. Mesut ANIL

: Assosc Prof. Dr. Alaettin KILIÇ

: Assosc Prof. Dr. Adem ERSOY

: Assosc Prof. Dr. C. Duran ATİŞ

: Assosc Prof. Dr. Ergül YAŞAR

This studies reports the findings of an investigation conducted to evaluate the influence of aggregate types on the strength characteristics and abrasion in concrete which made with strength silica fume. Five different aggregate types; gabbro, basalt, quarsite, limestone and sandstone were used to produce high strength concrete containing silica fume. Water-binder ratio was 0,35. Amount of hyperplasticizer of 4 % were replaced with binder content by mass. Gabbro concrete showed the highest compressive and flexural tensile strength and low abrasion. Sandstone concrete showed the lowest compressive and flexural tensile strength and abrasion resistance. When high abrasion resistant aggregate, abrasion resistant concrete was produced.

Current investigation have been shown how aggregate strength on the compressive and flexural tensile strength of concrete, and how transition zone strength limits the compressive strength of concrete, and how aggregate types influences abrasion resistance of concrete. Investigation results have been also shown that with an appropriate mixture design full strength potential of aggregate can be utilized in concrete.

Key words: Aggregate types, concrete, strengt, abrasion.

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum yüksek lisans çalışmasında bana her türlü konuda olağan üstü yardımlarından dolayı değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Alaettin KILIÇ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ders aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Mesut ANIL, Doç. Dr. Adem ERSOY ve Doç. Dr. Ergül YAŞAR'a, tezimin şekillenmesinde, deneylerde her türlü yardımı sağlayan İnşaat Mühendisliği Bölümündeki sayın Doç. Dr. C. Duran ATİŞ'e teşekkür ederim. Yazım aşamasında bilgi ve yardımlarına başvurduğum başta Ahmet Teymen ve T. Yusuf YÜNSEL olmak üzere tüm araştırma görevlisi arkadaşlara, yine deney aşamasında yardımlarını esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlilerine, her zaman beni destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim. Tezimin deney aşamasında her türlü imkanlarından yararlandığım Gaziantep Ak Beton'a teşekkür ederim. Tezimin yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Harun ŞİMŞEK, Mehmet ÜZMEZ ve Mustafa YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca her zaman bana her konuda yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen Kimya öğretmenim İ. Nejla Dağdeviren, Yüksek Hemşire ablam Perihan ÖZDEMİR ve çok değerli hocam Prof. Dr. O. Zeki HEKİMOĞLU'na çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Agrega	5
2.1.1. Agrega Granülometrisi	6
2.1.2. Agregada Aranan Özellikler	9
2.1.3. Agrega Türleri	12
2.1.4 Agrega Özelliklerinin Belirlenmesi.....	14
2.1.5. Su Emme	15
2.2. Çimento	16
2.2.1. Çimento Türleri	18
2.2.1.1. Portland Çimentoları	18
2.2.1.2. Beyaz Portland Çimentosu	20
2.2.1.3. Yüksek Fırın Curuf Çimentoları	20
2.2.1.4 Traslı Çimento	21
2.2.1.5. Alüminli Çimento	21
2.2.1.6. Diğer Tür Çimentolar	22
2.2.1.7 Çimentolarda Aranan Özellikler	24
2.2.2. Çimento Mukavemet Özellikleri	25
2.2.2.1. Hidratasyon	25
2.2.2.2. Priz (Katılaşma)	26
2.2.2.3. Sertleşme (Mukavemet Kazanım)	27
2.3. Su	27
2.3.1. Karma Suyu Miktarı	28
2.3.2. Karma Suyu Miktarının Bulunması	29

2.4. Katkı Maddeleri	31
2.4.1. Beton Katkı Maddelerinin Amaçlarına Göre Sınıflandırılması	31
2.4.2. İşlenebilme (Akışlandırıcı) Özelliği Veren Katkılar	35
2.4.3. Priz Geciktirici Katkılar	36
2.4.4. Priz Hızlandırıcı Katkılar	37
2.4.5. Hava Sürükleyici Katkılar	37
2.4.6. Su İtici (Su Azaltıcı) Katkılar	38
2.4.7. Beton Koruyucu Katkılar	38
2.4.8. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Kullanılan Süperakışkanlaştırıcılar	40
3. MALZEME VE YÖNTEM	42
3.1. Malzeme	42
3.1.1. Çimento	42
3.1.2. Silis Dumanı	42
3.1.3. Agrega Türü ve Gradasyonu	43
3.2. Yöntem	44
4. ARAŞTIRMA VE BULGULARI	46
4.1. Agrega Basınç Dayanımının Beton Basınç Dayanımına Etkisi	46
4.2. Agrega Basınç Dayanımının Beton Eğilme Dayanımına Etkisi	47
4.3. Agrega Basınç Dayanımının ve Agrega Aşınması Arasındaki İlişkileri	49
4.4. Agrega Dayanımı ve Sertliğinin Beton Aşınmasına Etkisi	49
4.5. Agrega Aşınmasının Beton Aşınmasına Etkisi	50
5. SONUÇLAR	52
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1. Maksimum Tane Boyutu 8,00 mm Olan Agreganın Numunelerinin Türk Standardına Göre Gradasyon Sınır Değeri	7
Şekil 2.2. Maksimum Tane Boyutu 16,00 mm Olan Agreganın Numunelerinin Türk Standardına Göre Gradasyon Sınır Değerleri	7
Şekil 2.3. Maksimum Tane Boyutu 31,5 mm Olan agreganın Numunelerinin Türk Standardına Göre Gradasyon Değerleri	8
Şekil 2.4. Maksimum Tane Boyutu 63,00 mm Olan Agreganın Numunelerinin Türk Standardına Göre Gradasyon Sınır Değerleri	8
Şekil 4.1. Kür Süresine Bağlı Olarak Beton Dayanım Grafiği	47
Şekil 4.2. Kür Süresine Bağlı Olarak Betonların Eğilme Dayanım Grafiği	48
Şekil 4.3. Beton ve Agregaların L.Angel's Aşınma Oranları Arasındaki İlişki.....	51
Şekil 4.4. Agregaların L. Angeles Aşınma Oranları ile Betonun Böhme Aşınma Oranı Arasındaki İlişki.....	51

ÇİZELGELER LİSTESİ

SAYFA

Çizelge 2.1. Agrega Tanelerinin Boşluklardaki Bileşenleri	10
Çizelge 2.2. Kumun Çakılın ve Bazı Kırmataş Agreganın Su Emme Kapasitelerine Dair Yaklaşık Değerler	15
Çizelge 2.3 Portland Çimentosu Bileşenleri ve Özellikleri	17
Çizelge 2.4. Portland Çimentosu Yapımında Kullanılan Değişik Kalker ve Marnların Kimyasal Yapısı	19
Çizelge 2.5. Akçimentoda Kullanılan Portland Çimentosu Yapımında Kullanılan Killerin Kimyasal Yapıları	20
Çizelge 2.6. Türk Çimentolarının Kullanıldığı Yerler	24
Çizelge 2.7. Dünyada Kullanılan Belli Başlı Diğer Çimento Çeşitleri ve Kullanıldığı Yerler	24
Çizelge 2.8. Çimentoların Toplam Hidratasyon Isısı	26
Çizelge 2.9. Su Miktarına Göre r 'nin Değeri	30
Çizelge 2.10. Optimum su miktarının az olması, optimum su miktarının fazla olması durumunda betonda meydana gelebilecek olumsuzluklar...	31
Çizelge 2.11. ACI Com. 2122ye Göre Katkı Maddesi Sınıflandırılması	33
Çizelge 2.12. Joisel'e Göre Katkı Maddesi Sınıflandırılması	33
Çizelge 2.13. Rilem Com. 11A'ya Göre Katkı Maddesi Sınıflandırılması	34
Çizelge 2.14. ASTM C- 494'e Göre Katkı Maddesi Sınıflandırılması	34
Çizelge 3.1. Kullanılan Çimentonun Kimyasal Bileşimi	42
Çizelge 3.2. Kullanılan Silis Dumanının Kimyasal Bileşimi	42
Çizelge 3.3. Agregalara Ait Boyut ve Miktarlar	43
Çizelge 3.4. Agrega Kayaçlarına Ait Bazı Mekanik ve Fiziksel Özellikler	44
Çizelge 3.5. Farklı Agregalarla Hazırlanan Betonun Slamp Değerleri (cm)	45
Çizelge 4.1. Kür Süresine Bağlı Olarak Beton Dayanımları	46
Çizelge 4.2. Kür Süresine Bağlı Olarak Betonların Eğilme Dayanımları	48
Çizelge 4.3. Agregaların tek eksenli basınç dayanımları ve aşınmaları	49
Çizelge 4.4. Kayaç Dayanımı ile Beton Özellikleri Arasındaki İlişki	50

1. GİRİŞ

Beton; çimento, iri agrega, ince agrega ve suyun, kimyasal ve mineral katkı da ilave edilerek veya edilmeden karıştırılmasıyla oluşturulan ve çimentonun hidratasyonu ile gerekli özelliği kazanan malzemedir (TS EN 206 – 1). Diğer bir ifade ile beton; kum, çakıl, kırma taş veya diğer agregaların, su, gerektiğinde bazı katkı maddeleri ile çimentonun birlikte karılmasıyla elde edilen bileşimdir. Bu bileşime giren malzemeler özel olarak oranlandığı zaman karışım, herhangi bir yere dökülebilir ve ebadı ile şekli önceden belli kalıpların şeklini alabilen plastik bir kütle meydana getirir. Çimentonun hidratasyonu sonunda beton, bir çok gayeler için kullanılabilecek mukavemet ve sertlik olarak taşa benzeyen bir yapı malzemesine dönüşür (Bayazıt, 1988). Ersoy, 1975’e göre Beton; kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega v.b), çimento ve suyun karıştırılmasından elde edilen bir yapı malzemesidir. Sözü edilen malzemeler belirli oranda karıştırıldığında, kalıplarla istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir (Ersoy,1975., Çetmeli, 1974).

Beton oluşturulmasında çimento hamurunun işlevi, agrega tanelerinin yüzeyini kaplamak, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmak ve agrega tanelerini bir arada tutacak tarzda bağlayıcılık sağlamaktır. O bakımdan, beton, “çimento hamurundan ve agregalardan oluşan kompozit bir malzeme” olarak da tanımlanabilmektedir (Erdoğan, 2003). TS 4834’e göre Beton; çimento agrega, su ve gerektiğinde katkı maddesinin uygun oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen başlangıçta plastik kıvamlı olup zamanla çimentonun hidratasyonu nedeniyle katılaşp sertleşen bir yapı malzemesidir (TS 4834, 1986., Gökdemir, 1997).

İnsanoğlu binlerce yıl önce taşı yapı malzemesi olarak kullanmaya başladığında, elinde iyi bir bağlayıcı malzeme olmadığından, uygulama sınırlı kalmıştır. Eski Grek, İyon ve Roma tapınaklarında belirli açıklıkların geçilmesinde tek parça taşlardan oluşan kirişler kullanılmıştır. Ancak taşın çekme dayanımı düşük olduğundan, geçilen açıklıklar sınırlı kalmış ve büyük kesitler gerektiğinden, ağır elemanların taşınması ve yerine konması büyük sorunlar yaratmıştır. İnsan oğlunun daha büyük açıklıklar geçme tutkusu onu yeni yapı sistemleri aramaya itmiş ve bunun sonucu olarak, tüm kesitin basınca çalıştığı kemer sistemleri geliştirilmiştir.

Kireç ve doğal çimento gibi bağlayıcıların bulunması ile daha dayanıklı yapılar inşa edilebilmiştir.

İyi bir bağlayıcı olan doğal çimentonun ilk kez Romanlılarca kullanıldığı sanılmaktadır. Romalılarda 18. yüzyıla kadar bağlayıcı konusunda önemli bir ilerleme olmamıştır. İlk çimentoyu bulan, John Smaeton adlı bir İngiliz mühendistir. Mevcut kaynaklara göre Smaeton, 18. yüzyılda yapılmış olan Edystone Fenerinde kireçtaşı ve kil karışımından elde ettiği bir tür çimento kullanmıştır. Bu gün kullanılan çimento ise, John Aspdin adlı bir İngiliz duvarcı tarafından bulunmuştur. Aspdin imal ettiği çimentonun patentini alırken, adını Portland'daki taşlara benzediğinden "Portland Çimentosu" olarak tescil ettirmiştir. İlk Portland çimentosu fabrikası 1848'de İngiltere'nin kent şehrinde kurulmuş, çimento imalatı ve kullanımı 19. yüzyılın ikinci yarısında bir çok ülkeye yayılmıştır.

Çimentoya kum, çakıl ve su karıştırılarak elde edilen betonun çekmeye ve darbe etkilerine dayanıklı olmadığı görülerek, bu malzemenin demir çubuklarla güçlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Lambot 1848'de betondan imal ettiği tekneyi karesel bir ağ oluşturan demir çubuklarla güçlendirmeye çalışmıştır. Betonun demir çubuklarla güçlendirilmesi ile oluşan malzeme "**betonarme**" olarak adlandırılmış ve bu konuda ilk patent 1855'de Coignet ve 1857'de Monier tarafından alınmıştır. 1872'de Monier tarafından yapılan 130 m³ kapasiteli betonarme su deposu büyük bir başarı olarak tarihe geçmiştir. 1882'de Coignet Paris kentinin drenaj sisteminde 5 m çaplı tünelin kaplanmasını, betonarme ile gerçekleştirmeye başlamıştır.

Çağdaş betonarme yapı sistemlerin ve bunlarla ilgili hesap yöntemlerinin öncülüğünü Fransız Mühendisi Coignet yapmıştır. 19. yüzyılın sonunda yaygınlaşmaya başlayan betonarme ilginç örneklerinde biri, 1892'de Percy tarafından gerçekleştirilen Stanford Üniversitesindeki müze binasıdır. Açıklıkları 14 m' yi bulan bir betonarme sisteminin kullanıldığı bu binanın, 1906 Kaliforniya depremini hasarsız atlatabilmiş olmasıdır (Shear ve Torsion, 1978).

Betonun kendisini oluşturan agrega, çimento, ve suyun belirli ölçülerde karışımından oluştuğundan yukarıda da bahsetmiştik. Beton özelliklerine etkili olmak için bazı durumlarda kimyasal katkı maddeleri de karışıma eklenir. İmal edilen taze beton kalıp içine boşaltılır. İyi bir şekilde yerleşimi sağlamak amacıyla

vibratörle titreştirilir. Bundan sonra sertleşmeye bırakılan beton kullanılan çimentonun türüne ve katkı maddelerine göre değişen bir hızla sertleşmeye başlar ve bu işlemin %60 -90'lık kısmı genellikle 28 gün içinde tamamlanır (Celep ve Kumbasar, 1996).

Çimentolar, kil ve tabii kalker taşları karışımlarının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesinden elde edilen hidrolik bağlayıcılardır. Su ile karıştırılıp plastik bir hamur durumuna getirildikten bir süre sonra havada yada su içinde yavaş yavaş katılaşarak taşlaşırlar. Priz adı verilen bu katılaşma olayı, normal şartlar altında en az 1 saatte başlamak ve en çok 10 saatte tamamlanmak üzere gerçekleşir; bu süreye soğuk yavaşlatıcı, sıcak hızlandırıcı etkide bulunur.

Henüz katılaşmamış betonun mukavemeti zayıf olup bu dayanıklılık zamanla artar; bu olaya *sertleşme* adı verilir. Sertleşme gerçekten katılaşma olayının bir devamıdır; çimentonun tam mukavemetine erişmesi uzun bir süre sonunda olur (Aka, Keskinel ve Arda., 1996).

Beton yapı malzemesi olarak kullanılan temel bir malzemedir. Betonun basınç dayanımı yüksek, ancak çekme dayanımı düşüktür. Dolayısıyla, betonun çekme dayanımı ihmal edilir. Betonun basınç dayanımı ise hesaplarda göz önüne alınmaktadır. Betonun basınç dayanımı 15 cm çaplı ve 30 cm uzunluğundaki standart silindir numunelerin eksenel basınç altında denenmesiyle bulunmaktadır.

Çekme ve basınç kuvvetlerinin bir kesite etkidiği oldukça sık karşılaşılan durumdur. Betonun çekmeye karşı çok az mukavemet gösterdiği düşünülürse bahsedilen yükün beton kesite etki etmesi halinde kesitin çekme kuvvetine karşı mukavemet göstermemesi mümkündür. Bu nedenle beton ile birlikte donatı çeliği yada yumuşak çelikler çekme gerilmelerini yüklenirken, beton basınç gerilmeleri yüklenecektir (Gökdemir, 1997).

Bu tez çalışmasında betonu oluşturan malzemelerden biri olan agreganın mekanik özelliklerinin beton dayanımına etkisi incelenmiş ve Betonun basınç dayanımı pek çok değişkenden etkilenmektedir. Kullanılan agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri, su – çimento oranı, betonun kürü, çimentonun mukavemeti, yükleme hızı betonun basınç dayanımı etkileyen bazı faktörlerdir.

Beton basınca dayanıklı bir yapı malzemesidir. Bununla birlikte aşınma mukavemeti, çarpma mukavemeti, az da olsa çekme mukavemeti gibi mekanik mukavemetler gösterdiği bilinmektedir.

Betonun basınç dayanımını etkileyen bu faktörlerden birçoğu araştırılmış ve beton dayanımına etkileri belirlenmiştir.

Yapı yüklerinde genellikle basınç, çekme, burulma, kesme ve eğilme etkisi altında yük etkileri görülmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde önceki çalışmalar incelenmiş olup, literatürün taranması sonucu elde edilen bilgiler alt başlıklarda sunulmuştur.

2.1. Agregalar

Beton mukavemetine etki eden bileşenlerden biri agreganın kendi kalitesidir. Agregalar, doğal kum ve çakıl ocaklarından veya sathi tabakalar altındaki kayaların kırılması ile elde edilmektedir. Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agrega'dır (Lafarge, 1997).

Agregalar; ince (kum) ve kaba (çakıl) olarak ikiye ayrılır. Yani beton elemanın maruz kaldığı basınç gerilmesine asıl iri agrega karşı koyar. Kum (Tek agrega kullanılmıyorsa), iri agregalar arasında kalan boşlukları doldurur. Çimento hamuru da kum ve iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurur ve agrega tanelerini birbirine bağlayarak çalışmaları esnasında gerilmeleri birbirlerine iletmelerini sağlar.

Sert beton hacim olarak, %75 civarında agregadan oluştuğu için betonun asıl mukavemeti, iri agrega tarafından tayin edilmektedir (Daş, 2004). Beton içinde hacimsel olarak %60 -75 civarında yer işgal eden agrega önemli bir bileşendir. Dane çapı 4 mm den küçük olan agregalara “ince agrega”, dane çapı 4 mm den büyük olan agregalara “iri agrega” denilmektedir.

Beton agregalarının kalitesi, tanelerin yüzey durumu, tanelerin biçimi, granülometrisi ve fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Üretilen betonda agregalar ile çimento hamuru arasında büyük bir bağ kuvvetinin bulunması yani kuvvetli bir aderansının olması betonun mekanik Mukavemetin yüksek bir değer almasına yardım eder. Burada aderansa olumlu etki eden agrega yüzeyinin pürüzlülüğüdür. Yüzeydeki girinti ve çıkıntılara çimento hamurunun girmesi ayrılımları güçleştirir, betonun mukavemetini artırır. Agregalar tanelerinin biçimi olarak en uygun durum tanelerin küp veya küre şeklinde olmasıdır. Yassı ve uzun taneler agregaların ve

dolayısıyla betonun kompasitesini azaltıp, mukavemetinin düşmesine neden olur (Bayazıt, 1988).

İyi kalite veya istenen kalitede beton elde etmek için betonda kullanılan agreganın özelliklerinin çok iyi bilinmesi gereklidir. Genel olarak ağır yani, özgül ağırlığı fazla olan, agregaların mukavemeti ve dayanıklılığının da fazla olduğu gözlenmiştir.

Agrega dayanımı çimentodan az olursa, yapılan betonun gücü, çimento dayanımına erişilmeden, agreganın kırılması ile tükenecektir. Bu durumda karışım oranlarını değiştirerek veya çimentoyu arttırarak dayanımı yükseltmek imkansızdır.

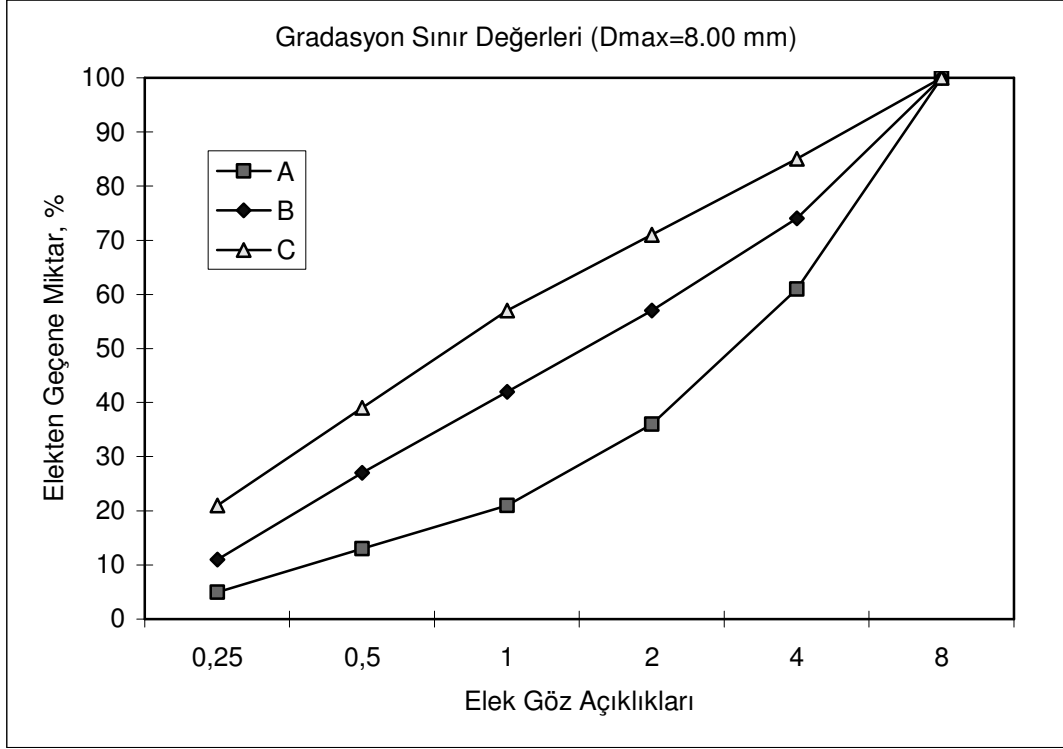
2.1.1. Agreg Granülometrisi

Agrega Granülometrisi Agreg tane dağılımını gösterir. Bir agreg yığnında granülometri, tanımlarda belirtilen elekler yardımıyla elde edilir. Elek analizi TS 3530'a göre yapılır.

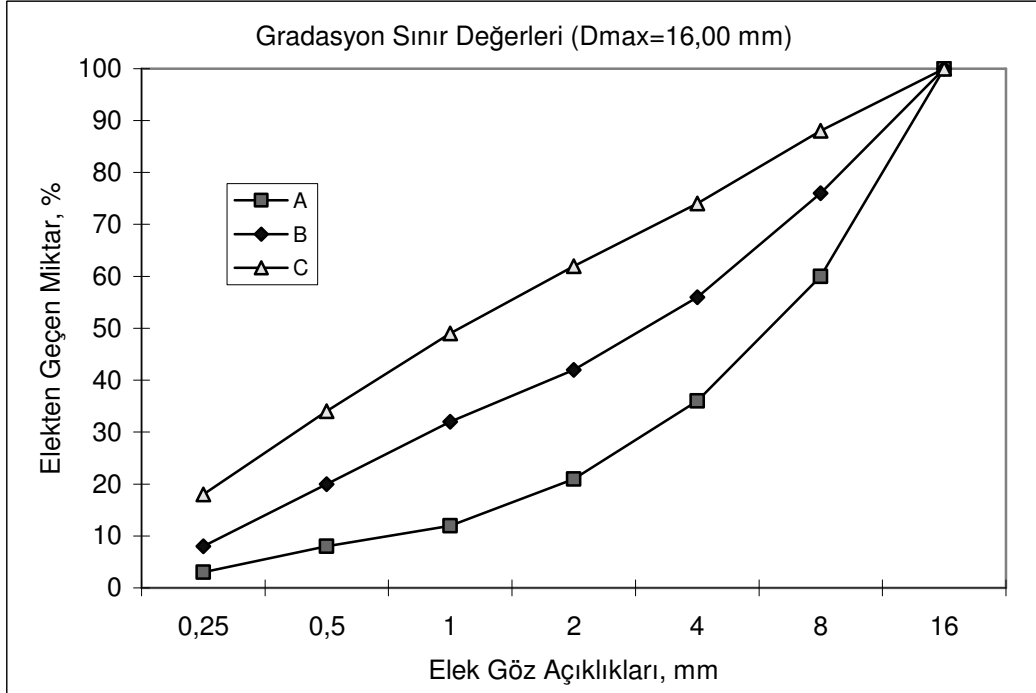
En büyük agreg boyutu,

- Betonarme yapılarda: 16 -32 mm
- Yol ve Hava meydanlarında: 32 – 90 mm
- Barajlarda: 90 – 250 mm olarak seçilebilir.

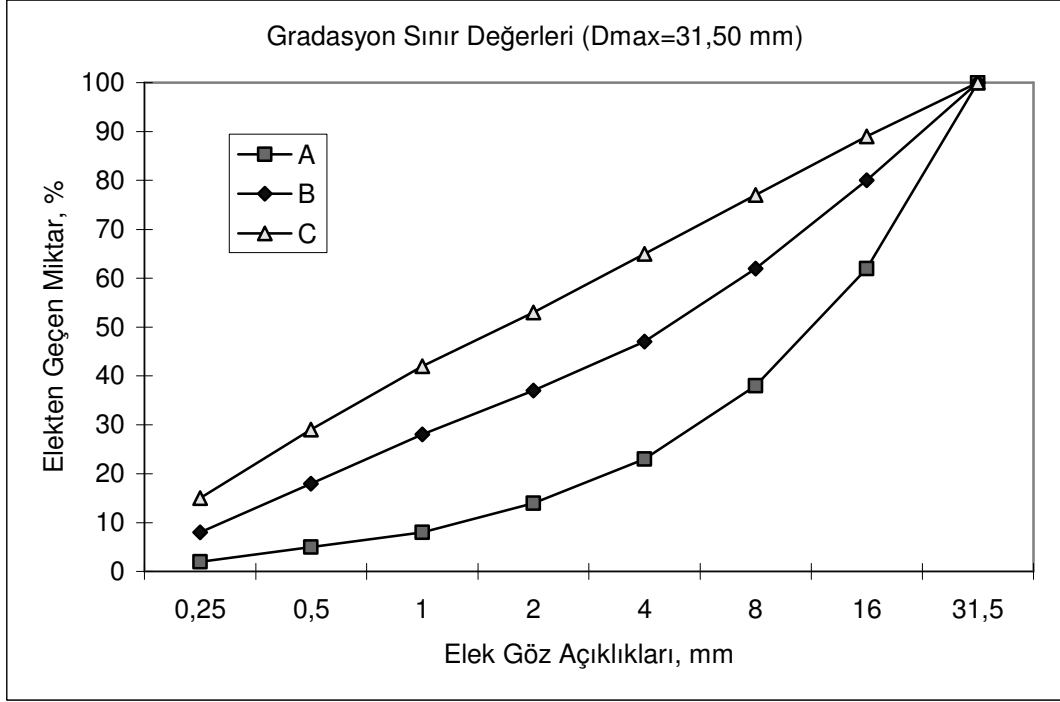
Beton üretiminde kullanılacak agregaların karışım granülometrisi “İdeal granülometri” ile uyuşmalı veya ideal bölgeler olarak adlandırılan bölgeler içinde kalmalıdır. TS 706'ya göre en büyük agreg boyutuna bağlı olarak kabul edilen referans eğrileri tanımlanır. A – B arası “En iyi”, B – C arası ise “Kullanılabilir” bölgelerdir. Öte yandan, granülometrisi A ve C eğrileri dışında kalan agreg, beton üretiminde kullanılmamalıdır.



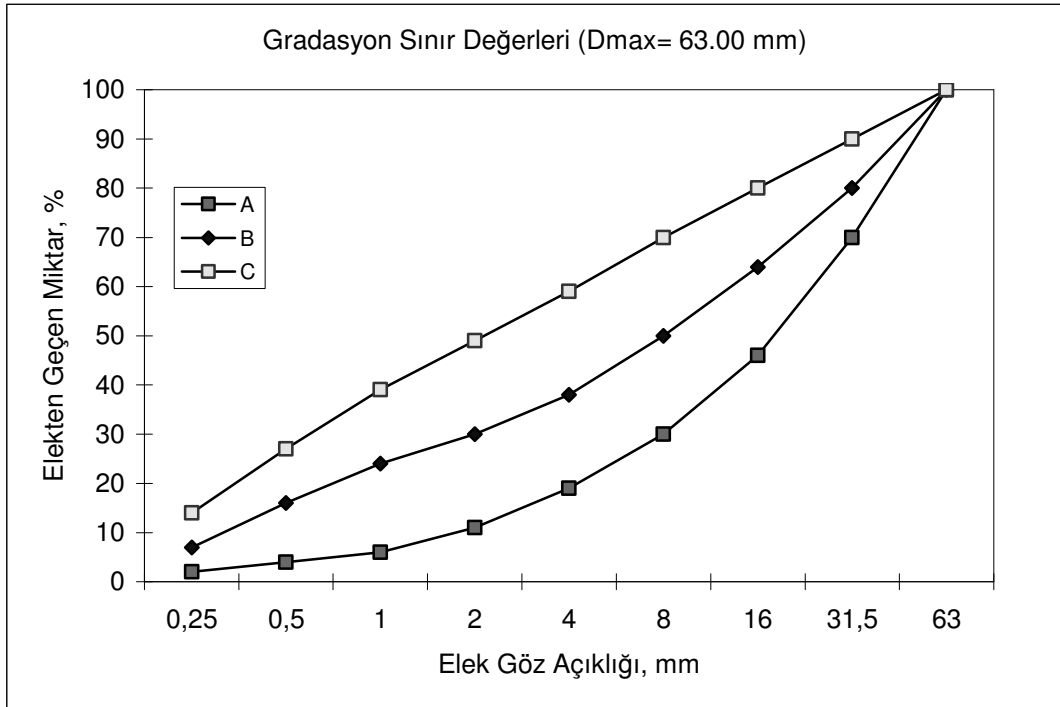
Şekil 2.1. Maksimum Tane Boyutu 8,00 mm Olan Agrega Numunelerinin Türk Standardına Göre Gradasyon Sınır Değeri



Şekil 2.2. Maksimum Tane Boyutu 16,00 mm Olan Agrega Numunelerinin Türk Standardına Göre Gradasyon Sınır Değerleri



Şekil 2.3. Maksimum Tane Boyutu 31,5 mm Olan agrega Numunelerinin Türk Standardına Göre Gradasyon Değerleri



Şekil 2.4. Maksimum Tane Boyutu 63,00 mm Olan Agrega Numunelerinin Türk Standardına Göre Gradasyon Sınır Değerleri

Granülometrinin ideal bölgede kalmasıyla, doluluk (kompasite) oranı yükselir, boşluklar azalır, böylece boşlukları doldurmak için daha az çimento kullanılarak ekonomik çözüm elde edilir. Ayrıca betonda agregaya yüzeylerini ıslatmak için gerekli su da azalmış olur.

Agreganın istenilen oranlardaki tane dağılımında olmaması halinde, eldeki agregaya ile bir başka agreganın uygun oranlarda karıştırılarak, yeni ve uygun gradasyona sahip tek bir numune elde edilmesi mümkündür. Bazen ikiden fazla agregaya bir araya getirilerek uygun gradasyondaki agreganın elde edilmesi sağlanabilmektedir.

Gradasyon değerleri bilinen numunelerden uygun agreganın elde edilmesi hesaplama ile veya grafiksel yaklaşım sonucu bulunabilmektedir.

İyi kalitede ve kullanılabilir kıvamda beton yapılabilmesi için kullanılan kum ve çakıldaki çeşitli dane çaplarının karışım içinde belirli oranlarda bulunması gerekir. Başka bir deyişle, kum ve çakıl karışımının granülometrisi belirli sınırlar içinde kalmalıdır. Granülometrik bileşim, çeşitli delik çaplarına sahip bir elek dizisi ile saptanır. Granülometrik eğriler, her bir elekten geçen malzeme ağırlığının toplam ağırlığa oranının, elek delik çapının bir fonksiyonu olarak çizilmesi ile elde edilir.

2.1.2. Agregalarda aranan özellikler

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları
- Zayıf taneler içermemeleri
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri
- Alkali reaksiyonu göstermemeleri (Lafarge, 1997).

Agrega tanelerinin boşluklarındaki bileşenler çizelge 2.1 de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Agregatanelerinin Boşluklarındaki Bileşenleri

	Minimum (%)	Maksimum(%)
Hava	1	3
Su	22	17
Çimento	5	17
Agrega	60	75

Islak Taneler: Agregatanelerinin bütün boşlukları su ile dolu olmasının yanında yüzeyi de su ile kaplıdır.

Kuru Yüzeyli Dolgun Taneler: Tanelerin bütün boşluklarının su ile dolması ve yüzeyinin tamamen kuru olması halidir.

Kuru Yüzeyli Taneler: Agregadaki bu durum numunenin etüvde 100 – 110 °C’de etüvde en az 24 saat tutulması ile elde edilir. Bu durumda agregatanelerinde herhangi bir şekilde su bulunmaz.

Beton imalinde kullanılan agregaların çimento hamurunun büzülmesinin önüne geçmesi ve beton yapımında kullanılan agregaların ön görülen dayanımları yüksek olduğundan, bununla üretilen betonlar; dış etkilere ve bilhassa aşınmaya karşı dirençli bir malzeme olmalıdır.

Agregaya ait;

- Gradasyon,
- Maksimum tane büyüklüğü,
- Tane şekli, yüzey dokusu,
- Su emme kapasitesi,
- Birim ağırlığı,
- Agregadaki zararlı maddelerin miktarı ve türü,
- Aşınmaya dayanıklılık,
- Dona dayanıklılık,
- Dayanım,
- Elastiklik modülü ve ısısal özellikleri üretilecek betonun özelliklerini etkileyecek unsurlardır.

Bunların bazıları ise beton karışımının içerisinde bulunacak malzeme oranlarının hesaplanması aşamasında kullanılmaktadır.

Beton malzemelerinin karışım oranlarının bulunabilmesi için yapılan hesaplarda bilinmesi gereken agrega özellikleri şunlardır:

- Gradasyon,
- Maksimum agrega tane boyutu,
- Agregadaki mevcut su durumu ve agreganın su emme kapasitesi,
- Birim ağırlık,
- Özgül ağırlık,

Beton içerisindeki agrega miktarının tespitinde yukarıda belirtilen özelliklerden hareketle hesap yapılmakta, böylece ne miktarda agrega kullanılacağı belirlenmektedir. Bu ise beton ekonomikliğinin yegane unsurudur. Betonun ekonomikliğini etkileyen bir diğer husus ise, agreganın temininin zorluğu ve taşıma mesafesidir. Agreganın bazı başlıklar altında sınıflara ayrılıp incelenebilmektedir. Ana başlıklarla birlikte özeti şöyledir;

- Kaynağına göre;
 - Doğal
 - Yapay
- Özgül ağırlık ve birim ağırlığına göre;
 - Normal ağırlıklı
 - Hafif
 - Ağır
- Tane büyüklüğüne göre;
 - İri
 - İnce
- Tane şekline göre;
 - Yuvarlak
 - Köşeli (Kırma taş gibi)
 - Yassı
 - Uzun

- Yüzey dokusuna göre;
 - Düzgün
 - Granüler
 - Pütürlü
 - Kristalli
 - Petekli
- Üretime (elde edilişlerine) göre;
 - Doğal
 - Yan ürün
 - Isıl işleme tabi tutulmuş
- Jeolojik orijinlerine göre;
 - Volkanik
 - Tortul
 - Metamorfik
- Minerolojik yapılarına göre;
 - Silis mineralleri
 - Karbonat mineralleri
 - Mikalı vb.
- Reaktif özelliklerine göre (alkali reaksiyonu için);
 - Reaktif
 - Reaktif olmayan

Yukarıda bahsedilen bu sınıflandırmalar çok geniş tutulmakla birlikte, aşağıda önemli ana başlıklarla kısaca şöyle izah edilmiştir.

2.1.3. Agregat Türleri

Doğal Agregat: Nehir yatakları, eski buzul yatakları, deniz ve göl kenarları, taş ocakları gibi kaynaklardan temin edilmiş, ancak; konkasörde kırma, eleklerden eleyerek değişik tane boyu sınıflarına ayırma ve yıkama işlemleri dışında, doğadaki yapılarında değişiklik yaratacak hiçbir işlem uygulanmamış olan agregalardır. Kum, çakıl ve kırmataş en tipik ve en çok kullanılan doğal agregalardır.

Yapay agreg: Beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstri kolunda yan ürün veya atık malzeme olarak ortaya çıkan malzemelerden üretilen veya malzemeye ısıtma işlem uygulandıktan sonra beton yapımında kullanılmaya uygun hale getirilen agregalardır.

Normal Ağırlıklı Agreg, Hafif Agreg ve Ağır Agreg: Bu sınıflandırmada özgül ağırlığa göre yapılmaktadır. Özgül ağırlığı 2,4 – 2,8 arasında olan agregalara normal ağırlıklı agregalar denilmektedir. Özgül ağırlığı 2,4'den küçük olanlara ise hafif agreg, özgül ağırlığı 2,8'den büyük olanlara ise ağır agreg denilmektedir.

İnce Agreg ve İri Agreg: Türk Standartlarına göre 4 mm göz açıklıklı kare delikli eleklerden geçen agregaya ince agreg, bu elek üzerinde kalan agregaya ise iri agreg denilmektedir. İnce ve iri agregayı ayıran elek boyutu 4 mm olmakla birlikte, beton üretiminde kullanılacak ince agregada bir de alt sınır bulunmaktadır. Bunun boyutu ise Türk Standartlarında 0,25 mm olarak belirlenmiştir. Yine iri agregada da bir üst sınır bulunmakta bu ise 63 mm'yi mümkün mertebe geçilmemesi şeklindedir. Ancak, büyük kitle betonları dökümü gerektiren baraj inşaatlarında bu üst sınır 100 – 150 mm'ye kadar çıkabilmektedir.

Karışık Agreg: İnce ve iri agreg karışımına karışık agreg denilmektedir.

Tüvenan Agreg: Agreg ocağından veya konkasörden elde edilerek boy sınıflarına ayrılmadan, olduğu gibi kullanılan doğal karışık agregaya tüvenan agreg denilmektedir.

Yuvarlak Agreg, Köşeli Agreg, Yassı Agreg, Uzun Agreg: Tanelerin geometrik şekline göre bu sınıflandırmalar yapılmaktadır. Taneleri küresel ve/veya küresele yakın olan agregalara yuvarlak agreg denilmektedir. Tanelerin yüzeyinde köşe şeklinde çıkıntılar bulunan agregalara köşeli agreg denilmektedir. İki boyutu geniş fakat yüksekliği çok az olan agregalara yassı agreg, iki boyutu dar fakat

yüksekliği fazla olan agregalara uzun agregalar denilmektedir. Yassı ve uzun agregalar beton için şekilce kusurlu taneler olarak belirtilmektedir (Daş, 2004).

2.1.4. Agreganın Özelliklerinin Belirlenmesi

Agreganın mekanik dayanımı betonun dayanımını, aşınmasını ve genel olarak durabilitesini etkiler. Bu nedenle agregaların bazı özelliklerinin önceden belirlenmesi gerekir. Agregaların dayanımı aşağıdaki deneylerle belirlenir.

Ufalanma Deneyi

BS 812'ye göre yapılır. Ufalanmayı sağlayan basınç kuvveti agreganın ufalanma direncini, dolayısıyla dayanımını belirler.

Los-Angeles Aşınma Deneyi

TS 3694'e göre yapılır. Bir agreganın yığnında 30 mm – 12,5 mm arasında %50 ve 12,5 mm – 10 mm arasında %50 alınıp bir çelik silindir tambura konur. Tambur içinde standart çelik bilyeler vardır. Silindir 500 kez döndürülür, sonra agreganın çıkartılıp 1,6 mm'lik elekten elenir. Elek altında geçen bölüm başlangıçtaki ağırlığın %50'sini aşmamalıdır.

Böhme Aşınma Dayanımı

Aşınma Dayanımı; kayacın yüzeyindeki aşındırıcı maddelerle meydana getirilen aşınmaya karşı direncidir. Kayaçların aşınma dayanımlarının bilinmesi son derece önemlidir. Taban döşemesi ve merdiven basamaklarında kullanılacak plakalarda oluşabilecek aşınma kayıplarının önceden laboratuvarında ölçümü, uygun taş seçimine imkan sağlamaktadır. Ticari tanım kapsamındaki her tür mermer ve yapı kaplaması için bilinmesi gereken sürtünme etkisi ile oluşan aşınma kayıpları,

genellikle karbonatlı kayalarda yüksek; mineral içeriği ve içerdiği minerallerin özellikleri nedeniyle sert taş olarak nitelenen magmatik kökenli taşlar ise düşüktür.

Kayaçların aşınma dayanımlarının belirlenmesi için TS 699'a uygun olarak 71 mm ebatlarında küp numuneler hazırlanmaktadır. Bu numuneler önce 105 °C'de kurutularak tartılır ve tartım sonuçları kaydedilir. Daha sonra numuneler Böhme yüzey aşındırma cihazında yüzey aşındırma deneyine tabi tutulur.

Deneyde kullanılan Böhme yüzey aşındırma cihazı 30 dev/dak hızla dönmesi ayarlanabilen 750 mm çapında bir aşındırma diskinde sahiptir. Devir sayısını gösteren bir numaratör vardır. Her 22 devir sonunda disk otomatik olarak durmaktadır. Örneği tutacak ve 350 kg yük yükleyecek düzenek mevcuttur. Deneylerde 20 gr zımpara tozu sürtünme şeridi üzerine serpilir ve çelik manivela aracılığı ile 30 kg lık yük uygulanarak deney örneğinin sürtünme şeridine 0,6 kg/cm² lik bir basınçla bastırma sağlandıktan sonra disk döndürülür. 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden zımpara tozu ve örnek artıklar temizlenir. Yeniden zımpara tozu konulur ve örnek düşey eksen tarafında 90° çevrilir. Her örnek için 22 devirlik 20 aşınma periyodu yani 440 devir uygulanır (Gündüz, 1996).

2.1.5. Su Emme

Agredada ağırlıkça su emme, yüzey kuru suya doymun durumdaki agreganın emdiği su miktarının kuru ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle tamamen kuru durumdaki agreganın emebileceği maksimum su miktarı, su emme kapasitesi olarak tanımlanıp, % olarak ifade edilmektedir

Çizelge 2.2. Kumun Çakılın ve Bazı Kırmataş Agreganın Su Emme Kapasitelerine Dair Yaklaşık Değerler (Erdoğan, 2003).

Malzeme	Su Emme Kapasitesi (%)
Kum	0 – 2
Çakıl, Kalker	0,5 -1,5
Bazalt, Granit	0 – 0,5
Kumtaşı	2 – 7

2.2 Çimento

Su ile karıştırıldığında, hidratasyon reaksiyonları ve işlemleriyle priz alarak sertleşebilen hamur meydana getiren ve sertleştikten sonra dayanım ve kararlılığını su içerisinde bile sürdürebilen öğütülmüş inorganik malzeme “çimento” diye adlandırılır (TS EN 206-1). Diğer bir deyişle çimento, kalker ve kil taşları karışımının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesiyle elde edilen bağlayıcı bir malzemedir. Çimentolar, kil ve tabii kalker taşları karışımlarının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesinden elde edilen hidrolik bağlayıcılardır. Su ile karıştırılıp plastik bir hamur durumuna getirildikten bir süre sonra havada yada su içinde yavaş yavaş katılaşarak taşlaşırlar. Priz adı da verilen bu katılaşma olayı, normal şartlar altında en az 1 saatte başlamak ve en çok 10 saatte tamamlanmak üzere gerçekleşir; bu süreye soğuk yavaşlatıcı, sıcak hızlandırıcı etki yaparlar

Çimento, ilkel maddeleri kalker ve kil olan mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, biriket v.s) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliği yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento bir çok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşendir; ancak beton bileşenleri içinde en önemlisidir.

Çimento, alçı ve kireç ince öğütülmüş bağlayıcı sınıfına girmekle birlikte; alçı, su altında erimesinden dolayı, kireç ise su altında sertleşmek için gerekli karbondioksiti bulamamasından dolayı hidrolik bağlayıcı sınıfında yer alamamaktadır. Fakat çimento, katılaşmasına ve bağlayıcılığına su altında da devam edebilme özelliğine sahip olduğundan dolayı hidrolik bir bağlayıcıdır.

Portland çimentosu ve diğer çimento tipleri diye ayrılabilen, farklı üretimde çimentolar bulunmaktadır.

Portland çimentosu, kalker ve kil karışımı hammaddelerin pişirilmeleri ile ortaya çıkan ve “klinker” olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonunda elde edilen bir ürün olup, su ile birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır (Erdoğan, 2003). Portland çimentosu toz gibi ince tanelidir. Tanelerin boyutları 1 – 200 µm arasında değişmektedir. Torbalanmış durumdaki çimentonun birim ağırlığı 1,5 t/m³ civarındadır.

Çizelge 2.3. Portland Çimentosu Bileşenleri ve Özellikleri

Adı	Formül ve Sembolü	Miktar(%)	Reaksiyon (Süre)	Özelliği
Trikalsiyum	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	12-67	1 hafta	Mekanik
Silikat	C_3S			Mukavemet
Dikalsiyum	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	8-31	1 yıl	Mekanik ve kimyasal
Silikat	C_2S			Mukavemet
Trikalsiyum	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	5-14	Birkaç dakika	Kimyasal etkilere dayanıksız
Alüminat	C_3A			
Tetra	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	6-12	-	Önemsiz
Kalsiyum	Fe_2O_3			
Alümino Ferit	$\text{C}_4\text{A.F}$			

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 katılaşp, sertleşmektedir. Çimento hamurunun katılaşma göstererek şekil verilemez bir duruma gelmesine “Priz Alma” denilmektedir.

Çimento hamurunun katılaşma durumundan sonraki safhadaki durumu “Sertleşmiş Çimento Hamuru” olarak adlandırılmaktadır

Çimento üretiminde uygun kil ve kalker (veya killi kalker) rezervleri seçildikten sonra buralarda ocak işletilir. Çıkarılan malzeme kırılıp ufalandıktan sonra fabrikaya iletilir. Orada uygun oranda karışım haline getirildikten sonra KİLİN adı verilen büyük döner fırınlarda 1500 °C sıcaklıkta ısıtılır. Fırında malzemenin ergimiş duruma geçmesiyle kilin içindeki Silis, Fe_2O_3 , Al_2O_3 kalkerdeki kireçle birleşerek KLİNKER adı verilen bileşimi meydana getirir. Portland çimentosu içindeki belli başlı 4 bileşenin isim, formül, miktar ve özellikleri Çizelge 2.3’de gösterilmiştir:

Fırınlardan çıkan klinker topak halindedir. Buna sertleşme hızını ayarlamak amacıyla % 2 oranında alçıtaşı ilave edilir ve özel değirmenlerde 0,1 mm'den ince toz halinde öğütülerek bildiğimiz çimento elde edilir. Paketlenip piyasaya sürülür.

Çimentonun belli başlı dört bileşeni vardır. Bunlardan C_3S ve C_2S çimento mukavemetine tesir eden bileşiklerdir. Bu ikisinin çimento içinde toplamı %70-80 arasındadır. Yüksek bir C_3S yüzdesi (düşük C_2S) ilk dayanımı yüksek olması ve yüksek ısı yayılımı sağlar. Bunun aksi ise mukavemetin ağır artmasına ve düşük seviyede bir ısıya sebep olur. C_3Al bileşeni aynı miktardaki diğer bileşenlere göre daha fazla miktarda bulunması istenmez. Bileşimlerin ayarlanmasıyla çeşitli tipte portland çimentosu elde edilir. Buna iyi bir örnek olmak üzere Amerikan Portland çimentosu gösterilebilir.

2.2.1. Çimento Türleri

2.2.1.1. Portland Çimentoları

Portland çimentoları beton imalinde en çok kullanılan çimentolardır. Bu çimentolar, uygun oranlardaki kalker taşı ve kilin karıştırılıp 1300 – 1500 °C sıcaklıkta yumuşayınca kadar pişirilmelerinden oluşan klinkerin öğütülmesiyle elde edilir. Çimentonun sertleşmesine uygun süre geçiktirmek için öğütme sırasında klinkere en çok % 2 alçı taşı eklenir. Çimento üretimi sırasında, pişirme işleminden önce ham maddelerinin belirli oranlarda olması ve gayet iyi bir şekilde karıştırılması sağlanmalıdır. Gerek çimento bileşimi gerekse kontrolü çok sıkı şartlara bağlıdır (TS- 19). Normal portland çimentoları tam mukavemetlerinin yaklaşık olarak %70'ini 28 günde kazanır.

Bu tür çimentolar, yurdumuzda mevcut çimento fabrikalarında TS 19 Portland Çimentosu Standardlarına göre üretilmekte ve fabrikaların kendi laboratuvarında kalite kontrolü yapılmaktadır. TS 19 standardına bağlı Portland çimentoları;

- a) Normal Portland Çimento (NPÇ 500)
- b) Yüksek mukavemetli Portland Çimentosu (YPÇ 500)
- c) İlk Mukavemeti Yüksek Portland Çimentosu (İPÇ 600)

Bu üç tür çimentonun bileşimleri genellikle aynıdır. Yüksek dayanım öğütme sırasında dane çapını küçülterek sağlanmaktadır.

Çizelge 2.4. Portland Çimentosu Yapımında Kullanılan Değişik Kalker ve Marnların Kimyasal Yapısı (Akçimento Teknik Yayını, 1985).

	1	2	3	4	5	6	7
%	Kalker	Kalker	Kalker	Kalker	Kalker	Kalker	Kalker
SiO ₂	3,76	6,75	4,91	4,74	27,98	33,20	21,32
Al ₂ O ₃	1,1	0,71	1,28	2,00	10,87	8,22	4,14
Fe ₂ O ₃	0,66	1,47	0,66	0,36	3,08	4,9	1,64
CaO	52,46	49,80	51,55	51,30	30,12	27,30	39,32
MgO	1,23	1,48	0,63	0,30	1,95	1,02	0,75
K ₂ O	0,18	Eser	Eser	0,16	0,20	0,12	0,06
Na ₂ O	0,22	Eser	Eser	0,28	0,33	0,18	0,08
SO ₃	0,01	1,10	0,21	-	0,70	0,37	-
Kızdırma Kaybı	40,38	39,65	40,76	40,86	24,68	24,59	32,62
Toplam	100,00	99,96	100,00	100,00	99,91	99,90	99,93

Portland çimentosu üretiminde; önce killi ve kalkerli malzemelerden oluşan hammadde yüksek sıcaklıklarda pişirilir. Bunun sonucunda elde edilen ürüne “Klinker” adı verilmektedir. Daha sonra sıcaklığı çevre sıcaklığına düşen klinkere %3 - 6 oranında alçı taşı katılarak bu iki malzeme birlikte öğütülmesiyle elde edilir.

Özetle;



Çizelge 2.5. Akçimentoda Kullanılan Portland Çimentosu Yapımında Kullanılan Killerin Kimyasal Yapıları (AKçimento Teknik Yayını, 1985)

%	Kil I	Kil II	Kil III	Kil IV
Kızdırma Kaybı	7,19	8,67	10,40	6,40
SiO ₂	67,29	62,56	52,30	60,10
Al ₂ O ₃	8,97	15,77	24,70	18,00
Fe ₂ O ₃	4,28	4,47	6,10	8,20
CaO	7,27	4,80	4,40	0,80
MgO	1,97	1,38	0,10	0,20
SO ₃	0,32	-	1,10	3,80
K ₂ O	1,2	2,35	0,80	2,50
Na ₂ O	1,51	2,35	,80	2,50
Toplam	100,00	100,00	99,90	100,00

2.2.1.2. Beyaz Portland Çimentosu (BPÇ 350)

Yapılarda çeşitli nedenlerle kullanılmakta olan Beyaz Portland Çimentosu normal Portland Çimentosu gibi yapılır. Yalnız bunun yapımında ilkel madde olarak beyaz kalker, kaolen ve akaryakıt ta kullanılır. Normal çimentoğa göre daha pahalıdır. Yurdumuzda TS 21'e uygun olarak bir çok fabrikada üretilmektedir.

Genellikle beyaz pişen kireç taşı ve beyaz kilden imal edilir. Çimento beyaz rengin temini amacıyla bazı özellikler hariç NPÇ gibidir

2.2.1.3. Yüksek Fırın Curuf Çimentoları

Yüksek Fırın Curuf Çimentoları, birden bire soğutularak granüle durumuna getirilmiş bazik yüksek fırın cürufu ile Portland Çimento klinkeri ve alçı taşının belirli oranlarda karıştırılarak çok ince öğütölmesiyle elde edilen hidrolik bağlayıcı maddelerdir. İki türde yüksek fırın curuf çimentosu üretilmektedir.

Demir Portland Çimentosu (NDPÇ 350), en az % 70 Portland çimento klinkerine, en çok % 30 bazik yüksek fırın curufunun karıştırılmasıyla elde edilir.

Yüksek Fırın Portland Çimentosu (NYPÇ 350) % 16 -69 portland çimento klinkerine, % 84 -31 bazik yüksek fırın curufunun karıştırılmasıyla elde edilir.

Yüksek fırın curuf çimentoları geçirimsizlikleri az, yapışkanlıkları yüksek, orta derecedeki sıcaklıklara dayanıklı bağlayıcılardır. Portland çimentolarına kıyasla rutubete, tuzlu suya ve endüstri dumanlarındaki gazların etkisine daha dayanıklıdır. Bu nedenle temellerde su yapılarında öncelikle kullanılabilirler. Ayrıca priz sırasında açığa çıkarıldıkları ısıнын az olması, barajlar gibi masif beton yapılarda tercih edilmelerine yol açar.

2.2.1.4. Traslı Çimentolar

Traslar, silisli ve alüminli maddelerdir. Kendi başlarına bağlayıcı olmamalarına rağmen, betonda mevcut kireçle bu özelliği kazanırlar. Traslı çimentolar, imalat sırasında Portland çimentosu klinkerine aktif volkanik tüfler veya benzeri traslar katılarak, bunların öğütülmesi ile elde edilir. Bu tür çimentodan beklenen özellikler, TS – 26’da belirlenmiştir. Karışımdaki tras oranı %30 – 40 dolaylarında tutulur. Traslı çimento üretimi yurdumuzda TS 26’ya uygun olarak Çorum Çimento Fabrikasında yapılmaktadır. Zaman zaman Sivas Çimento Fabrikasında da yapılmıştır. Traslı çimentoların kullanım alanları hidrasyon ısılarının az ve geçirimsiz olmalarından ötürü, kütle betonları ve su yapılarıdır. Rumuzu TÇ 30 – 70, Tras NPCÇ dir.

2.2.1.5. Alüminli Çimento

Alüminli çimentoların imalatı normal Portland çimentolardan çok değişiktir. İmalatta ham madde olarak kullanılan kalker ve boksit karışımı, özel fırınlarda yüksek ısıda eritildikten sonra, büyük kütükler halinde dondurulur. Alüminli çimento bu kütüklerin öğütülmesi ile elde edilir.

Alüminli çimentoların katılaşmaları yavaş olmasına karşın sertleşme, yani dayanım kazanma hızları çok fazladır. Bu tür çimento bir gün içinde Portland çimentosunun 28 günlük dayanımına erişebilir. Çabuk dayanım kazanmanın yanı

sıra, alüminli çimento ile yapılmış betonların sülfatlara, yağ ve şekere dayanımı da diğer çimentolara oranla daha yüksektir. Ancak bu tür çimentoların hidrotasyon ısısı çok yüksek olduğundan, kütle betonlarında kullanılması sakıncalıdır. Dökülecek betonun kalınlığının 40 – 50 cm den fazla olduğu durumlarda özel önlem alınmalıdır. Ayrıca bu tür çimento sıcak iklimlerde kullanılmamalıdır. Ayrıca sülfatlı ve asitli sularda yüksek ısının zararlı etkilerine karşı dirençleri yüksektir. Bu nedenlerle, siperler, sığınaklar gibi özel yapılarda öncelikle kullanılırlar. Yalnız, priz sırasında açığa çıkardıkları ısı çok yüksek olduğundan büyük beton kütlelerin betonlanmasında önemli sorunlar yaratırlar. Buna karşılık soğuk havada betonlamaya uygundurlar. Kalker ve boksit karışımının yüksek ısıda eritilmesiyle elde edilen bu çimentolara eritilmiş çimento adı da verilir. Alüminli çimentoların, Portland çimentosuyla karıştırılması sakıncalıdır; çünkü böyle bir karışımda önemli hacimsel genleşmeler oluşur.

2.2.1.6. Diğer Tür Çimentolar

Normal Portland çimentosundan türetilerek pratikte özel amaçlarla kullanılan ve özel çimentolar olarak anılan çimentolar da vardır. Yukarıda sıralanan çimento türlerine ek olarak, “Havalı çimento”, “Geçirimsiz çimento” ve “Genleşen çimento” gibi türleri mevcuttur. Havalı çimentonun içinde hava olan katkı maddeleri bulunduğundan, bu çimento ile yapılan betonun donma – çözölmeye karşı direnci artar. Geçirimsiz çimento; Kalsiyum stearat, amonyum stearat gibi katkı maddeleri ile geçirimsizliği arttırılmış bir çimento türüdür. Genleşen çimento; içine karıştırılan katkı maddeleri nedeni ile priz sırasında büzölme yerine genleşir. Rötire istenmeyen veya genleşmenin yeğlendiği durumlarda, özellikle onarım işlerinde kullanılır.

Çimentoların iyi nitelikte ve kullanılmaya elverişli olduklarını anlamak için çeşitli deneyler yapılmalıdır. Bu deneylerin bir kısmı laboratuarda, belli şartlar altında yapılır. Özgöl ağırlık, incelik, normal kıvam ve priz süreleri; hacim sabitliği (Le Chatelier), basınç ve çekme deneyleri standartlara uygun olarak laboratuarda yapılması gereken deneylerdendir. Deney sonuçları, bir çimentonun belirli yapı amaçları için yeterli olup olmadığına karar vermede esas alınır. Bunlar ayrıca

çimento üretiminin iyi olup olmadığını da gösterirler. Deney sonuçlarından bu çimentolarla yapılacak betonun kalitesi üzerinde bir hüküm çıkarılması çok güçtür. Çimento deneyleri her ülkede farklı standartlara göre yapıldığından bir ülkedeki sonuçları, diğer ülkelerde bulunan sonuçlarla karşılaştırmak zordur.

Kullanım yerine gelen çimentodan numune alınıp deney yapılmak üzere laboratuara gönderilmesinin yanı sıra uzun sürebilecek deney sonuçlarını beklemeden çimentoyu kullanabilmek için, çimentonun normal sertleşen çimento türünde olduğunu ve hacim sabitliğini saptamak için gerekli iki deneyin yapı yerinde yapılması yeterlidir. Bu iki deney laboratuarda yapıldığı şekilde yada ilgili standartta belirtildiği şekilde hazırlanan deney pideleri üzerinde yapılır. Bu deneyler iyi sonuç verirse acele durumlarda çimentonun kullanılmasına başlanabilir. Bu deneyler iyi sonuç vermezse laboratuara deney sonuçları alınmadan çimento kullanılmamalıdır. Evvelce denenmiş bir çimento yapı yerinde uzun bir süre bekleme sonunda topaklanmışsa, bunun yeniden denenmesi ve deneylerin kesinlikle laboratuarda yapılması gerekir. Çünkü bu durumda çimento mukavemetinin çok düşük değerlerde olması ihtimali vardır ve yapı yerinde yapılacak geçici deneyler bunu belirtmeye yeterli değildir.

Yurdumuzda ilk çimento standartları 1937 yılında kabul edilmiş olup, bunların hazırlanmasında zamanın Alman Çimento Standartları esas alınmıştır. Günümüzde geçerli olan standartlar ise 1962 yılında yürürlüğe girmiş bulunan, çimento üretimi için TS 19, deneyler ve kontrol için ise TS 24 Türk Standartlarıdır.

Portland ve Yüksek Fırın Çimentoları üzerinde yapılmış deneyler, bunların kapalı ve rutubetsiz yerlerde 3 ay süre için muhafaza edilmelerinin mukavemetleri üzerinde önemli bir etkisi olmayabileceğini göstermiştir. Daha uzun süre muhafaza edilmiş olan çimentoların kullanılmadan önce tekrar kontrol edilmesi gerekir. Çimento kötü şartlarda muhafaza ediliyorsa mukavemetinin düşeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 2.6. Türk Çimentolarının Kullanıldığı Yerler

Normal Portlan Ç. (NPÇ 350)	Normal beton ve betonarme
YPÇ 500	Yüksek Mukavemet istenen yerde
İPÇ 600	İlk dayanımı yüksek olması istenen yerlerde
Beyaz Portland Çimento	Görünen veya renkli beton yüzeylerde
Yüksek Fırın ç. ve Traslı Ç.	Sülfat dayanıklılığı yüksek, hidratasyon ısısı düşük, su geçirimsizliğinin olmaması istenen yerlerde
Melez Bağlayıcı	Duvar ve sıva gibi yapışkanlık ve ucuzluk aranan işlerde

Çizelge 2.7. Dünyada Kullanılan Belli Başlı Çimento Çeşitleri ve Kullanıldığı Yerler

Hidratasyon Isıları Az Olan Portland Çimento	Isı kaybının az olması istenen kütle beton, baraj gibi işlerde
Sülfatlara Dayanıklı Portland Çimento	Sülfatlı sular tesiri altında temel kanal inşaatları ve deniz içi inşaatları
Hava Katkı Maddeli Portland Çimento	İşlenme özelliğinin iyi, donmaya karşı, su geçirmemesinin istendiği yerlerde
Uçucu Küllü Çimento	Hidratasyon ısısı düşük, kimyasal tesirlere dayanıklı, ileriki mukavemetin yüksek olması istenen yerlerde
Alüminli Çimento Bu çimentolar AIO (Boksit) ve kalker karışımının pişirilip öğütülmesi ile elde edilir. Su ile çok çabuk sertleşir. Fazla ısı çıkarır. 24 saatte maksimum mukavemet elde edilir.	Su tıkkama, soğukta beton dökme işleri gibi özel işlerde, deniz suyu, sülfatlı sularla temas olan yerlerde

2.2.1.7. Çimentolarda Aranılan Özellikler

- 1- SO₃ miktarı
- 2- MgO miktarı
- 3- Kızdırma kaybı

4- Çözünmeyen kalıntı

5- Cl^- iyonu

2.2.2. Çimento Mukavemet Özellikleri

Çimentoya su katılarak elde edilen plastik kıvamdaki hamur zamanla katılaşıp ve daha sonra sertleşmeye, yani mukavemet kazanmaya başlar. Çimentonun mukavemet kazanma olayı;

- Hidratasyon (Çimentonun suyla yaptığı reaksiyon veya kimyasal olay)
- Katılma (fiziksel olay – Priz süresi)
- Sertleşme (mekanik olay – Mukavemet artış hızı)

Olmak üzere üç evrede meydana gelir.

2.2.2.1. Hidratasyon

Kimyasal bir olay olan hidratasyon aşağıdaki özelliklere sahiptir ;

- Çimentonun suyla tam olarak hidratasyon yapabilmesi için klinkerin çok ince öğütülmesi gerektiği bilinmektedir. Çimentonun kendi içerisinde de bir dane dağılımı yani gradasyonu vardır. 90 mikrondan daha büyük danelerin %14'den fazla ve 200 mikrondan daha büyük danelerin %1'den fazla olması istenmez. Ancak danelerin 30 mikron mertebesinde olması da uygun olarak değerlendirilir. Ayrıca; 20 mikrondan daha küçük daneler mukavemet olayında önemli rol oynarken, 50 mikrondan daha küçük daneler tam olarak hidrate olamamaktadır. Fakat 5 mikrondan daha küçük taneler prizi hızlandırdıklarından dolayı genellikle problem yaratmaktadır. Çimento danelerinin hidratasyon yapan kısmının kalınlığı 0,5 ila 5,5 mikron (0,0005 – 0,0055 mm) arasında olup iç kısımlar hidratasyona katılmadan kalırlar.
- Hidratasyon olayı zamanın bir fonksiyonu olduğundan çimentonun ana bileşiklerinin suyla yaptıkları reaksiyonu çok uzun hatta senelerce sürer. Suyla temas eden betonlarda sürekli bir mukavemet artışı olmaktadır.

- Hidratasyon sırasında kimyasal reaksiyonlar ile ısı açığa çıkar. Buna hidratasyon ısısı denilmektedir. Hidratasyon ısısı, başlangıçta daha çok iken daha sonraları azalmakta ancak yayılan toplam ısı zamana bağlı olarak artış göstermektedir.
- Silikatlar suyla reaksiyon yaptıktan sonra serbest kireç açığa çıkarılır. Daha sonra alüminatlar bu serbest kireçle reaksiyona girerek jelleri meydana getirirler. Özellikle C_3A çok hızlı hidratasyon yaptığından büyük bir ısıнын açığa çıkmasına ve prizın çabuklaşmasına neden olur. Bu nedenle, klinkere jibs (alçıtaşı) katılarak ani priz olayı geciktirilir.

Hidratasyon olayına etki eden en önemli faktörler çimentonun aşırı ince öğütülmesi ve çimentonun ana bileşenlerinden C_3A ve C_3S 'in aşırı olması sayılabilir.

Hidratasyon toplam ısısının zamanla artışı Çizelge 2.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.8. Çimentoların Toplam Hidratasyon Isısı (Postacıoğlu, 1986).

Süre	3 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	1 Yıl	6,5 Yıl
Isı (Kalori/g)	61	80	96	104	109	117

Çizelge 2.8 den de görüldüğü gibi 90 günde yayılan toplam ısı nihai ısı olarak kabul edilebilir. Zaten betonların 90 gün mukavemeti nihai mukavemet olarak anılmaktadır. Hidratasyon ısısına en fazla alüminli çimentolarda, en az da katkılı özellikle yüksek fırın cürufu çimentolarda rastlanır. PÇ 42,5 ve 52,5 tipi çimentolar daha fazla öğütüldüklerinden PÇ 32,5 tipi çimentolar daha fazla hidratasyon ısısı yayarlar.

2.2.2.2. Priz (Katılma)

Çimento hamurunun katılmaya başlaması ile plastikliğini kaybetmesi arasında geçen süreye “Priz süresi” denir. Beton priz başlangıcından önce kalıbına konup yerleştirilmeli ve priz süresince aşırı su kaybını önlemek için kür (Koruma) uygulanmalıdır. Sıcaklık, su miktarı, çimentonun kullanılmadan önce bekletilmesi

gibi hususlar priz süresinde önemli rol oynar. Alkali agrega reaktivitesine yol açan oksitlerin (Na_2O ve K_2O) çimentoda fazla olması prizin çabuk başlamasına sebep olur.

2.2.2.3. Sertleşme (Mukavemet Kazanım)

Priz olayından sonra meydana gelen hidrate elemanlar çok boşluklu olup sertleşme sırasında meydana gelen silikat hidrate kristallerin zaman içinde büyüyerek kılcal boşlukları doldurmasıyla çimento mukavemet kazanmaya başlar ve başlangıçta hızla daha sonra yavaş bir şekilde mukavemet artar. Çimentoların mekanik mukavemeti hidratasyon hızına bağlıdır. Dolayısı ile hidratasyon olayını etkileyen tüm faktörler çimentonun mukavemeti üzerinde de etkili olurlar. Mukavemete etki eden hususlar şunlardır;

- Zamana bağlı faktörler
- Kür şartlarına bağlı faktörler
- Çimento özelliklerine bağlı faktörler olarak sayılabilmektedir.

2.3. Su

Su, her ne kadar beton bileşenlerinin en ucuzu ise de önemi büyüktür. Kullanılan suyun miktarı betonun nihai mukavemetini büyük ölçüde etkiler. Su miktarında gereksiz artış kaliteyi düşürür. Fazla su, çimento hamurunu fazla inceltir ve çimento tanelerinin birbirine kenetlenmesini zayıflatır.

Betondaki suyun iki önemli görevi vardır:

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

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, içilemeyen sularla gayet kaliteli beton üretilir.

Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilir. Karışım suyunun tahlillerle belirlenmesi ve kalitesini belli aralıklarla denetlenmesi şarttır.

2.3.1. Karma Suyu Miktarı

Betonda kullanılan karma suyu miktarı mekanik mukavemet bakımından oldukça farklıdır. Karma suyu betonda, aşağıda sıralanan işlemleri yerine getirir:

- 1- Agera danelerini ıslatması
- 2- Çimento hidrasyonunu sağlaması
- 3- Betonun işlenebilmesini sağlama gibi, görevi vardır.

Agregaların kendi bünyesinde bulundurduğu su ile karma suyu farklılık göstermektedir.

Beton üretiminde kullanılan yoğurma suyunun şu fonksiyonları vardır.

Çimento taneciklerini ıslatır ve böylece priz başlangıcına kadar çimentonun plastik bir maddeye dönüşmesini sağlar. Agera taneciklerini ıslatır. Islanmış çimento ve agrega homojen akıcı bir madde karışımı meydana getirerek taze betonun taşınması ve kalıbına dökülmesi mümkün olur.

Çimentonun zamanla hidrasyonunu sağlar.

Su ihtiyacı teorik, deneysel ve tecrübeye dayanan çalışmalar sonucu agrega ve çimento özelliklerinin ve kalıplarının biçimi, taze betonu sıkıştırma yani kalıbına döküp sıkıştırma yöntemi ve bunlar gibi çeşitli etkenlerin fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

Betondaki karışım suyu miktarının betonun mukavemeti üzerine ve taze betonun işlenebilirliği üzerine yaptığı etkilerden dolayı doğru hesaplanması gerekir. Dolayısıyla karışım suyu tam gerektiği kadar kullanılmalıdır.

Genel olarak hazır beton dışında inşaatlarda betoniyeyle yapılan beton karışımlarında gereğinden daha fazla su kullanılması betonun dayanımını azaltmaktadır.

Karma suyu denince dane nemlerinin dikkate alınmayacağı bilinmelidir. Bunun yanında betonda optimum su miktarı vardır. Bu da betonda ihtiyaç duyulan ve mukavetinin maksimum hale geldiği su miktarı şeklinde ifade edilebilir.

2.3.2. Karma Suyu Miktarının Bulunması

Bu konu üzerinde uzun süredir çalışılmış olsa da su miktarını etkileyen çok sayıda ve belirlenmesi zor faktörlerin varlığından dolayı, karışım suyunu kolayca bulmak mümkün değildir. Su miktarının bulunması üzerinde yapılan çalışmalar sonunda birbirinden farklı 40 civarında formül veya metot ileri sürülmüştür (Postacıoğlu, 1987). Bu sonuç ortak bir görüşe varılamadığını ortaya koymaktadır.

Karma suyu miktarını belirlemeye yarayan ve önerilen yöntemler iki grupta toplanabilir:

- 1- Beton bileşimi ve betonda yer alan malzemenin özelliklerini göz önünde bulundurarak ileri sürülen yöntemler
- 2- Beton bileşiminin ve betonu oluşturan agreganın özelliklerini göz önünde tutmadan su miktarını veren yöntemler

TS – 802’de karışım suyu miktarları çökmeye ve agreganın granülometrisine göre TS – 802’de verilmiştir. Bu çizelgedeki su miktarı esas alınırsa (r) nın yaklaşık değerleri (Çizelge 2.9) de görülmektedir (Postacıoğlu 1987).

Su miktarı genellikle mukavemet ve işlenebilme özelliğini sağlayacak çizelgeler veya eğriler yardımı ile bulunur. Bu konuda ileri sürülen yöntemler ve Karma suyu miktarını beton bileşimine veya agrega granülometrisine bağlı olarak ifade edilmemesi durumunda şu yöntemler kullanılır.

- a) ACI (American Concrete Institute)nün önerdiği yöntemde karma suyu miktarı en büyük D’ ye bağlı olarak verilmektedir.

- b) Deneylere dayanarak çökme miktarı, C/W ve dozaja göre tablolar düzenlenmiştir.
- c) Rebut su miktarının tümü ile deneysel olarak yani deneme betonları ile belirlenmesini önermektedir.

Çizelge 2.9. Su Miktarına Göre (r)'nin Değeri

İşlenebilme özelliği ve kıvam	Çökme maksimum (cm)	AGREGA TÜRÜ (r)	
		Dere kumu ve çakıl	Dere kumu ve kırma taş
Çok zayıf	3	28	34
Zayıf	6	29	36
Orta plastik	10	31	39
Çok plastik	15	34	44

Betonla ilgili işlemlerde suyun değişik işlevleri vardır. Bunlar;

- “Karışım suyu” olarak, çimento ve agregayla birlikte karılarak beton üretimini sağlamak
- “Kür suyu” olarak, yerine yerleştirilmiş betonun yüzeyini ıslak tutarak içerisinde suyun buharlaşmasını önlemek, böylece, betonun içerisinde kimyasal reaksiyonların gelişebilmesi için yeterli suyun bulunmasını sağlamak
- “Yıkama suyu” olarak, beton karışımına girecek agregaların yıkanmasını ve betonun karılma işlemi tamamlandıktan sonra betoniyein temizlenmesini sağlamak

Bu işlevlerin her birinde, özellikle beton karışımının hazırlanmasında, kullanılacak suyun uygun kalitede olması, beton özelliklerini olumsuz etkileyebilecek yabancı maddeleri içermemesi gerekmektedir.

Optimum su miktarının az olması halinde betonda oluşabilecek olumsuzluklar şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Çimento gerekli hidrasyonu yapamayacaktır.
- 2- Agregada danelerinin yüzeye tamamen ıslanmayacağından daneler arasındaki bağlantı yetersiz kalacaktır.

3- Betonun işlenebilmesi güçleşecektir.

Uygulamada genellikle betonun işlenebilmesinin kolay olması için betona az miktarda su verilebilmesi genelde karşılaşılmayan durumdur. Çoğu kez fazla su verilmesiyle karşı karşıya kalınmaktadır. Karışım içerisine konulan su miktarının az yada fazla olması durumunda karşılaşılabilecek olumsuzluklar Çizelge 2.10 da verilmektedir.

Çizelge 2.10. Optimum su miktarının az olması, optimum su miktarının fazla olması durumunda betonda meydana gelebilecek olumsuzluklar

Su azlığı	Basınç	Suyun fazlalığı	Basınç
%10	%10 azalır	%20	%30 azalır
%20	%60 azalır	%30	%50 azalır
		%100	%80 azalır

Optimum su miktarının fazla olması halinde işlenebilme kolay olurken, betonun kalıp içine yerleştirilmesi de kolay olmaktadır. Daneler arasındaki boşlukların su ile doldurulduğu, sudan dolayı betonun yeterince sıkıştırılamadığı, bu yüzden hidrasyon sonucunda bir kısım suyun açığa çıktığı düşünülürse, beton kompasitesi düşerken, geçirimliliği artacaktır. Bu da mekanik mukavemet değerinin düşmesi demektir.

2.4 Katkı Maddeleri

Yapılarda kullanılan beton ve harç içerisinde betonun özelliklerini arttırıcı maddelerin kullanımı yüzlerce sene önceye dayanmaktadır. Romalılar döneminde kan, domuz yağı ve süt gibi betona akıcılık veren ve beton yoğunluğunu arttırarak mukavemeti yükseltecek çalışmaların yapıldığı bilinmektedir. Kimya teknolojisindeki gelişime paralel olarak beton katkı maddelerinde üretim ve çeşitlilik her yıl artmaktadır. İlk puzolanik madde 1910 yılında %50 portland çimentosuna % 50 puzolan karıştırılarak gerçekleştirilmiştir. 1950’li yıllarda uçucu küller, çimento ağırlığını azaltmak için yoğun olarak kullanılmıştır. İlk olarak G.R Tucker’in

çalışmalarıyla beton katkı maddeleri ASTM Standartlarına ASTM C 494 – 62 olarak girmiş ve kullanım ilkeleri belirlenmiştir (ACI Com.212,1989).

TS 3452’de kimyasal beton katkıları şöyle tanımlanır; beton kimyasal katkı maddeleri, betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bazılarında değişiklik yapmak amacıyla beton karışım suyuna belirli oranlarda katılan kimyasal maddelerdir. Beton kimyasal katkı maddeleri, beton ve harç içerisinde çimento, agrega ve su dışında karışım sırasında ilave edilen kimyasalları kapsar. Bu kimyasallar betonun akışkanlığını arttırması, erken ve yüksek mukavemete ulaşılması, geçirimsizliğin sağlanması gibi fonksiyonların dışında priz süresinin geciktirilmesi veya erken priz sağlanması gibi sıcak ve soğuk havalarda beton dökümüne imkan vermektedir. Tüm bu nedenlerle beton katkı maddelerinin günümüz inşaat teknolojisinde, kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir. Çimento harcı ve betona bazı özellikler kazandırmak ve bazı özellikleri değiştirmek için karışıma eklenen maddelere “Katkı maddeleri” adı verilir. Günümüzde piyasada çok değişik katkı maddeleri vardır. Katkı maddeleri kullanılmadan önce dikkatle incelenmeli ve uygulama bilinçli olarak yapılmalıdır. Bazı katkı maddeleri betonun belirli bir özelliğini istenen biçimde değiştirirken; diğer bir özelliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Beton katkı maddeleri, kimyasal ve fiziksel veya her iki özelliği sebebiyle betonun işlenme, sertleşme veya donma özelliklerine etkileyen maddelerdir. Bunların beton hacmine bir etkileri yoktur

2.4.1. Beton Katkı Maddelerinin Amaçlarına Göre Sınıflandırılması

Katkı maddesinin sınıflandırılması genellikle betonda amaçlanan nitelik değişikliklerine göre yapıldığı gibi bunların fizyokimyasal karakteristiklerine göre de yapılabilmektedir. Aşağıda Çizelge 2.11 – 2.14’de çeşitli standartlara göre sınıflandırmalar görülmektedir.

Çizelge 2.11. ACI Com. 212’ye Göre Katkı Maddesi Sınıflandırılması (Admixtures For Concrete, ABD)

1- Priz hızlandırıcılar ve ilk mukavemeti arttırıcı katkılar
2- Hava sürükleyici katkılar
3- Karışım suyu azaltan (Akışkanlaştırıcı) ve prizi düzenleyen katkılar.
4- Mineral tozları
5- Diğerleri
- Gaz meydana getiren katkılar
- Enjeksiyon katkıları
- Rötreyi önleyen katkıları
- Segregasyonu önleyen katkıları
- Pompa betonu katkıları
- Pigmentler
- Bakteri ve fungi oluşumunu önleyen katkıları
- Rutubet geçirimsizliğini ve kılcal su emmeyi önleyen katkıları
- Geçirimsizlik katkıları
- Alkali – agrega reaksiyonunu önleyen katkıları
- Donatının korozyonunu önleyen katkıları

Çizelge 2.12. Joisel’e Göre Katkı Maddesi Sınıflandırılması (Joisel,A, 1973)

1- Karma suyunda erimeyen katkıları
- Katı ve sıvı plastifiyonlar
- Pigmentler
2- Tansio aktif katkıları
- Hava sürükleyiciler
- Akışkanlaştırıcılar
- Tansio aktif plastifiyonlar
3- Karma suyunda eriyen katkıları
- Priz hızlandırıcılar
- Priz geciktiriciler

Çizelge 2.13. Rilem Com. 11A'ya Göre Katkı Maddesi Sınıflandırılması (Rilem Committee 11 A, 1975)

1- Taze betonun jeolojisini değiştiren katkılar
- Su azaltıcı katkılar
- Hava sürükleyiciler
- Mineral tozları
- Flokülasyon maddeleri
- Su tutucu katkılar
2- Betonda hava miktarını değiştiren katkılar
- Hava sürükleyiciler
- Havayı dışarı atan katkılar
- Gaz meydana getiren katkılar
- Köpük meydana getiren katkılar
3- Katılaşma ve sertleşmeyi meydana getiren katkılar
- Priz geciktiriciler
- Priz hızlandırıcılar
- Sertleşmeyi hızlandırıcılar
4- Genişletici katkılar
5- Betonun fiziksel özelliklerini iyileştirici katkılar
- Hava sürükleyiciler
- Anti friz katkılar
- Geçirimsizliği azaltan katkılar
- Su itici katkılar
6- Mekanik etkilere dayanıklılığı iyileştiren katkılar
7- Kimyasal etkilere dayanıklılığı iyileştiren katkılar
8- Biyolojik etkilere dayanıklılığı iyileştiren katkılar
9- Betonun rengini değiştiren katkılar

Çizelge 2.14. ASTM C- 494'e Göre Katkı Maddesi Sınıflandırılması

ASTM C- 494	Tip A Akışkanlaştırıcı (plasticizer)
ASTM C- 494	Tip B Priz Geciktirici (Retarder)
ASTM C- 494	Tip C Priz Hızlandırıcı (Accelerator)
ASTM C- 494	Tip D Akışkanlaştırıcı + Priz Geciktirici
ASTM C- 494	Tip E Akışkanlaştırıcı + Priz Hızlandırıcı
ASTM C- 494	Tip F Süperakışkanlaştırıcı (Süperplasticizer)
ASTM C- 494	Tip G Süperakışkanlaştırıcı + Priz Geciktirici

2.4.2. İşlenebilme (Akışkanlaştırıcı) Özelliği Veren Katkılar

İşlenebilmeyi akıcılık yoluyla iyileştiren katkılara akışkanlaştırıcı (su azaltıcı) katkılar, reolojik kararlılığını iyileştiren katkılara da plastifiyanlar denilir. Akışkanlaştırıcılar tansio – aktif maddelerdir. Plastifiyanlar ise genellikle karma suyunda erimeyen maddelerdir. Tansio – aktif maddeler su içinde sınırlı oranda eriyebilen doğrusal zincirli organik veya silikonlu maddelerdir. Beton teknolojisinde kullanılan tansio – aktif maddelerin çoğunluğu kağıt üretimi sırasında elde edilen linyosülfonatlardan oluşmaktadır. Tansio – aktif maddelerin akışkanlaştırıcı olarak etkinlikleri üç ana nedene dayanmaktadır (Özturan, 1984). Bunlar;

- Hava sürüklemeleri
- Çimento taneleri tarafından adsorbe edilmeleri
- Priz geciktirmeleri

Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri hava sürükleyerek ve çimento tanelerinin topaklanmasını önleyerek etkili olurlar (Uyan, 1982).

Akışkanlaştırıcı katkılar çimento taneleri tarafından adsorbe edilmeleri sonucu tane yüzeyine çöker. Tane yüzeyine çökelen bu maddelerin oluşturduğu film dışarı doğru (-) elektrik yüklüdür. Bu şekilde (-) yükle yüklenen taneler birbirlerini ittiklerinden bu maddelerin dağıtıcı etkisi ortaya çıkar.

Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda bir biri üzerinde kaymalarını kolaylaştırdıklarından yağlayıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltır. Bu ise betonun işlenebilme etkisinin artmasına neden olur (Uyan ve Yıldırım, 1991). Akışkanlaştırıcı katkılar, betona akışkanlık vererek kalıp içinde kolayca yerleşmesini sağlarlar. Akışkanlaştırıcı kullanımında önemli bir konu da su / çimento oranını azaltarak mukavemetin artırılmasıdır. Karma suyunda % 10-20 oranında bir azalma ile çimento dozajı aynı kalmak şartı ile mukavemet artırılır. Özellikle hızlı hidrasyon yapan çimentolarda başlangıçtaki su ihtiyacı yüksek olmaktadır. Karışıma bir geciktirici katılması bu ihtiyacı azaltır. Böylece geciktiriciler su indirgeyici nitelikleri yönünden akışkanlaştırıcı da olmaktadır.

2.4.3. Priz Geciktirici Katkılar

Çimentonun katılaşmasına kısaca Priz denilmektedir. Katkı maddesi kullanılarak prizın geciktirilmesi iki şekilde gerçekleşmektedir. (Karaduman ve Atay, 1991).

- 1) Anhidrit elemanlarının çözümünü güçleştirmek (Karışım suyuna Ca miktarını yağlı kireç koymak suretiyle arttırarak yapılabilir).
- 2) Silikat tanelerinin, üzerini az geçirimli tabaka ile kaplayarak, elemanlarının su ile yaptıkları reaksiyonları azaltmaktır.

Priz geciktirici olarak bilinen maddeler şunlardır.

- Asitler ve hidroksikarbosilik asit tuzları.
- Şeker, glikoz, amidon, selüloz bu gruba girmektedir.
- Linyosülfonat (kalsiyum, sodyum, amonyum) bu madde beton içinde bir miktar hava sürükler.
- Oksitler, çinko ve kurşun oksit.
- Fosforik fluorhidrik ve hümik asit.
- Gliserin.
- Borax.

Bu maddeler genellikle çimento ağırlığının % 0,5 – 2'si oranında kullanılmakla kendilerinden beklenen etkiyi gösterirler.

Priz geciktirici katkı maddeleri şu amaçlarla kullanılır

- 1) Özellikle sıcak yaz aylarında betonların erken sertleşmeye başlaması yerleştirme ve işlenebilmesini güçleştirir. Bu nedenle priz gecikmesi istenebilir.
- 2) Çimentonun ani sertleşmesini önlemek
- 3) Beton dökümünde, yerleştirilmesinde güçlüklerle karşılaşıldığı durumlarda betonun sertleşmesini yavaşlatmak, bu suretle bir sonraki tabaka ile bir evvelki tabakanın bağlantılarını sağlamak.

Priz geciktirici katkılar, çimento ve su arasındaki reaksiyon hızını yavaşlatan katkılar olup mukavemete pek tesir etmezler.

2.4.4. Priz Hızlandırıcı Katkılar

Normal şartlar altında çimentonun katılaşması 1 ila 10 saatte gerçekleşmektedir. Bazı durumlarda priz hızlanması istenir. Bu durumda priz hızlandırıcı katkı maddesi kullanılır.

Bu katkı maddeleri çimento ağırlığının % 2 - 5 oranında karışım suyuna katılarak kullanılır. Kalsiyum klorürün rötreyi arttırması, donatının korozyonuna sebep olması ve rutubet çekmesi sebebiyle %2'den fazla kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

Priz hızlandırıcılar şu amaçlarla kullanılırlar.

- 1) İnşaatın süratli olmasının ve bir an önce hizmete girmesinin istendiği ve kısa sürede kalıp alınmasının gerekli olduğu hallerde, Prefabrikasyon ve tünel inşaatlarında,
- 2) Beton kür süresinin daha kısa olması istendiği durumlarda,
- 3) Soğukta beton dökümünde, düşük ısı derecesinin priz geciktirme özelliğinin giderilmesinde,
- 4) Acele tamirlerde, su yapılarında görülen sızıntı yapan çatlakların tamirinde
- 5) Püskürtme betonlarda kullanılır.

2.4.5. Hava Sürükleyici Katkılar

ACI Committee 16'ya göre hava sürükleyici katkılar şu şekilde tanımlanırlar; Beton veya harç için, genellikle çok az miktarda karıştırma esnasında çok küçük habbecikler halinde birleşmiş olarak (1mm çapında veya daha küçük) bulunan, hava veren katkılardır.

Hava veren beton katkıları yüzeysel aktif katkılar olup karışım esnasında katıldıkları takdirde karışım içinde gayet küçük hava zerrecikleri oluştururlar. Hava

sürükleyici katkı maddeleri beton içinde üniform olarak dağılırlar. Bu hava zerrecikleri 50 mikrondan küçük çapta olup betonun işlenebilme özelliğini artırır. Akışkanlık sağlar. Hava veren katkılar donma çözünmenin tahrip edici etkisine karşı yüksek bir direnç sağlar ve kimyasal maddelerin buz tutmasını önler. Betonda su/çimento oranını azaltarak, daha yoğun beton elde edilmesini sağlar. Hava veren katkılar olarak, tabii odun reçineleri, organik yağ bileşikleri ve mineral yağlar kullanılır.

Beton dökümünde, yer çekimi etkisi ile taneler beton karışımının içinde altta ve çimento kaymağı üstte toplanır. Bu tür homojen olmayan karışımlara mani olmak için kullanılan, gaz tanecikleri meydana getiren katkı maddelerinin en önemlisi alüminyum tozudur. Alüminyum tozu çimento ile kimyasal reaksiyona girerek sonsuz küçük hidrojen gazı tanecikleri oluşturur. Böylece iyi kontrol ederek plastik beton elde edilir. Hava katkılı betonun mukavemeti normal beton mukavemetine nazaran küçük olur. Bu azalma, oluşan hava kabarcıklarının miktarı ile orantılıdır. Ancak normal koşullarda basınç ve eğilme dayanımındaki azalma % 10'u geçmemelidir.

2.4.6. Su İtici (Su Azaltıcı) Katkılar

Su itici katkılar çimento bünyesinde kireçle erimeyen bileşikler yaparlar. Bu nedenle betonun daha az su emmesini sağlar. Bu katkılara örnek olarak; sabunlar, butil, stearat, petrol bileşikleri ve diğer patentli bileşikler verilebilir (Karaduman ve Atay, 1991). Sabunlardan suda erimeyen kalsiyum, amonyum stearet ile köpük yapmadığı için butil stearat en çok kullanılan cinslerdir. Bu katkılar beton ağırlığının % 0,2'sini geçmemelidir.

2.4.7. Beton Koruyucu Katkılar

Fiziksel etkilerin en önemlisi sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda meydana gelen donma olayının betonun üretimini, prizini engellemesi veya parçalanmasına neden olmasıdır. Bu amaçla kullanılan katkı maddeleri suyun donma

derecesini düşürmek suretiyle donma meydana gelmeden çimentonun priz yapmasını sağlar. Bu maddeler sertleşmiş betonu donmanın zararlı etkisinden korur. Bu amaçla kullanılan klorür, donatını korozyonuna neden olduğundan bu madde yerine

- NaCO_3 veya K_2CO_3
- Linyosülfonat esaslı bir hava sürükleyici
- Üre gibi maddelerin kullanılması önerilir.

Gerek donma olayına karşı koymak ve gerekse betonu zararlı suların etkisinden korumak için betonun geçirimsizliğini arttırmak gerekir. Bunu sağlamak için kullanılan katkı maddelerine hidrofüj ismi verilmektedir. Bu maddeleri yüzey hidrofüjleri olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Betonun yüzeyine uygulanarak yüzeyi geçirimsiz hale getiren yüzey hidrofüjlerinin olumlu etkileri sürekli değildir. Muhtelif nedenlerle aşınması ve çatlaması sonunda zamanla geçirimsiz duruma sokan kütle hidrofüjleri yararlı etkinliklerini uzun süre sürdürürler. Belli başlı hidrofüjler şunlardır;

- Betonite türünde tozlar
- Yağ asiti tuzları
- Akışkanlık arttıran maddeler
- Diğer maddeler

Bu maddeler toz veya sıvı halde bulunurlar ve çimento ağırlığının %0,5 – %5'i oranında betona katılır.

Bağlayıcı katkı maddeleri: Bu katkı maddeleri betonun işlenebilme özelliğini ve geçirimsizliğini artırır ve su kusmayı önler. Ancak bu tür maddeler genellikle dayanımı adrenansı olumsuz yönde etkiler.

İşlenebilirliği arttırıcı katkı maddeleri: Bu katkı maddeleri betonun akışkanlığını, işlenebilirliğini artırır ve su kusmayı önler. Bu maddeler kullanıldığında su azaltılabileceğinden, dayanım arttırılabilir. Ancak bu katkı maddelerinden bazıları prizi geciktirebilir.

Geçirimsizliği arttırıcı katkı maddeleri: bu katkı maddeleri betonun geçirimsizliğini arttırır.

Genleşmeyi sağlayan katkı maddeleri: bunlar betonun priz sırasında büzülme yerine genleşmesine yol açar. Bu tür katkı maddeleri derzlerin doldurulmasında ve onarım işlerinde son derece yararlıdır.

2.4.8. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Kullanılan Süperakışkanlaştırıcılar

Yüksek dayanımlı beton, iyi kalite agrega, çimento ile süper akışkanlaştırıcı katkı ve silis dumanı gerektiren, su – çimento oranı 0,20'lere kadar düşürülmek suretiyle basınç dayanımı 100 N/mm^2 mertebesine çıkarılabilen beton olarak tanımlanabilir (Kocataşkın, 1991).

Son yıllarda meydana gelen önemli gelişme, süper akışkanlaştırıcıların kullanılması ve bunun getirdiği yüksek mukavemet olmuştur (Balta, 1991). Yüksek dayanımlı beton üretiminde süper akışkanlaştırıcılara ilgi artışı son yirmi yıl içerisinde olmuştur. Aslında süper akışkanlaştırıcıların bilinmesi 60 – 70 yıla dayanmaktadır (Rixom ve Maılvaganam, 1986). Ancak maliyet faktörünün yüksek olması nedeniyle kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Kullanım için açıklayıcılarda son yıllarda literatüre girmiştir. Süper akışkanlaştırıcı katkılar, çimento ve diğer mineral parçacıklarının su içerisinde topaklanmasını önler, betonda çok miktarda su ile elde edilebilecek olan işlenebilirliği sağlar. Bu malzemelerin katkı madde miktarı olarak çimento ve mineral katkı ağırlığının % 0,3- 0,6 oranında kullanılması ile betonun karışım suyunda % 30 ve üzerinde azalma yaptığı bilinmektedir (ACI com. Report 363R, 1984; Skalny ve Roberts, 1989). Süper akışkanlaştırıcı katkılar betondaki karışım suyunda eridiklerinden çimento danecikleri tarafından adsorbe edilerek onların yüzeylerinde ince bir film oluşturur ve film dışı doğru negatif yüklü olarak danelerin birbirini itmesine, yani dispersiyona, yol açıp kolay kaymalarına ve betonda akıcılığın artmasına neden olurlar. Normal akışkanlaştırıcı katkılar hava sürükleyerek ve çimento tanelerinin topaklaşmasını önleyerek etkili olmaktadır (Uyan, 1982). Süper akışkanlaştırıcılar

ise suyun yüzey gerilimini normal akışkanlaştırıcılar kadar fazla düşürmedikleri için aşırı miktarda hava sürüklemeler ve bu yüzden onlardan daha yüksek yüzdelerde kullanılabilirler (ACI Com.212,1989). Süper akışkanlaştırıcılar genel olarak uygulamada aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadırlar (Neville ve Brooks,1987; ACI Com. 212,1989).

- a) Katkısız beton ile aynı işlenebilirlikte olmak şartı ile su / çimento oranını azaltarak daha yüksek mukavemet kazanabilmek
- b) Ulaşılmayan ve sık donatılı yerlerde kolay yerleşmeyi sağlamak için işlenebilirliği arttırmak
- c) Kütle betonlarında hidrasyon ısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilirliği kazanmak. Katkının bu şekilde diğer beton türleri için de kullanılması aynı zamanda daha ekonomik bir beton üretimi sağlaması anlamına gelir.

Süper akışkanlaştırıcı katkıları kimyasal bileşimlerine göre şu şekilde sınıflandırılabilirler (ACI Com.212, 1989; Malhotra, 1981.);

- a) Yoğun melamin formaldehit sülfonatlar
- b) Yoğun naftalin formaldehit sülfonatlar
- c) Modifiye edilmiş linyosülfonatlar
- d) Bu maddelerin çökme kaybını önleyiciler

Süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanım oranları yüksek mukavemetli ve akıcı beton üretme amacına göre değişebilmektedir. Normal akışkanlaştırıcılara göre daha yüksek oranlarda kullanılan bu katkıların kullanılma oranları genelde çimento ağırlığına göre %0,5 – 3 arasında olmaktadır (Malhotra, 1981). Yüksek dayanımlı beton imalatında kullanılan süperakışkanlaştırıcılar istenilen işlenebilirlik için su miktarını %25 - 35 oranında düşürülebilirler. Bu şekilde düşük su/çimento oranlı beton üretilerek yüksek mukavemet elde edilebilir (Neville ve Brooks, 1987).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzeme

Agrega dayanımının beton mukavemetine etkisinin araştırılması amacı ile farklı dayanımlara sahip kayalar, çimento silis dumanı kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

Araştırmada kullanılan çimento, TS 19 (1992)'a uygun PÇ 42,5 olup Adana Çimento fabrikasında üretilmiştir. Çimentoya ait priz başlama süresi 4 saat ve priz tamamlanma süresi 5 saattir. Blain özgül yüzey alanı 3350 cm²/gr olan çimentonun kimyasal bileşimi çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Kullanılan Çimentonun Kimyasal Bileşimi

Bulunan	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Diğer
%	20,65	5,60	4,13	0,06	61,87	2,6	2,79	0,14	0,83	1,33

3.1.2. Silis Dumanı

Çalışmalarda kullanılan silis dumanı; Etibank'a ait Antalya Ferro Krom Tesislerinden temin edilmiştir. Özgül ağırlığı 2,32 olan silis dumanının birim hacim ağırlığı 245 kg/m³ tür. 45 µm lik elekten geçirildiğinde elek üstünde kalan kısım %4,8 dir. Silis dumanına ait kimyasal bileşim çizelgesi 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Kullanılan Silis Dumanının Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşim	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Diğer
%	85,93	0,64	0,32	0,70	4,91	0,63	6,87

3.1.3. Agreganın Türü ve Gradasyonu

Agreganın dayanımının beton mukavemetine etkisinin araştırılması amacı ile 5 farklı türde, kırılmış agrega kullanılmıştır. Bu agregalar; Bazalt, Gabro, Kuvarsit, Kireçtaşı ve Kumtaşından elde edilmiştir. Bazalt Osmaniye yöresinden, gabro Handere formasynundan, kuvarsit Nurdağı (Bahçe) yöresinden, kireçtaşı Ceyhan (Adana) yöresinden ve kumtaşı da Handere yöresinden temin edilmiştir. İri parçalar halindeki numuneler, önce çekiçle kaba kırma işleminden geçirildikten sonra, kırıcıda kırılmış ve standart eleklerde elenerek yedi farklı boyut aralığına ayrılmıştır. TSI 706 [8]'ya uygun boyutlara indirilen agregalar 0- 0,25; 0,25-0,50; 0,50-1; 1-2; 2-4; 4-8 ve 8-16 mm aralıklarında ayrılmıştır. Agregalara ait boyut ve miktarlar Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Agregalara Ait Boyut ve Miktarlar

Elek aralığı (mm)	Geçen (%)			
	TS 706 Alt sınır	TS 706 Orta	TS 706 Üst sınır	Kullanılan Agrega
16	100	100	100	100
8	60	76	88	64
4	36	56	74	41
2	21	42	62	27
1	12	32	49	17
0,5	7	20	35	11
0,25	3	8	18	5

Çalışmada kullanılan agrega TS 706 [8]'ya göre alt ve orta sınır arasında yer aldığı için standartlara da uygundur. Beton imalinde kullanılan agregaların kuru yüzeyli olmasına dikkat edilmiştir.

Agrega olarak kullanılan kayaların tek eksenli basınç dayanımı, Los-Angeles aşınma indeksi, shore sertliği, özgül ağırlık, kuru birim hacim ağırlığı, porozite ve ağırlıkça su emme oranı Çizelge 3.4 'te verilmektedir.

Çizelge 3.4. Agrega Kayaçlarına Ait Bazı Mekanik ve Fiziksel Özellikler

Kayaç Adı	UCS (MPa)	Aşınma İndeksi (L.A 500)	Shore Sertliği	Özgül Ağırlık	Kuru Birim Hacim Ağırlığı	Porozite	Ağırlıkça Su Emme Oranı
Gabro	247	11,06	79	2,752	2,637	1,310	0,499
Bazalt	132	23,66	67	2,688	2,117	12,857	5,921
Kuvarsit	160	16,20	60	2,791	2,631	0,441	0,167
Kireçtaşı	110	24,14	47	2,750	2,686	0,662	2,629
Kumtaşı	52	96,18	34	2,664	2,503	5,627	2,272

3.2. Yöntem

Agrega dayanımının beton mukavemetine etkisinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılan beton karışımı oranları sırasıyla ağırlık cinsinden, 1:4:0,35 çimento, karışımdaki agreg ve su/çimento olarak belirlenmiştir. Yapıştırıcı olarak kullanılan Normal Portland Çimentosu ve Silis Dumanı (NPC ve SF) dozajı 475 kg/m^3 mertebesinde olup, bu dozaj yüksek dayanımlı beton sınıfını temsil etmektedir. Silis dumanının (71 kg/m^3) toplam yapıştırıcıya oranı %15 kadardır.

Slump değerinin 10-15 cm civarında tutularak harcın işlenebilirliğini sağlamak amacıyla karışım, içerisine akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Farklı agreg türlerinden elde edilen ve içerisine akışkanlaştırıcı ilave edilen beton karışımlarına ait Slump değerleri Çizelge 3.5'te verilmiştir. Kullanılan akışkanlaştırıcının bağlayıcıya (NPC + SF) oranı ağırlıkça, %4 kadardır. Kullanılan agregalardan sadece kumtaşı, içerisinde bulunan kül oranının fazlalığı ve kil'in de suyu tutması nedeniyle, çok düşük işlenebilirlik slump'ı göstermiştir.

Deneyler için numune hazırlanması sırasında; 100 mm ebadında kübik numuneler ve 100x100x500 mm boyutlarında prizmatik numuneler kalıplara dökülmüştür. Numunelerin sıkıştırılması vibrasyonla sağlanmıştır.

Çizelge 3.5. Farklı Agregalarla Hazırlanan Betonun Slamp Değerleri (cm)

Beton	Gabro	Bazalt	Kuvarsit	Kireçtaşı	Kumtaşı
Slump	10	15	10	12	2

Dökülmelerinden 1 gün sonra bütün numuneler kalıplarından çıkarılmış ve su içerisinde Kür'e bırakılmıştır. Kür sıcaklığı 20 ± 2 °C ta tutulmuştur. Kür süresine bağlı olarak yapılan her bir deney için, basınç dayanımı ve eğilme dayanımını belirlerken üçer adet numune kullanılmıştır.

Betonlara ait tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri 3, 7, 28 ve 90 gün içinde belirlenmiştir. Numunelerin kırılması için ELE – 3000 kN hidrolik pres kullanılmıştır.

Aşınma dayanımının belirlenebilmesi amacıyla iki farklı şekilde numune hazırlanmıştır. Aşınma değerleri Böhme aşınma makinesinde tespit edilecek olan numuneler 71x71x71 mm ebadında kübik, Los-Angeles aşınma değerinin belirlenmesi için hazırlanan numuneler 50x50x100 mm boyutlarında ve prizmatik olarak hazırlanmıştır. Her iki tür numune de elmas testerelerle kesilerek hazırlanmıştır. Her iki aşınma deneyi için üçer adet numune kullanılmıştır. Los-Angeles aşınma tamburuna, çelik top kullanılmaksızın, yerleştirilen beton numunelerinin 100 ve 500 devir sonunda ağırlıklarında meydana gelen kayıp yüzdesi Los-Angeles aşınma değeri olarak alınmıştır.

Dorry tipi Bohme aşınma makinesinde beton numunelerinin yüzey aşınma değerleri belirlenmiştir. Numune yüzeyini aşındırmak için korendon (Al_2O_3) tozu kullanılmıştır. Numunelerin 4 yüzü de aşındırılmış ve hacimde meydana gelen kayıp aşınma değeri olarak alınmıştır. Her iki tür aşınma deneyleri de 28 günlük kür süresi sonundayapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

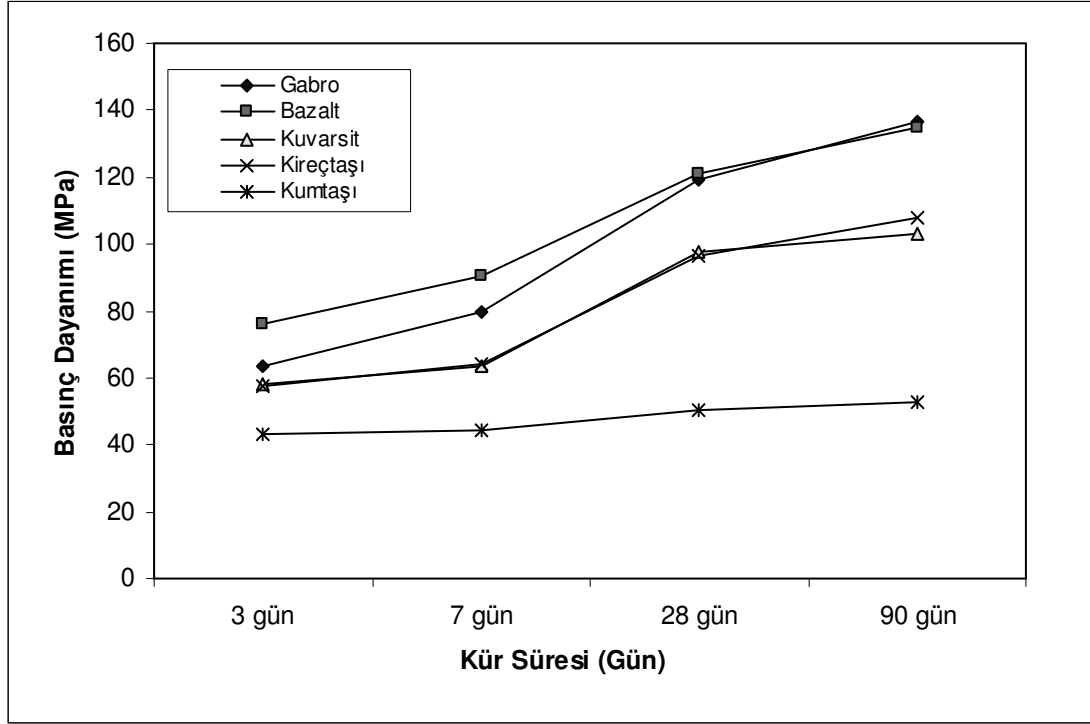
4.1. Agrega Basınç Dayanımının Beton Basınç Dayanımına Etkisi

Kür süresine bağlı olarak 3,7,28 ve 90 gün sonunda gabro, Bazalt, Kuvarsit, Kireçtaşı ve Kumtaşından imal edilen betonların ortalama basınç dayanımları çizelge 4.1 de verilmektedir. Karşılaştırılmaların daha iyi şekilde anlaşılabilmesi için, aynı çizgide, agregaların basınç dayanımları da verilmektedir.

Çizelge 4.1 den görülebileceği üzere, kür süresi arttıkça beton dayanımları da artmaktadır. 90 günlük kür süresi dikkate alındığında 52 MPa basınç dayanımına sahip olan Kumtaşından elde edilen betonun 53 MPa dayanımına ulaştığı görülmektedir. 110 MPa basınç dayanımına sahip olan Kireçtaşı aynı kür süresi sonunda 107,7 MPa beton dayanımına ulaşmaktadır. 160 MPa basınç dayanımına sahip olan Kuvarsitten elde edilen beton 3 aylık kür süresi sonunda 103 MPa'lık basınç dayanımına ulaşabilmiştir. 132 MPa basınç dayanımına sahip olan Bazalttan yapılan betonun 3 aylık kür süresi sonunda 134,6 MPa'lık bir dayanıma ulaştığı görülmektedir. 247 MPa basınç dayanımına sahip olan Gabrodan yapılan beton ise aynı süre sonunda 136,4 MPa basınç dayanımına ulaşmıştır. Buna göre; agrega dayanımı arttıkça, genel olarak, beton dayanımı da artmaktadır

Çizelge 4.1. Kür Süresine Bağlı Olarak Beton Dayanımları

Kür Süresi Gün	Basınç Dayanımı (MPa)				
	Gabro (247)	Bazalt (132)	Kuvarsit (160)	Kireçtaşı (110)	Kumtaşı (52)
3	63,8	76,2	58,1	57,4	43,4
7	79,9	90,5	63,5	64,2	44,4
28	119,4	121,2	97,4	96,3	50,3
90	136,4	134,6	103,0	107,7	53,0



Şekil 4.1. Kür Süresine Bağlı Olarak Beton Dayanım Grafiği

Çizelge 4.1 dikkatle incelendiğinde, bazı durumlarda beton dayanımının agrega dayanımı tarafından (Kumtaşı; 52 MPa) sınırladığı, bazı durumlarda da bağlayıcı tarafından sınırlandığı (274 MPa dayanıma sahip Gabro dan 136,4 MPa dayanıma sahip beton elde edilebilmiş olduğundan) anlaşılmaktadır.

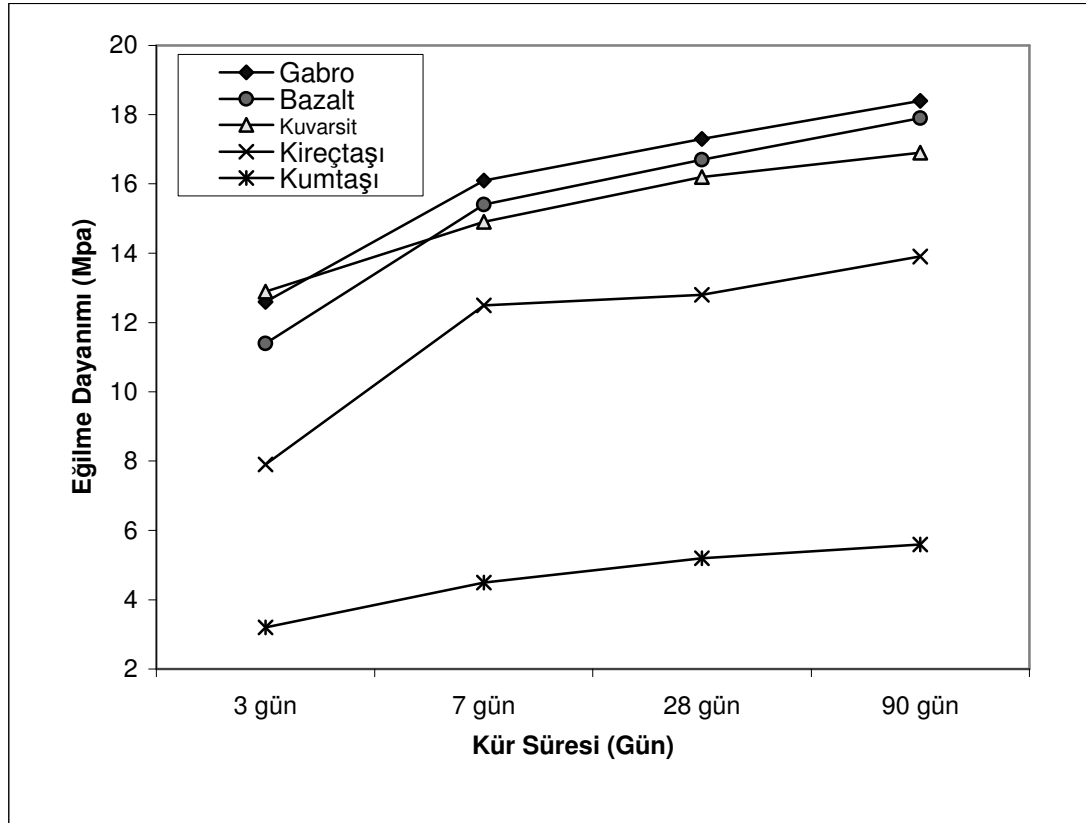
Çalışmalar sırasında, kuvarsit gibi pürüzsüz yüzeyli agregalardan yapılan betonların kırılırken, agrega-çimento ara yüzeyinden sıyrıldığı ve betonda beklenen dayanımın elde edilemediği görülmüştür. Oldukça pürüzlü yüzeylere sahip olan bazalt agregaları ile yapılan beton da ise istenilen ve beklenen dayanıma ulaşılabilmiştir.

4.2. Agrega Basınç Dayanımının Beton Eğilme Dayanımına Etkisi

3,7,28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda Gabro, Bazalt, Kuvarsit, Kireçtaşı ve Kumtaşından yapılan betonların ortalama eğilme dayanımları Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Kür Süresine Bağlı Olarak Betonların Eğilme Dayanımları

Kür Süresi Gün	Eğilme Dayanımı (MPa)				
	Gabro (247)	Bazalt (152)	Kuvarsit (160)	Kireçtaşı (110)	Kumtaşı (52)
3	12,6	11,4	12,9	7,9	3,2
7	16,1	15,4	14,9	12,5	4,5
28	17,3	16,7	16,2	12,8	5,2
90	18,4	17,9	16,9	13,9	5,6

**Şekil 4.2.** Kür Süresine Bağlı Olarak Betonların Eğilme Dayanım Grafiği

Çizelge 4.2 den görülebileceği üzere, basınç dayanımlarına olduğu gibi, kür süresine bağlı olarak beton eğilme dayanımında kür süresine bağlı olarak arttığı görülmektedir. 3 aylık kür süresi sonunda, Kumtaşından elde edilen betonun 5,6 MPa

eğilme dayanımını geçiştirdiği, Kireçtaşının 13,9 MPa, Kuvarsitin 16,9 MPa, Bazaltın 17,6 MPa ve Gabronun da 18,4 MPa eğilme dayanımını geliştirdiği görülmektedir. Buna göre dayanımı en düşük olan Kumtaşı, dayanımı en düşük olan betonun elde edilmesine yol açmıştır.

4.3. Agrega Basınç Dayanımı ve Agrega Aşınması Arasındaki İlişkiler

Beton imalinde kullanılan agregaların tek eksenli basınç dayanımı ve aşınma değerleri Çizelge 4.3’de verilmektedir. Çizelge 4.3’de dayanım-aşınma ilişkisi grafik olarak verilmektedir. Çizelge 4.3’e bakıldığında kayaçların basınç dayanımları ile Los-Angeles aşınma değerleri arasında üssel bir ilişkinin olduğu görülmektedir. 50-250 MPa dayanıma sahip kayaçlardan elde edilen bu grafiğe göre; kayaçların dayanımlarında meydana gelen artışın aşınma dayanımlarını da arttırdığı görülmektedir.

Çizelge 4.3 Agregaların Tek Eksenli Basınç Dayanımları ve Aşınmaları

Agrega Kaya Sınıflaması	UCS (MPa)	Los-Angeles (L.A 500)	Shore Sertliği
Gabro	247	11,06	79
Bazalt	132	23,66	67
Kuvarsit	160	16,20	60
Kireçtaşı	110	24,14	47
Kum taşı	52	96,18	34

4.4. Arega Dayanımı ve Sertliğin Beton Aşınmasına Etkisi

Los-Angeles aşındırma tamburu ve Böhme aşındırma yüzeyinden elde edilen beton aşınma değerleri ile agregaya ait Shore sertlik indeksi ve agregaya ve betonun basınç dayanımları Çizelge 4.4’de verilmektedir. Çizelge 4.4’e bakıldığında, genel olarak, betonun aşınma ve basınç değerleri ile agreganın aşınma ve basınç değerleri

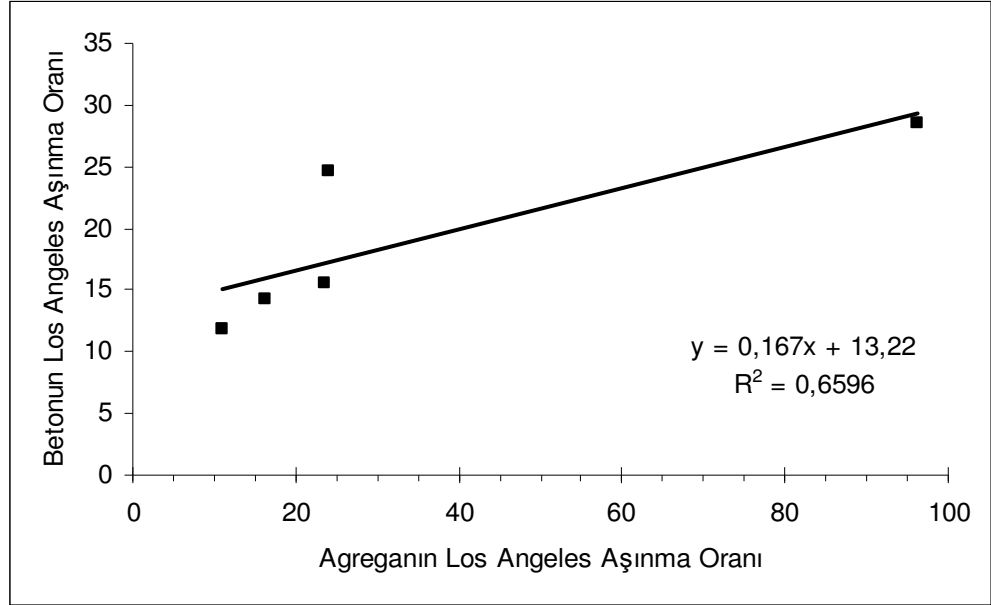
arasında genel bir ilişki olduğu görülmektedir. Shore sertlik değeri, beton ve agreganın basınç dayanımı arttıkça betonun aşınma değeri azalmaktadır.

Çizelge 4.4. Kayaç Dayanımı ile Beton Özellikleri Arasındaki İlişki

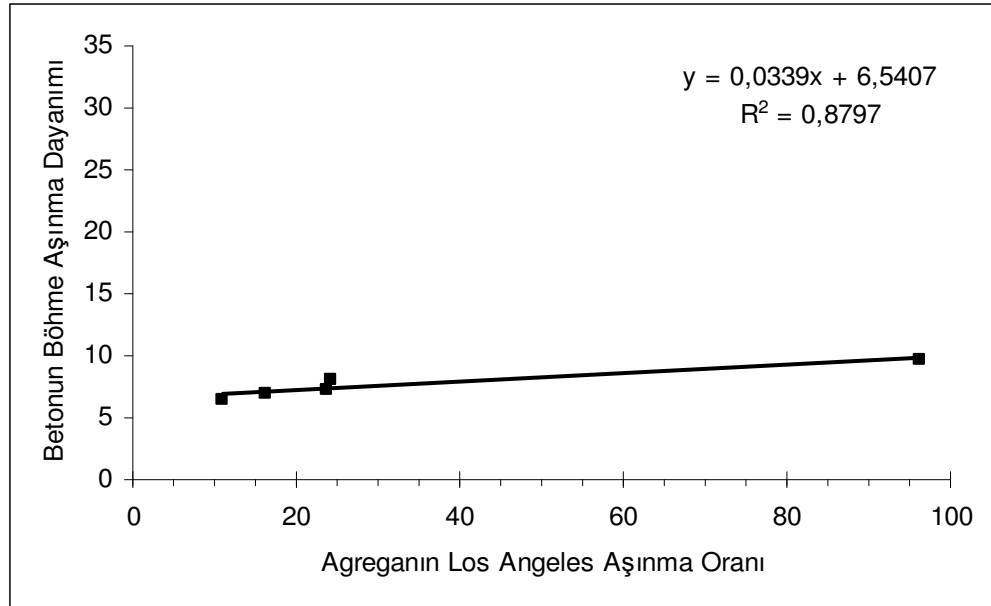
Kayaç Adı	UCS (Kaya)	UCS (Beton)	Shore (Beton)	Böhme (Beton)	LA-100 (Beton)	LA-500 (Beton)
Gabro	247	136,4	79	6,5	4,3	11,8
Bazalt	132	134,6	67	7,3	5,2	15,5
Kuvarsit	160	103,0	60	6,9	5,6	14,3
Kireçtaşı	110	107,7	47	8,1	7,7	24,6
Kumtaşı	52	53,0	34	9,7	8,9	28,5

4.5. Agreganın Aşınmasının Beton Aşınmasına Etkisi

Agregalara ait 100 ve 500 devirlik dönüş sonunda elde edilen beton aşınma değerleri ile aynı devir sonucunda elde edilen beton aşınma değerleri ile aynı devir sonucunda elde edilen beton aşınma değerleri arasında da ilişkiler araştırılmıştır. Ayrıca, agregaların Los-Angeles aşınma değerleri ile betonun Böhme aşınma değerleri arasındaki ilişkiler de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4’de verilmektedir. Agreganın Los-Angeles aşınma değeri ile betonun Los-Angeles aşınma değeri arasında %67’lik bir ilişki olduğu görülmektedir. Buna karşılık agreganın Los-Angeles aşınma değeri ile betonun Böhme aşınma değeri arasındaki ilişki daha yüksek olup, bu değer %88 dir.



Şekil 4.3. Beton ve Agregaların L.Angeles Aşınma Oranları Arasındaki İlişki.



Şekil 4.4. Agregaların L. Angeles Aşınma Oranları ile Betonun Böhme Aşınma Oranı Arasındaki İlişki

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, sabit karışım özellikleri kullanılarak, agregâ türünün betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve aşınma değeri üzerine etkileri araştırılmıştır.

Beton karışımı için beş farklı agregâ türü kullanılmış olup, bu agregalar gabro, bazalt, kuvarsit, kireçtaşı ve kumtaşıdır. Araştırmalar sonucu agregâ dayanımı ve mineral dokusunun betonun aşınma, tek eksenli basınç ve eğilme dayanımlarının etkilediğini göstermiştir. Bazalt, kireçtaşı ve kumtaşına ait tek eksenli basınç dayanımının betonun ulaşabileceği nihai dayanımı belirlediği tespit edilmiştir. Kuvarsitin, özellikle pürüzsüz olan, yüzey yapısının betonun eğilme ve tek eksenli basınç dayanımını sınırladığı görülmüştür. Çok yüksek dayanıma sahip gabro ile üretilen betonda ise nihai dayanımın bağlayıcı madde olan çimento tarafından sınırladığı belirlenmiştir.

Çalışmalar sonucunda, agreganın tek eksenli basınç dayanımı ile Los-Angeles aşınma direnci arasında iyi bir ilişkinin var olduğu görülmüştür. Ayrıca, agreganın tek eksenli basınç dayanımı ile betonun tek eksenli basınç ve eğilme dayanımları arasında R^2 si % 80 olan bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir. Yine kayacın tek eksenli basınç direnci ile betonun Los-Angeles aşınma direnci arasında, kayaç dayanımı ile betonun Böhme aşınma dayanımı arasında, R^2 si % 80 olan ilişkiler belirlenmiştir. Agreganın Shore sertlik indeksi ile betonun Los-Angeles aşınma dayanımı arasında %90 R^2 ye sahip ilişkiler belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- ACI COMMİTTEE 212., 1989, Admixtures for Concrete, Vol.3, No: 5,81
- ACI COMMİTTEE 212., 1989, Chemical Admixtures for Concrete, ACI Materials (297) s
- ACI COMMİTTEE REPORT 363 R., 1984, American Concrete İnşaat Detroit. USA
- AKA, İ., KESKİNEL, F., ARDA, T.S., 1996, Betonarme Katlanmış Plaklar, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, İSTANBUL 1964
- AK ÇİMENTO., 1985, Teknik Yayınları
- BALTA, İ., 1981, 1991 Yüksek Mukavemetli Betonlar ve Bileşenleri, İkinci Ulusal Beton Kongresi, İSTANBUL (246-255) s
- BAYAZIT, Ö.L., 1988, Beton ve Deneyleri, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayını, ANKARA (238) s
- BS 812., 1960, Determination of Aggregate Crushing Value
- CELEP, Z., KUMBASAR, N., 1996, Betonarme Yapılar, Sema Matbaacılık, İSTANBUL
- ÇETMELİ, E., 1974, Yeni Alman Beton Şartnamesi (DIN 1045,1975), Uludağ Kitabevi
- DAŞ, C., 2004, Kaynar Su Metodu ve Beton Boru İmalatında Uygulanan Buhar Kürünün Karıştırılması ve İmalathanenin İşletme Prensipleri, Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, ADANA
- ERDOĞAN, T.Y., 2003, Beton, METD Yayınları, ANKARA
- ERSOY, U., 1975, Betonarmede Burulma: Davranış, Mukavemet, Şarnameler, Hesap için Öneriler, Güven Kitabevi, ANKARA
- ERSOY, U., 1975, Betonarme, Temel İlkeler ve Hesap Yöntemleri, ODTÜ Yayını, ANKARA
- GÖKDEMİR, A., 1997, Yapı Malzemeleri ve Beton Teknolojisi, Mavi Kitabevi, ANKARA
- GÜNDÜZ, L., ŞENTÜRK, A., TOSUN, Y.İ., SARIŞIK, A., 1996. Mermer Teknolojisi, Tuğra Ofset, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Isparta.

- JOSIEL, A., 1973, Admixtures for Cement, Physico-Chemistry of Concrete and Its Reinforcement
- KARADUMAN, M., ATAY, Z.U., 1991, Katkı Maddeleri ve Çeşitli Uygulamaları, TMMOB İnşaat Mühendisliği Odası KONYA Şubesi Yayını No: 8 KONYA
- KOCATAŞKIN, F., 1991, Yüksek Dayanımlı Beton Bileşimi 2. Ulusal Beton Kongresi, iyi Beton, LEFKOŞE (106-199) s
- LAFARGE., 1997 Beton Temin Kullanım Klavuzu
- MALTHOTRA, V.M., 1981, Süperplastisizers: Their Effect on Fresh and Hardened Concrete, ACI Concrete International, pp:66
- NEVILLE, A.M., BROOKS,J.J., 1987, Concrete Technology, Longman Scientific and Technical (155) s
- ÖZTURAN, T., 1984, Beton Katkı Maddelerinin Genel Özellikleri, Sınıflandırılması, İşlenebilirlik Özelliğine Etkiyen Katkılar, DSİ Beton Semineri, ANKARA (45-46) s
- POSTACIOĞLU, B., 1986, Beton, Cilt I-II Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İSTANBUL
- POSTACIOĞLU, B., 1987, Beton Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İSTANBUL (404) s
- RILEM COMMITTEE 11A FINAL REPORT., 1975, Concrete Admixtures, Materials and Structures No:48
- ROBERTS, L.R., SKANLY, J.P., 1989, Materials Research Symposium Proceedings, Vol 137
- TS., 1980, Beton Agregalarında Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini (Granülometrik Bileşim Tayini), ANKARA
- TS., 1985, TS 19 Portland Çimentoları, ANKARA
- TS., 2002, TS 21 Çimento Deney Metotları-Çimentoda Klorür Karbon Dioksit ve Alkali Muhtevası Tayini
- TS., 1992, TS 26 Çimento – Traslı Çimento
- TS., 2002 TS EN 206-1, Beton Bölüm 1:Ç Özellik Performans, İmalat ve Uygunluk,
- TS., 1987, TS 699 Tabii Yapı Taşları – Muayene ve Deney Metodları.

- TS., 1980, TS 706, Beton Agregaları, ANKARA (12) s
- TS., 1985, TS 802 Beton Karışım Hesap Esasları, ANKARA (16) s
- TS., 1984, TS 3452, Beton Kimyasal Katkı Maddeleri
- TS., 1981, TS 3694 Beton Agregaların Aşınmaya Dayanıklılık (Aşınma Oranı) Tayini Metodu, ANKARA
- TS., 1986, TS 4834 Beton ile İlgili Terimler, ANKARA
- UYAN, M., 1982, Işıl İşlem Uygulaması ile Birlikte Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi, Doçentlik Tezi, İnşaat Fakültesi, İSTANBUL
- UYAN, M., YILDIRIM, H., 1991, Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Süperakışkanlaştırıcı Beton Katkı Maddelerinin Etkinliği, 2. Ulusal Beton Kongresi, İSTANBUL (262-279) s
- RIXOM, M.R., MAILVAGANAM, N.P., 1986, Chemical admixtures for Concrete, 2.nd.ed, E & FN Spen LONDON

ÖZGEÇMİŞ

02.10.1981 yılında Gaziantep İl'i Şehitkamil ilçesinde dünyaya geldi. İlk ve Orta Öğrenimini Gaziantep'te tamamladı. 1999 yılında Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünü kazandı. Bu bölümü 2003 yılında başarılı bir sonuçla tamamladı. 2003 yılında girdiği sınavı kazanıp Çukurova Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.