

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

106406

**BAZI ANORGANİK KATKI MADDELERİNİN
ÇİMENTONUN KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Kimya Mühendisi Ersan ERGÜDER

**F.B.E. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

106406

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Neşet KADIRGAN

Neşet Kadirgan

Doç. Dr. Cemalettin Yaman

Yaman

Prof. Dr. Sabriye Piskin

Piskin

İstanbul, 2001

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MARKASI**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1 Bağlayıcı Maddeler	2
2.1.1 Bağlayıcı Maddelerin Tarihçesi	2
2.1.2 Bağlayıcı Maddelerin Üretimi	3
2.1.2.1 Alçı	3
2.1.2.2 Kireç	4
2.1.2.3 Su Kireci	5
2.1.2.4 Çimento	5
2.1.3 Çimentoların Genel Özellikleri	7
2.1.3.1 Çimentoların İnceliği	8
2.1.3.2 Çimentoların Prizi	10
2.1.3.3 Hidratasyon Isısı	11
2.1.3.4 Çimentoların Mekanik Mukavemeti	12
2.1.3.5 Çimentoların Özelliklerinin Mukavemet Üzerine Etkisi	12
2.1.3.6 Ortam Koşullarının Mukavemet Üzerine Etkisi	13
2.1.3.7 Çimentoların Hacim Değişikliği ve Rötire	14
2.1.3.8 Bağlayıcı Maddelerin Kimyasal Mukavemeti	17
2.1.4 Çimentoların Karmaşık Bileşimleri	19
2.1.4.1 Kalsiyum Silikatlar	19
2.1.4.2 Kalsiyum Alüminatlar	21
2.1.4.3 Diğer Karmaşık Bileşikler	22
2.1.5 Portland Çimentosunun İç Yapısı	23
2.1.6 Hidratasyon	25
2.1.6.1 Kalsiyum Silikatların Hidratasyonu	28
2.1.6.2 Kalsiyum Alüminatların Hidratasyonu	30
2.1.6.3 Tetra Kalsiyum Alümina Ferrit Hidratasyonu	32
2.1.6.4 Hidratasyon Ürünleri	33

2.1.7	Katılaşma Olayı.....	34
2.1.8	Sertleşme Olayı	34
2.2	Agregalar.....	35
2.2.1	Agregaların Granülometri Bileşimi.....	37
2.2.2	Agrega Tanelerinin Şekil ve Biçimlerinin Etkisi	38
2.2.3	Agregaların Porozitesi	39
2.2.4	Agregaların Donmaya Karşı Dayanıklılığı	39
2.2.5	Agregaların Basınç Mukavemeti.....	39
2.2.6	Agregalarda Organik Maddelerin Etkisi.....	40
2.3	Uçucu Kül	40
2.3.1	Uçucu Külün Yapısı	40
2.3.2	Uçucu Külün Özellikleri.....	41
2.3.3	Uçucu Külün Puzolanik Aktivitesi.....	41
2.3.4	Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri	41
2.3.5	Uçucu Küllerin Kullanım Alanları	42
2.4	Beton.....	42
2.4.1	Betonun Bileşenleri	43
2.4.1.1	Çimento.....	43
2.4.1.2	Agrega.....	47
2.4.2	Karma Suyu.....	59
2.4.3	Katkı Maddeleri.....	60
2.4.4	Beton Dayanımları.....	64
2.4.5	İşlenebilme	68
2.4.6	Dayanıklılık (Durabilite).....	70
3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	75
3.1	Deneylerin Yapılışı.....	75
3.1.1	Beton Hazırlanması	75
3.1.2	Basınç Dayanımlarının Ölçülmesi.....	77
3.1.3	Deney Sonuçlarının Kendini Tekrarlaması.....	77
3.2	Deney Sonuçları	78
4.	UÇUCU KÜL KULLANILMASININ EKONOMİK BOYUTU	80
5.	SONUÇ	82
	KAYNAKLAR.....	83
	ÖZGEÇMİŞ.....	84

SİMGE LİSTESİ

Δ	Birim ağırlık
δ	Özgöl ağırlık
P	Agrega ağırlığı
V	Hacim
p	Porozite



KISALTMA LİSTESİ

TS	Türk Standartları
YKSD	Yüzey Kuru Suya Doygun
TÇ	Trashlı Çimento
PÇ	Portland Çimento
KÇ	Katkılı Çimento



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Granülometri Eğrisi.....	50
Şekil 2.2	Maksimum tane çapı 31,5 mm olduğunda elverişli granülometri eğrisi.....	52
Şekil 2.3	Maksimum tane çapı 16 mm olduğunda granülometri eğrisi	53
Şekil 2.4	İdeal granülometri eğrisinin bulunması.....	54



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Çimento Çeşitleri ve Kullanıldıkları Yerler.....	7
Çizelge 2.2 Portland Çimentosunun Bileşimi	23
Çizelge 2.3 Portland Çimentosunda Kimyasal Bakımından Aranılan Özellikler	24
Çizelge 2.4 Tane Büyüklüklerine Göre Agrega Çeşitleri	36
Çizelge 2.5 Tane Büyüklüklerine Göre Gruplandırma	37
Çizelge 2.6 Türk Standartlarına Göre Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri	41
Çizelge 2.7 Granülometri Deney Sonuçları	50
Çizelge 2.8 Granülometri Ordinatları ve İncelik Modülleri.....	53
Çizelge 2.9 Elekten Geçen Malzeme Yüzdeleri.....	55
Çizelge 3.1 Çimento ve Uçucu Kül Numunelerinin Kimyasal Bileşimleri	75
Çizelge 3.2 Üretilen Betonların Bileşimleri ve Taze Beton Özellikleri	76
Çizelge 3.3 Pres Kalibrasyon Çizelgesi	78
Çizelge 3.4 Üretilen Betonların Mukavemetleri.....	79
Çizelge 4.1 Üretilen Betonların Maliyet Analizi ve Karşılaştırılması.....	80

ÖNSÖZ

Çevrenin, doğanın korunmasını ve betonun üretimi konusunda teknik gereklere uygun en ekonomik tasarımı amaçlayan bu tezi oluşturulmasında, bilgisi hoşgörüsü ve tecrübeleri ile her türlü desteğini gördüğüm Prof. Dr. Neşet KADIRGAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanmasında yön gösteren ve her türlü yardımı esirgemeyen Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanmasında her türlü yardımı gösteren Doç. Dr. Fevziye AKÖZ'e sonsuz teşekkür ederim.

Analizleri yapmamdaki yardımlarından dolayı Akçansa Kalite Kontrol Müdürü Sayın Erol ÖZBEK'e teşekkür ederim.

Tezin deneysel çalışmalarının gerçekleştirilmesinde bana olanak sağlayan ONTO Kimya Genel Müdürü Sayın Tolga ÖZÇELİK'e ve laboratuvar çalışanlarına çok teşekkür ederim.



ÖZET

Bu çalışmada, Orhaneli uçucu külünün beton üretiminde kullanılabilirliği ve ekonomik tasarımlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kimyasal analizi belirli olan uçucu kül ve çimento kullanılmıştır. Uçucu külün kullanıldığı çalışmada 400 kg/m³ dozajlı şahit beton ile bu betonlara karşılık test edilmek üzere ağırlık cinsinden %5, %15, %25, %35 ikame oranlarında uçucu kül kullanılarak tasarlanmış beton üretilmiştir. Her beton üretiminde işlenebilme sabit tutulmuştur. Üretilen betonlar 15x15x15'lik numuneler hazırlanmış, bunlar üzerinde 3, 7, 28 gün sonunda basınç deneyleri yapılmıştır.

Yapılan çalışmanın ikinci aşamasında şahit betonla aynı mukavemeti sağlayacak uçucu kül ikamesi saptanmaya çalışılmış ve bu ikame oranında betonun sağladığı ekonomi saptanmıştır. Diğer bir çalışmada PÇ 32,5 ile beton üretmek yerine, PÇ 42,5 ve uçucu kül kullanılarak üretilen betonların sağladığı ekonomi tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, beton, çimento, mukavemet, maliyet



ABSTRACT

In this study, my target is to evaluate the usage of Orhaneli fly ash in concrete production and its economical designs. We used cement and fly ash of which the chemical analysis is defined. Firsth, concretes with a dosage of 400 kg/m^3 is produced as the plain sample. Then, concretes are designed by using fly ash with the rates %5,15,25,35. The workability is kept fixed for all concrete designs. The size of each sample is $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$ and test for compressive strenght are executed on the samples in 3rd, 7th, 28th days.

In the second stage of this study, I tried to define the exact rate of fly ash to obtain the same strenghts with the plain concrete and the saving through this optimum rate. Additionally, I defined the saving through the concrete production by using fly ash and PC 42,5 by using instead of concrete production by using PC 32,5.

Keywords: Fly ash, concrete, cement, strenght, costs



1. GİRİŞ

Portland çimentosunun icadı üzerinden 150 yılı aşkın bir süre geçmiş olmasına rağmen henüz insanlığın hizmetine teknik ekonomik açıdan beton kadar yaygın olarak kullanılabilecek alternatif bir yapı malzemesi sunulamamıştır. Plastik ve diğer hafif kütüli malzeme teknolojilerinden gerçekleştirilen önemli gelişmelere rağmen bu malzemelerin, çoğu uygulama için betonun yerini alabilmesinin zor olduğu görülmektedir. Bu durumun ana nedeni betonun yüksek performans/maliyet oranına ulaşamamış olunasıdır. Görünen odur ki beton kolay kolay yerini başka alternatife bırakacak bir malzeme değildir. Yapılması gereken yeni bir alternatif aramak değil, 2000’li yılların ihtiyacına cevap verebilecek beton teknolojisini geliştirmektir.

Günümüzde endüstriyel bir ürün niteliği taşıyan betonun üretimi konusunda mühendise teknik gereklere en uygun ve en ekonomik tasarımları ortaya çıkarmak düşmektedir. Türkiye sahip olduğu zengin malzeme yelpazesi ile bu konuda oldukça şanslı sayılmakla birlikte bu şansını iyi kullanabildiği tartışılır durumdadır. Bir endüstriyel atık olarak uçucu külün bu yelpaze içinde, olması gerektiği düzeyde yer almadığı görülmektedir. Beton endüstrisi çevre düşmanı, beton dostu olan bu bol ve ekonomik malzemeye hak ettiği ilgiyi göstermelidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Bağlayıcı Maddeler

Bu gurubun içine tutkallar, bitümlü maddeler, kalsiyum bağlayıcı maddeleri gibi yapıştırma özelliğine sahip bütün maddeler girerse de, dar manada kalsiyum bağlayıcı maddeleri anlaşılır. Kalsiyum esaslı bağlayıcı maddeleri alçı, kireç, puzolan, su kireci, ve çimento olarak sıralayabiliriz. Yapıda bunlar sıva ve duvar harçları ile betonda yapıştırıcı madde olarak kullanılırlar.

2.1.1 Bağlayıcı maddelerin tarihçesi

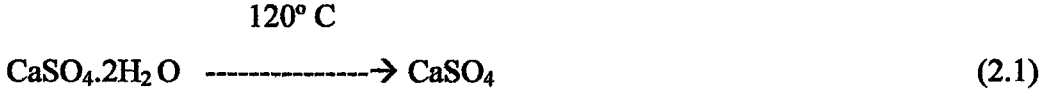
İlk bağlayıcı maddeye Mısır'daki piramitlerde rastlanmış ve 5000 yıl öncesine ait olan bu yapılarda alçı kullanılmış olduğu görülmüştür. Alçıdan sonra insanların yapıda kullandıkları ikinci bağlayıcı madde kireçtir. Eski Yunan ve Roma kalıntılarının incelenmesi, kirecin kum çakıl ve kırmataş ile karıştırılarak harç ve betonda kullanıldığını göstermektedir. Alçı ve kireç havada sertleşen, suda sertleşmeyen ve suya dayanmayan yani hidrolik olmayan bağlayıcı maddelerdir. Kireci suya dayanıklı yapmanın çaresini de ilk defa Romalılar bulmuşlardır. Volkanlardan fıskırmış küllerin veya dövülüp toz haline getirilmiş tuğla, çömlek kırıklarının kirece karıştırılması hem havada, hem suda sertleşen ve suya dayanan bir bağlayıcı madde vermiştir. Puzzolan adı verilen bu bağlayıcı madde ile Romalıların yaptıkları bazı yapılar hala durmakta ve kullanılmaktadır.

Daha sonraları, 1756 yılında Smeathon adlı İngiliz mühendisi, saf olmayan ve kil ile karışık bulunan kireçlerin suda sertleştiğini, suya dayandığını araştırma ile çıkarmış ve o tarihten bu yana bu çeşit kireçler su kireci adı ile üretilip kullanılmışlardır. Son olarak da 1824 yılında Aspdin adlı bir İngiliz duvarcı, kil ve kalkerini birbirine karıştırıp, kireçten daha yüksek sıcaklıklarda pişirmek sureti ile "portland çimentosu" adını verdiği bugünkü çimentoyu bulmuştur. Puzzolan, su kireci ve çimento, suda sertleşen ve suya dayanan yani hidrolik olan bağlayıcı maddelerdir. (Kocataşkın,1966)

2.1.2 Bağlayıcı maddelerin üretimi

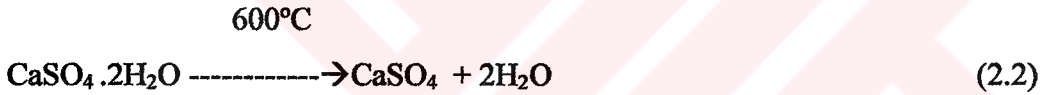
2.1.2.1 Alçı

Tabiatta çıkan alçı taşı, küçük parçalar halinde kırıldıktan sonra fırınlarda ısıtılarak ve 0,2 mm den ince toz halinde öğütülerek alçı elde edilir. Isıtma 190°C'nin altında ise alçıtaşı şeklinde kristal suyundan bir kısmını kaybederek adi alçı haline geçer.



Adi alçıya tekrar su katılacak olursa yukarıdaki reaksiyon tersine dönerek, iğnecikler şeklinde alçıtaşı kristalleşir ve 10–15 dakika gibi kısa bir süre içinde sertleşen bir bağlayıcı madde elde edilir. Adi alçı yapıda iç sıvalarda, kartonpiyer işlerinde, bölme panoları ve blokları yapımı gibi sudan korunmuş yapı elemanlarında ya saf olarak, yada kum ile karıştırılmış olarak kullanılır.

Eğer ısıtma 190 °C'ın üstünde olursa o zaman alçıtaşı



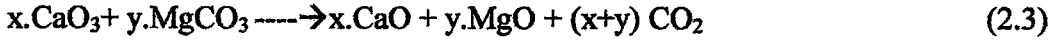
şeklinde bütün kristal suyunu kaybederek döşeme alçısı haline geçer. Döşeme alçısına tekrar su katılacak olursa yukarıdaki reaksiyon çok yavaş olarak geriye döner ve adi alçıya daha mukavemetli ve suya daha dayanıklı bir bağlayıcı madde elde edilir. Bununla yapılmış harcın kullanıldığı eski yapılar günümüze kadar dayanmışlardır. Döşeme alçısı bugün bazı memleketlerde zemin kaplamaları yapmada ve prefabrike duvar, pano ve blokları üretiminde kullanılmaktadır.

Mermer alçısı adı verilen üçüncü bir alçı türü daha vardır ki, bu iki defa pişirmek ve özel şekilde şap ile muamele etmek yolu ile elde edilir. Gayet sert olduğu ve istenilen rengi alabildiği için her türlü renkli kaplama ve mermer taklidi işlerinde kullanılır.

Alçıtaşı memleketimizin birçok yerinde ve bilhassa Çankırı, Eskişehir, Susurluk, Gemlik ve Ulukışla dolaylarında çıkmakta ve özel imalathanelerde adi alçı haline getirilip satılmaktadır. Döşeme alçısı ve mermer alçısı memleketimizde üretilmektedir. (Akman, 1990)

2.1.2.2 Kireç

Tabiatta çıkan ve bileşimi $x.\text{CaCO}_3 + y.\text{MgCO}_3$ genel formülü ile ifade edilebilen kalker, dolomit, mermer, kalsit, tebeşir ve manyezit gibi taşların iri parça halinde kırılıp, kireç ocağı adı verilen fırınlarda mazot, kömür yakıtı ile 900°C üstünde ısıtılması sonunda bünyelerindeki karbondioksitin uçması ile

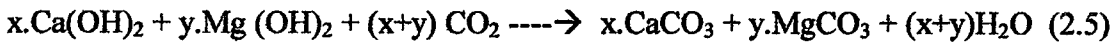


sönmemiş kireç elde edilir. Sönmemiş kireç beyaz veya esmer renkli gevşek parçalar halinde bir maddedir. Bu madde bir tekne içine yayılıp, üzerine su dökülür ve iyice eriyinceye kadar karıştırılırsa fazla miktarda ısı çıkararak aşağıdaki şekilde su ile birleşir ve sönmüş kireç haline geçer.



Sönmüş kireç eriyik halinde toprakta açılmış bir çukur içine akıtılıp kurumaya bırakılır ve suyun fazlası toprak tarafından emilerek geriye yumuşak kıvamdaki yağlı kireç kalır. Yağlı kireç ya alınıp olduğu gibi harç yapmada kullanılır, yada iyice kurutulup, öğütülüp 0,1mm'den ince toz haline getirildikten sonra torbalara doldurulup piyasaya sevk edilir. Türkiye'de kalker taşı hemen her yerde mevcuttur. Modern pişirme ve torbalama imkanlarına sahip kireç endüstrisi Türkiye de kurulmuştur.

Sönmüş kireç, kum ve su ile karıştırıp harç yapmada kullanılır. Kumun vazifesi dolgu ve iskelet yerine geçmek, suyun vazifesi ise, harcın kolay işlenebilmesi ve yapışkan olması için gereken akıcılığı sağlamaktır. Kirecin sertleşip yapıştırması, havadan CO_2 alarak tekrar kalker şeklinde kristalleşmesi yolu ile olmaktadır.



Bu sırada açığa çıkan su, harçta mevcut su ile birlikte buharlaşıp uçmaktadır. Havanın kireçle temas edip bağlanmayı sağlaması ve suyun uçup yapının kuruması için kireç harcının kafi derecede boşluklu olması lazımdır. Aksi halde iç tabakalardaki kireç yıllar, hatta yüzyıllar sonunda sertleşmiş halde kalabilir. (Akman, 1990)

2.1.2.3 Su kireci

Killi ve kalkerli taşların pişirilip öğütülmesinden elde edilen, su altında sertleşebilen ve suya dayanan özel kireçlerdir. Kil ve kalker ya tabiattan beraber bulunur yada ayrı alınıp uygun oranda karıştırılıp, pişirilip, öğütülerek adeta bir kireç puzzolan karışımının bileşimi ve özellikleri elde edilir. Bu karışımında kalker oranı fazla ise, elde edilen bir madde bir kireç gibi söner ve adına “su kireci” yada “hidrolik kireç” denir. Kil oranı fazla ise, elde edilen madde kireç gibi sönmez, fakat daha yüksek hidrolik özellikleri olur ve adına tabii çimento denir. Su kireçleri ve tabii çimentolar bugünkü portland çimentolarının kalitesine erişemedikleri için az kullanılırlar. (Kocataşkın, 1966)

2.1.2.4 Çimento

Biz burada, dünyanın her tarafında en çok kullanılmakta olan Portland tipi çimentonun ne şekilde üretildiğini ana hatları ile açıklayacağız. Hemen belirtmelidir ki çimentonun üretimi kirecin üretiminden çok farklı olup gayet büyük tesislere lüzum göstermektedir.

Portland çimentosunun ilkel maddeleri kalker ve kildir. Üretimin esası evvela bu maddeleri belirli oranlarda karıştırmak sonra bunları fırnlarda yüksek sıcaklıkta pişirmektir. Yüksek sıcaklıkta ilkel maddeler evvela ayrışır. Kalkerlerin ayrışması sonunda (CaO), kilin ayrışmasında da silis (SiO₂), alümin (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) meydana gelir. Bu maddeler sıcaklığın daha büyük değerleri altında aralarında birleşerek çimentoya bağlayıcı madde özelliğini kazandıran silikatları ve alüminatları meydana getirir. Böyle bir sonuca ulaşmak ve kabil olduğu kadar homojen bir malzeme elde etmek için çimento günümüzde artık tamamen belirlenmiş olan şu işlemler sonunda üretilmektedir.

İlkel malzemenin analizi ve analiz sonunda birbirine karıştırılacak kalker ve kil miktarlarının saptanması, kil ve kalkerin saptanan oranlarda kabil olduğu kadar homojen karışımının elde edilmesi, bu amaçla biri yaş metot, diğeri de kuru metot olmak üzere iki metot uygulanmaktadır. Yaş metotta evvela kil büyük havuzlara sevk edilerek burada malzemenin su içinde dağılması sağlanmakta, bundan sonra kırmataş

halinde bulunan kalkerlerle birlikte ıslak olarak değirmenlerde partikül boyutları 90 mikrondan küçük olmak üzere öğütülmekte ve buradan tekrar havuzlara götürülmektedir. Havuzlardaki düşey eksenli büyük kanatların döndürülmesiyle karışım homojen bir hale getirilmektedir. Yapıların analizlerde istenilen veya saptanan bileşime sahip olduğu anlaşılan yaklaşık ağırlığının %50 kadar su içeren karışım fırına sevk edilmek üzere özel silolarda depolanmaktadır. Burada tutulan sulu karışım zamanla çökelmeler olacağından bu karışım evvela yine ya kanatlarla karıştırılarak veya basınçlı hava sevk edilerek karışım tekrar homojen bir duruma sokulduktan sonra fırına akıtılmaktadır. Kuru metotta ise kalker ve kil evvela ayrı kaplarda bir şekilde öğütülerek saptanan miktarlarla birbirine karıştırılır. Bundan sonra ince bir şekilde birlikte öğütülür ve karıştırıcıya sevk edilir. Karıştırıcıdan alınan malzemeye siklon kulelerinde basınçlı hava sevk edilerek karışımın kabil olduğu kadar homojen olması sağlanır. Malzemeye bir ön ısınmaya tabi tutulduktan sonra fırına sevk edilir. Karışımların pişirilmesi, gerek yaş metot ve gerek kuru metot uygulanarak hazırlanan karışımlar döner fırınlarda pişirilir. Kuru metoda göre hazırlanan karışımlar için 40-50 m. uzunluğunda fırınlar kullanılır (yaş metot halinde fırın uzunluğu kuru haldekinin iki katı kadardır). Bu fırınlar %3-7 eğiminde olup iç çapları 2-7 m. arasında değişir. Homojen hale getirilmiş ilkel malzemenin karışımı fırının üst tarafından konur. Kendi ekseni etrafında saatte 20-60 arasında devir yaparak dönen fırında, ilkel malzeme eğim dolayısıyla aşağıya doğru hareket ederek gittikçe daha yüksek sıcaklık fırının alt kapağından sevk edilen toz kömürün veya yakıtın yanmasıyla elde edilir. Fırındaki maksimum sıcaklık 1500 °C ye kadar yükselebilir. Bu yüksek sıcaklık altında daha evvel ilkel malzemenin ayrışma sonunda meydana gelen kireç, silis, alümin, demiroksit aralarında birleşerek çimentonun karmaşık bileşimleri olan silikatları ve alüminatları meydana getirir. Genel olarak ilkel malzeme fırının alt kısmına geldiği vakit bu maddelerin oluşumu tamamlanmıştır. Fırının altında toplanan bu pişmiş elemanlar ki bunlara klinker denir, soğutucuya sevk edilir. Fırından 1000 °C ye yakın bir sıcaklıkla çıkan klinkerin genel olarak oldukça yüksek bir hızla soğutulması gereklidir. Bu amaçla hava akımını sağlayan ve kendi ekseni etrafında dönen soğutucular kullanılır.

Yaş metoda göre ilkel maddenin hazırlanması halinde 1 ton çimentonun elde edilmesi için 190-350 kg. arasında kömür tüketilir. Kuru metot halinde ise kömür tüketimi yarı yarıya azalır. Yakıt tüketiminden ekonomi sağlanması açısından kuru metot çimento

üretiminde daha geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bir çok ülkelerde çimento fabrikalarının yaklaşık %80'ı kuru metoda göre çalışmaktadır.

Klinkerin öğütülmesi: Soğutucudan çıkan klinker boyutları 1-3 cm arasında değişen tanelerden oluşur. Klinker su ile herhangi bir reaksiyon yapmaz ve bu maddenin bağlayıcılık özelliği mevcut değildir. Bu nedenle klinkerin açık havada depolanmasında bir sakınca yoktur. Klinker ancak ince bir şekilde öğütüldükten sonra bağlayıcılık özelliğini kazanır. Klinkere, çimentonun katılaşma süresini düzenlemek için, az miktarda alçı taşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ilave edilir. Klinker ve alçı taşı çelik bilyalar kullanılarak çalıştırılan öğütücülere sevk edilerek burada öğütülür, ve böylelikle boyutları 90 mikron ile 6,5 mikron arasında değişen çok ince tanelerden ibaret olan çimento elde edilir. (Postacıoğlu, 1987)

Öğütülen çimento silolara götürülür. Burada gerekli süre bekletilerek soğuması ve kararlı bir durum alması sağlanır. Buradan sonra 50 kg.lık torbalarla veya küçük çelik silolarla (dökme çimento halinde) inşaat yerlerine veya piyasaya gönderilir.

Çizelge 2.1 Çimento çeşitleri ve kullanıldıkları yerler

Çimento Çeşidi	Kullanıldığı Yerler
Normal portland	Normal beton ve betonarmede
Yüksek mukavemetli portland	İlk mukavemetin yüksek olması gerekli yapılarda, önemli büyük yapılarda
Hidratasyon ısısı düşük portland	Kütle betonu, baraj gibi işlerde
Sülfata dayanıklı yüksek portland	Sülfatlı zemin, deniz gibi kimyasal etki bulunan yerlerde
Yüksek fırın çimentosu ve traşlı çimento	Sülfat dayanıklılığı yüksek hidratasyon ısısı düşük, su geçirimsizliği az olması istenen betonlarda

2.1.3 Çimentoların genel özellikleri

Çimentodan, her kullanıldığı yerde değişik ve belirli özelliğe sahip olması istenir. Bu özellikleri yerine getirmeyen bir çimentonun o yerde kullanılması, çatlakların

oluşmasına her türlü dış etkilere karşı dayanıklılığın azalmasına, mukavemetin istenilen değerlerin altına düşmesine neden olarak önemli sakıncalı durumlar meydana getirir. Bundan dolayı çimentonun genel özellikleri hakkında açık bilgilere sahip olmamız gerekir.

İşte bir çimentonun özellikle portland çimentosunun hangi tür yapılarda kullanılmaya elverişli olduğu ve hangi hallerde de kullanılmaması gerektiği konularında bu bahiste verilen bilgilerin ışığı altında bir sonuca varılması mümkün olacaktır.

2.1.3.1 Çimentoların inceliği

Fırından çıkan klinkerin öğütülmesi sonunda çimentoyu oluşturan ve boyutları genel olarak 90 mikrondan küçük olan taneler elde edilir. Klinker tanelerinin boyutları ne kadar küçültülüyorsa yani taneler ne kadar inceltiliyorsa, çimentonun inceliği o kadar fazlalaşıyor veya yükseliyor demektir. İncelik bakımından çimentonun bağlayıcılık kabiliyetini artırmaktadır. Birincisi inceliği fazla olan çimentonun agrega tanelerini, inceliği az olandan daha iyi, başka bir deyimle daha devamlı bir şekilde kaplamasıdır. Çimentonun agrega tanelerini devamlı bir şekilde kaplamasıyla bağlayıcı madde ile agrega arasında iyi bir aderans sağlanır ki bu da betonun mukavemetini büyük ölçüde artırır. İkinci etkiye şekli, inceliğin artmasıyla hidrasyon kinetiğinin hızlanmasıdır.

Çimentonun özellikleri üzerine çok büyük etkileri olan inceliğin bir takım karakteristikler yardımıyla belirtilmesi gerekmektedir. Çimentoların inceliği iki karakteristik yardımıyla belirtmek mümkündür. Bunlardan bir tanesi granülometri bileşim; diğeri de özgül alandır.

Çimentonun granülometri bileşimi boyutları belirli sınırların içinde bulunan tanelerin çimento içinde ne miktarda bulunduğunu bize açıklar. Belirli boyuttaki tanelerin özellikler üzerine belirli etkileri bulunduğundan granülometri bileşim bize inceliği en iyi bir şekilde belirten bir karakteristiktir. Örneğin kısa zamanda betonun yüksek bir mukavemete sahip olmasının istendiği ağır prefabrikasyon işlerinde kullanılacak çimentoda boyutları (10-15) μ arasında bulunan taneler önemli miktarda bulunmalıdır. Çimento yol inşaatında kullanılacak ise (20-25) μ boyutunda taneler elde edilecek şekilde öğütülmelidir. Baraj işleri için ise boyutları (25-35) μ arasında olan taneleri

fazla miktarda içeren bir çimentoya gerek vardır. Bu açıklamalardan çimentonun kullanılacağı yere göre belirli bir inceliğe sahip olması gerektiği anlaşılmaktadır.

Çimentonun granülometri bileşimini saptamakta akla gelen ilk metot bu malzemeyi muhtelif eleklerden elemektir. Yalnız çok küçük tanelerin bir takım elektrostatik kuvvetlerle birbirlerini çekmelerinden dolayı bu yönde fazla ileri gitmek kabil olmamaktadır. Bugünkü koşullar altında eleklerle ancak 40 mikrondan büyük tanelerin miktarını saptamak kabil olmaktadır. Böylelikle eleme yolu ile çimento özelliklerine asıl etkileyen 40 mikrondan küçük tanelerin miktarının dağılımı hakkında bir fikir edinilememektedir.

Bir sıvı içinde kendi ağırlığı ile hareket eden ince tanelerin karşılaştığı mukavemeti belirten Stokes kanununa dayanan bir metodun esası kısaca şudur. Gayet az miktarda çimento, bağlayıcı madde ile reaksiyon yapmayan bir sıvı içine konulur ve özel karıştırıcılarla çimentonun homojen bir şekilde dağılması sağlanır. Böyle bir sıvının muhtelif derinliklerinden pipetle alınan numunelerin (S) konsantrasyonları bulunur. Bu değerler sıvının başlangıçta sahip olduğu (S_0) konsantrasyonu ile karşılaştırılır. (S/S_0) oranında ve numunelerin alındığı derinlik değerlerinden belirli boyuttan küçük olan tanelerin miktarının bulunması ile çimentonun granülometri bileşimi saptanmış olur.

Çimentonun inceliği hakkında bize toplu bir şekilde bilgi veren karakteristik özgül alandır. Bu karakteristik ile 1g. çimento içinde bulunan tanelerin cm^2 cinsinden toplam yüzey alanı anlaşılmaktadır. Bir çimentonun özgül alanı ne kadar büyük ise o çimento o kadar ince öğütülmüştür veya boyutları küçük olan taneleri o kadar fazla içermektedir. Özgül alanın fazla olmasıyla su ile temasa geçen çimento tanelerin yüzeyi fazla olmakta ve bu da bağlacı maddenin priz ve sertleşme olaylarına faydalı şekilde etkilemektedir.

Özelliklerle incelik arasındaki bağıntılardan anlaşılmaktadır ki inceliğin artmasının, mukavemetin büyük değerler almasını sağlaması bakımından büyük bir yararı vardır. Buna karşılık incelik artarken rötrenin ve hidratasyon ısının büyük değerler alması çok sakıncalı durumlar meydana getirir. Ayrıca inceliği artırmak için öğütme işini daha fazla sürdürmek gerekmektedir ki bu sarf edilen enerjiden dolayı çimentonun

maliyet bedelini artırır. Bu nedenlerle çimentonun özgül alanının değerleri belirli bir aralık içinde bulunmalıdır. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.3.2 Çimentoların prizi

Priz bağlayıcı maddelerin katılaşması veya plastik deformasyon yapma kabiliyetini kaybetmesi demektir. Priz bakımından bilinmesi gereken iki karakteristik vardır ki bunlardan biri priz başlaması süresi diğeri de priz sona ermesi süresidir.

Belirli bir çimentonun priz süreleri şu faktörlerin etkisi altındadır:

a- Sıcaklık:

Sıcaklık derecesinin artması kimyasal bir reaksiyon olan hidrasyon olayının hızlanmasına neden olduğundan dolayı priz süresini azaltır. Sıcaklığın priz sürelerinde meydana getirdiği değişiklik çimentodan çimentoya değişmektedir.

b- Karışım Suyu Miktarı:

Bağlayıcı madde hamurunda fazla miktarda su kullanmak priz sürelerinin artmasına neden olur.

c- Zaman:

Çimento kullanılmadan evvel uzun süre bekletilmesi prizin geç başlamasına yol açar. Zira çimento fazla bekletilmesi sonunda bir miktar rutubet kapmıştır. Bu rutubet miktarı ateşte kayıpla veya kızdırma kaybı ile orantılı olduğunu deneyler göstermektedir.

Priz başlama süresi bakımından yerine gelmesi gereken koşul, betonyerden çıkan betonun döküleceği yere taşınması, kalıbına dökülmesi ve yerleştirilmesi için geçen toplam zamanın bu süreyi hiçbir vakit aşmamasıdır. Eğer bu toplam zaman priz başlama süresinden fazla olursa, bu durumda yerine yerleştirilmiş betonda bulunan çimentonun bir kısmı priz yapmış olmakla bağlayıcılık özelliğini kaybetmiş olacak ve bu nedenle beton mukavemetinin düşmesine yol açacaktır. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.3.3 Hidratasyon ısısı

Bağlayıcı maddeler priz ve sertleşme esnasında bir miktar ısı açığa çıkarırlar ki buna hidratasyon ısısı denir. Bu ısı doğrudan doğruya çimentoyu oluşturan karmaşık bileşimlerin su ile yapmış oldukları kimyasal reaksiyonda veya hidratasyonda meydana gelmektedir. Hidratasyon olayının uzun sürmesi sonunda ısı da uzun müddet meydana gelmekte veya açığa çıkan ısıнын toplam miktarı senelerce artmakta devam etmektedir.

Priz ve sertleşme esnasında meydana gelen bu ısı sonunda betonun sıcaklık derecesi artar. Bu artış özellikle büyük kütleli beton yapılarda, barajlarda, yollarda büyük beton bloklarda büyük değerler alır. Buna karşılık betonarme yapılarda hidratasyon ısısından dolayı sıcaklık artışı hiçbir vakit önemli bir değere yükselemez. Barajlarda ve benzeri büyük yapılarda sıcaklık derecesinin büyük bir değer almasının başlıca sebeplerinden biri bu yapılarda beton dökümünün hızlı bir şekilde yapılmasıdır. Bu suretle hidratasyon sonunda fazla ısı meydana gelmekte ve yapının hacminin büyük olması dolayısıyla bu ısıнын havaya yayılmaması sıcaklık derecesinin önemli miktarda artmasına sebep olmaktadır.

Bu olay çimentonun varlığından dolayı meydana gelmekte olduğu anlaşılmaktadır. Bu sebeple üretilen betonda çimento miktarı ne kadar fazla ise ısı neticesinde sıcaklıktaki yükselme o kadar fazla olacaktır. Barajlarda çimento dozajı düşüktür, buna karşılık istinat duvarlarında büyüktür. İşte bu sonuçlarda beton hacmi daha küçük olmasına rağmen çimento dozajının yüksek olmasından dolayı bunlardaki sıcaklık yükselmesi, yukarıda verilen değerlerde görüldüğü gibi, barajlarda meydana gelen sıcaklık yükselmesi kadar veya onlardan daha fazla olabilir.

Hidratasyon ısısı miktarı çimentonun muhtelif özelliklerinin önemli derecede etkisi altında bulunmaktadır. Hidratasyon olayının seyrini etkileyen özellikleri biri fiziksel ve diğeri kimyasal olmak üzere iki gruba ayırmak kabildir. Fiziksel özelliklerin başında çimentonun inceliği gelmektedir. İnceliğin artması hidratasyon olayını hızlandırır ve bundan dolayı hidratasyon ısısı büyük değerler alır.

Kimyasal özellikler olarak çimentonun içinde bulunan karmaşık bileşimler hidratasyon ısısı üzerinde gayet önemli bir şekilde etki yapmaktadırlar. Karmaşık bileşimlerden hangisi hızlı bir şekilde hidratasyon yaparsa o fazla miktarda ısı meydana getirmektedir. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.3.4 Çimentoların mekanik mukavemeti

Çimentoların ne şekilde mukavemet kazanmakta olduğu bağlayıcı maddeler teorisinde açıklanmıştır. Bir bağlayıcı maddenin mukavemet kazanması hidratasyon olayını yakından izlemektedir. Zamanın bir fonksiyonu olan hidratasyon olayı hızlı bir şekilde gelişirse çimentonun mukavemeti kısa zamanda büyük değerler alır. Bu durumda çimento mukavemetlerini etkisi altında tutan faktörleri 3 grup altında toplamak mümkündür.

- Zamana ait faktörler
- Çimento özelliklerinin mukavemet üzerine etkileri
- Ortam koşulları ile ilgili faktörler

Kum çakıl ve kırmataş ve çimentodan meydana gelen beton ancak çimentonun bulunmasından dolayı belirli bir mukavemete sahiptir. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.3.5 Çimentonun özelliklerinin mukavemet üzerine etkisi

Çimento özelliklerinin mukavemetler üzerine etkisi, büyük ölçüde bunların hidratasyon olayının hızlı veya yavaş bir şekilde seyir etmeleri ile açıklanabilir. Hidratasyon olayının hızlı bir şekilde gelişmesi halinde çimentonun mukavemeti kısa zamanda büyük değerler alır.

Hidratasyon sinetiğini etkileyen başlıca iki özellik çimentonun inceliği ve karmaşık bileşimlerin miktarıdır. Bu özelliklerinin etkimelerinden dolayı muhtelif cins çimentoların mekanik mukavemetleri birbirinden farklı olduğu gibi aynı tür çimento, örneğin portland çimentoları, mukavemet bakımından büyük ayrılıklar gösterebilir. Kimyasal bileşimin mukavemet üzerine diğer bir etkiye şekil karmaşık bileşimlerin hidratasyon sonunda meydana getirdikleri cisimlerin farklı içyapıya sahip olmasından ve bunların miktarlarının birbirinden fark etmesinden ileri gelmektedir. Çimentonun

mukavemetinin yüksek olması ile beton mukavemetinin büyük değerler alması sağlanır. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.3.6 Ortam koşullarının mukavemet üzerine etkisi

Bir beton üretildikten sonra belirli ortam koşulları içinde tutulmaktadır. Bu ortam koşullarının mukavemet üzerine gayet önemli etkileri vardır. Pratik bakımdan en önemli koşullar ortamın sıcaklık ve rutubet dereceleridir.

Sıcaklığın Etkisi:

Sıcaklık derecesinin artması kimyasal reaksiyonları hızlandırdığı bilinmektedir. Bu genel kanunun bir sonucu olarak sıcaklığın artması ile hidratasyon hızlanır ve bağlayıcı maddenin mukavemeti hızla artar. Buna karşılık sıcaklık derecesinin düşmesi ise mukavemet artışı gayet belirli derecede yavaşlatır.

Özellikle sıcaklığın 5°C 'nin altına düşmesi mukavemetlerin önemli miktarda azalmasına yol açar. Düşük sıcaklık çimentoların en son mukavemetini değiştirmez, yalnız mukavemetin bu değeri alması için geçmesi gereken süreyi önemli derecede uzatır.

Ortam koşullarının diğer bir özelliği de bunların sabit kalmaması yani zamanla değişmesidir. Sıcaklığın her gün aynı değeri almaması betonların mukavemetinin değişmesine sebep olacaktır. Bu konuda yapılan araştırmalar sıcaklık derecesi (-10°C)'in üstünde kaldığı sürece hidratasyonun devam ettiğinin, diğer bir deyişle mukavemet artışının bir duraklama göstermediğini açığa vurmuştur.

Rutubetin Etkisi:

Betonun, üretiminden hemen sonra, içinde bulunduğu havanın rutubet derecesi düşük ise, bu durum buharlaşmayı kolaylaştırdığından suyun beton kütesinden ayrılmasına neden olur. Betonun içindeki suyun azalması sonunda çimento hidratasyon için lazım gelen yeter miktarda suyu bulamaz ve böylelikle bu olay yavaşlar veya duraklar. Bu duruma paralel olarak beton mukavemetindeki artış ya azalır veya tamamen durur. Şu halde havanın rutubetin düşük olması veya havanın kuru olması mukavemet artışı gayet belirli bir derecede azaltmaktadır. Buna karşılık betonun rutubetli yerde

tutulması buharlaşmaya engel olduğundan mukavemetin normal bir şekilde artmasını sağlar. Yapılan bir çok araştırmalar betonun rutubet bakımından saklama koşullarına özen göstermekle mukavemetini iki misli artırmanın kabil olduğunu göstermektedir.

Ortam koşulları olarak, rutubetin bu etkisinden başka, güneş ve rüzgar da mukavemet artışının seyrini belirli derecede değiştirir. Hakikaten güneşin ve rüzgarın varlığı buharlaştırmayı önemli derecede kolaylaştırdığından kuru havanın sebep olduğu zararlı etkiye neden olurlar. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.3.7 Çimentolarda hacim değişikliği ve rötre

Çimento su ile karıştırıldıktan sonra hidrasyon sonunda hidrate elemanların oluşmasıyla çimento hamuru hacminde azalmalar baş gösterir. Priz veya katılaşma başlamadan evvel olan bu olaya büzülme veya plastik rötre denilmektedir.

Katılaşma tamamlandıktan sonra çimentodan meydana getirilmiş bir cismin hacminde bir azalma meydana gelmeye başlamaktadır ki buna büzülme veya rötre diyoruz. Bu prizma şeklinde bir numune düşünülürse her doğrultuda boyutların aynı oranda küçülmesiyle kendini göstermektedir. Bu rötre olayı çimentonun iç yapısı gereği meydana gelmektedir. Olayın başlıca nedeni cismin içindeki suyun bir kısmının cisimden ayrılmasıdır. Rötre tamamen çimentonun neden olduğu bir olaydır.

Hidrasyon yapmakta olan bir çimento hamurunda veya özellikle bir betonda dört türlü boşluk bulunmaktadır. Bunlar; makro boşluk, kılcal boşluk, mikro boşluk, jel boşluğudur.

Böyle bir boşluk yapısına sahip bulunan çimento hamurunda bulunan suyu

- buharlaşmayan su
- buharlaşabilen su

olmak üzere iki gruba ayırmak kabildir. Buharlaşmayan su hidrasyon ürünleri tarafından tutulan sudur. Buna göre hidrasyon sonunda meydana gelen muhtelif hidrate elemanların bileşiminde yer alan, ve serbest kirecin yani Ca(OH)_2 yi meydana getiren su bu gruptandır. Buharlaşabilen su ise çimento hamurunun yukarıda açıklanan boşluklarına yerleşmiştir.

Bu boşlukların durumuna göre buharlaşabilen su üç türde bulunmaktadır.

- Serbest su: Bu çimento hamurunun veya betonun makro boşluklarında yerleşen sudur. Buharlaşma yolu ile kolaylıkla betondan ayrılmaktadır.
- Kılcallık suyu: Bu çimento hamurunun kılcal boşluklarında bulunan sudur.
- Jel suyu: Çimento hamurunun mikro boşluğunda veya jel boşluklarında yer alan su jel suyudur. Bu su jel elemanları tarafından absorbsiyon yolu ile tutulmuş bulunmaktadır.

Rötereyi Etkileyen Faktörler

Çimento ile ilgili faktörlerin en önemlilerinden biri inceliklidir. İnceliğin artması genel olarak çimento hamurunun fazla rötre yapmasına neden olur. Zira inceliğin artmasıyla fazla miktarda çimento taneleri aynı zamanda hidrasyon olayına katılarak önemli miktarda rötreyi meydana getirirler. Bundan başka incelik ile artan su miktarı da rötrenin fazlalaşmasında rol oynar. İnceliği yüksek olmayan çimentolar rötrenin neden olduğu çatlağa karşı dayanıklıdır.

Çimentonun kimyasal bileşiminin rötre üzerinde önemli bir etkisi bulunup bulunmadığı tartışılan bir konudur. Bazılarına göre böyle bir etki pratik yönden mevcut değildir. Çimentonun bazı genişleyici maddeler içerdiği düşünülürse bu görtüşe katılmak mümkün değildir. Çimentoda birleşmiş kireç, MgO ve SO₃ gibi genişletici maddelerin standartlarda belirtilen değerlerin biraz daha üstünde çimentoda bulunması meydana gelen genişmeden dolayı rötreyi önemli derecede azaltabilir. Çimentonun daha az rötre yapması isteniyorsa priz süresini ayarlamak için kullanılan miktardan biraz daha fazla jips de klinkere katılmalıdır. Çimentonun fazla miktarda C₂S'in bulunması rötrenin fazla olmasına yol açabilir. Bir çimentonun rötresi hakkında en iyi fikir doğrudan doğruya bu çimentodan üretilen saf çimento hamuru prizmaları üzerinde rötreyi ölçmekle elde edilir.

Ortam koşullarının çimento ve betonların yaptıkları rötre üzerinde gayet önemli etkileri vardır. Özellikle havanın rutubetinin etkisi büyüktür. Havanın rutubet derecesi ne kadar düşük ise buharlaşma o kadar fazla olmaktadır. Bu da rötrenin büyük değerler almasına yol açmaktadır. Kuru havalarda betonun yaptığı rötre, rutubetli havada oluşan rötreden belirgin bir ölçüde daha büyüktür. Diğer taraftan sıcaklık derecesinin artması da buharlaşmayı arttırdığından rötre bu durumda da büyük

değerler alır. Ortam koşullarının bu tür etkilerinden dolayı rötre deneyleri sabit rutubet ve sabit sıcaklık altında yapılır.

Değişik bir ortam olarak su içinde betonun tutulması halinde bu malzeme şişme şeklinde bir deformasyon yapar. Diğer bir deyimle su içinde tutulan bir betonun boyutlarında bir artış olur.

Rötreyi artıran diğer bir faktör de, buharlaştırması nedeniyle, rüzgardır. Rüzgar ne kadar kuvvetli esiyorsa veya rüzgarın hızı ne kadar büyük ise buharlaşma o kadar fazla olacak ve bunun sonunda da beton o kadar fazla rötre yapacaktır.

Beton bilindiği gibi çimento, su ve agregadan oluşan bir malzemedir. Betonda bulunan malzemeler şu iki bakımdan rötreyi etkilemektedir. Bir kısım agregaların, suyun etkisiyle hacimlerinde değişimler olabilir. Genellikle sülfür ve sülfat içeren pirit, jips kökenli agregalar, mika, dolomit, su karşısında belirgin bir şekilde şişer, içerdikleri suları kaybetmeleri halinde de rötre yaparlar. Tabiatıyla bu tür agregaların beton içinde yer alması betonun rötresini artıracaktır. Beton üretiminde kullanılan diğer bir tür agrega vardır ki, bunların su karşısında hacimlerinde pratik bakımdan bir değişiklik olmaz. Kalker kökenli, kuvarzlı agregalar bu gruba girmektedir. Bunlar betonun rötresi üzerine sahip oldukları elastik ve mekanik özelliklerinin değerlerine göre etki yapar. Rötre olayı esnasında çimento rötre yaparken agrega tanelerinin deformasyon yapmamasından dolayı bu tanelerde basınç gerilmeleri çimento hamurunda veya harçta çekme gerilmeleri oluşur. Başka bir deyişle betonda agregaların bulunması çimento hamurunun rötresini karşı koymakla bu deformasyonu frenlemektedir.

Rötre olayının önemli iki zararlı etkisi bulunduğu anlaşılmaktadır. Bunlarda biri çatlakların vukuu bulması, ikincisi donatıda olduğu gibi parazit gerilmelerin meydana gelmesidir. Çatlakların getirdiği zararları kısaca şu şekilde sıralamak kabildir. Betonun mekanik mukavemetinin, özellikle çekme mukavemetinin azalmasına neden olur. Geçirimliliği artırır. Geçirimliliğin artmasından dolayı her türlü dış etkilere dayanıklılığı azalır. Bu arada donma etkisi sonunda beton büyük ölçüde mukavemetini yitirir. Kimyasal mukavemetinde de betonun önemli bir azalma olur. Geçirimliliğin artması nedeniyle her türlü sular, bu arada yağmur suları betonun içine

girerek beton içindeki donatılarını korozyonuna sebep olur. Donatı yaptığı korozyon sonunda hacminde bir artış meydana gelir. Bu artış sonunda betonarme elemanlarda donatı boyunca veya elemanın eksenine paralel doğrultuda çatlaklar oluşur. Çatlakların bu şekilde artması betonun dış etkilerden daha kolay zarar görmesine yol açar. Bütün bu zararlı etkilerin bir sonucu olarak rötire yapıların dayanıklılığını veya başka bir deyişle doğal ömrünü gayet önemli ölçüde azaltabilmektedir.

Parazit gerilmelerin meydana gelmesiyle basınç etkisi altında bulunan yapı elemanlarındaki donatının emniyet gerilmesini azaltmak gerekmektedir. Bu ise daha fazla miktarda donatı kullanmak demektir. Rötire ön gerilmeli ve bazı önemli betonarme yapıların statik ve mukavemet hesaplarında göz önünde bulundurulmalıdır. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.3.8 Bağlayıcı maddelerin kimyasal mukavemeti

Çimentolar genel olarak iç etkilerden ve dış etkilerden olmak üzere iki değişik şekilde kimyasal mukavemetlerini kaybederek yapıların tehlikeli duruma gelmesine neden olur.

İç etkilerden betonun içinde bulunan maddelerin bağlayıcı madde üzerinde yaptıkları reaksiyonlar sonunda meydana gelen değişimler anlaşılmaktadır. Bu etkilerden dolayı meydana gelen zararlarda ortam koşulları önemli bir rol oynamaz. Dış etkiler sonunda ise, betonun içinde bulunduğu ortamdaki maddelerin çimentodaki elemanlarla yaptıkları reaksiyon ile, çimento kimyasal mukavemetini kısmen veya tamamen kaybeder.

İç etkilerin bir kısmı çimentonun kendisine, bir kısmı beton üretiminde kullanılan suya bir kısmı da agregalara ait bulunmaktadır. Çimentoların içinde bulunan zararlı maddeler doğrudan doğruya hacim sabitliğini bozan maddelerdir, yani sönmemiş kireç CaO , magnezi MgO ve sülfürik asit anidridi SO_3 dür. Bunlar ancak belirli değerden daha fazla miktarda çimento içinde bulunuyorlarsa gayet önemli olan zararlı etkilerini gösterirler. CaO ve MgO ısı ile yaptıkları reaksiyon sonunda önemli bir hacim artması meydana gelir.

Hacim sabitliği özelliği üzerinde zararlı bir etki yapan üçüncü madde de SO_3 dır. Bunun varlığı ileride görülebileceği sülfo alüminat tuzunun meydana gelmesine sebep olur. Karışım suyu olarak genellikle içilebilen ve berrak her su kullanılmaya elverişlidir. Bu su içinde %1'den fazla SO_3 , %3'den fazla tuz bulunması zararlıdır. Ayrıca karışımın suyunda organik madde, koloidal madde bulunmamalıdır.

Agregaların içinde bulunan bazı maddelerin çimento üzerinde zararlı etkileri olabilir. Ayrıca bazı agrega türleri çimentonun belirli sınırların üstünde miktarda içerdıği alkali maddelerle bir reaksiyon (alkali-agrega reaksiyonu) yaparak hacim genişlemesine neden olur.

Aynı bir yapının muhtelif kısımları bilindiği gibi atmosferde, su içinde ve zeminde olmak üzere üç değişik ortamda bulunabilir. Örneğin bir köprünün temelleri zeminle çevrilidir, ayakları su içindedir, ayakların üst kısımları ve tabliye ise atmosfer ortamındadır. Burada en tehlikeli ortamın muhtelif tür sular olduğunu belirtebiliriz. Sular içinde bulunan maddeler muhtelif şekillerde çimentoyu etkileyerek önemli zararlar meydana getirebilir. Normal koşullarda atmosferin sertleşmiş beton üzerinde zararlı bir etkisi yoktur. Buna karşılık havanın fazla sıcak, rutubetli veya yağmurlu olması hallerinde havada bulunan bazı gazlar, hidrojen sülfür ve asit gazları gibi, betonun kimyasal mukavemetini azaltır. Benzer şekilde zeminde çimento için zararlı bulunan tuzlar yer altı suyunun yükselmesi sonunda veya zemine giren yağmur suları ile çözelti haline dönüşerek betonu kısa zamanda tahrip edebilir. Bu itibarla bir beton veya betonarme yapı hangi ortamda bulunursa bulunsun bir dış etkidenden zarar görme olasılığının varlığı daima göz önünde bulundurulmalıdır.

Çimento ile ortamdaki maddeler arasında reaksiyon sonunda meydana gelen ve betonun boşluklarına yerleşen ürünler bir takım tuz kristalleri ve polimer yapılarıdır. Reaksiyonların devam etmesi bu ürünlerin hacimlerinin artması betonda çekme gerilmeleri meydana getirir. Bu gerilmelerin artması ve çekme mukavemetine ulaşmasıyla çatlaklar oluşur. Çatlakların büyüyerek birbiriyle birleşmesi cismin ayrışmasının ve parçalanmasının başlangıcıdır.

Doğada ve pratikte yapıların temas halinde bulunduğu sular saf olmaktan uzaktır. Bu suların betona yapabileceği zararlar bakımından belli başlı karakteristikleri pH değeri,

içerdiği sülfat, muhtelif tuzlar, karbonik asit miktarı gibi değişik maddelerdir. Genellikle asit karakteristiğinde bulunan bütün sular $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yi çözmek suretiyle portland çimentosu ile üretilmiş betonlara etki yapar. Zararlı etki özellikle pH'nı 6,5 değerinin altına düşmesiyle kendini gösterir. pH değeri 7 den büyük olan bazların pratik yönden betonlar için zararlı olmadığını kabul etmek mümkündür. Normal koşullar altında doğadaki suların pH'ı 6,5-8,5 arasında değişmekte olduğundan bu sular genellikle betonlar için tehlikeli değildir. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.4 Çimentoların karmaşık bileşimleri

2.1.4.1 Kalsiyum silikatlar

Çimentoyu meydana getiren elemanlar fırında birbiriyle birleşmek suretiyle karmaşık bileşim denilen cisimler oluşur. Bu karmaşık bileşimlerin en önemlileri silisin kireçle birleşmesiyle meydana gelen kalsiyum silikatlar ile alüminin yine kireçle birleşerek oluşan kalsiyum alüminatlarıdır.

Çimentolarda silisin varlığından dolayı bileşimlerin kristal hal almaları çok yavaş bir şekilde cereyan eder ve bu nedenle elde edilen soğuma eğrileri gerçek durumdan bir miktar fark eder. Bu sakıncasına rağmen silikatların en iyi şekilde incelenmesi yine, metallerde uygulanan, alaşımların denge diyagramları vasıtasıyla yapılır.

Silisin kireç ile birleşmesi sonunda 4 tür kalsiyum silikat meydana gelir. Bunlar kalsiyum monosilikat CS ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ; Trikalsiyum bisilikat C_3S_2 ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$); Bikalsiyum silikat C_2S ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$); Trikalsiyum silikat C_3S ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$). Kalsiyum monosilikat ince bir şekilde öğütülüp su ile karıştırılınca priz yapmaz. Bundan dolayı çimentoculuk bakımından önemli bir cisim değildir.

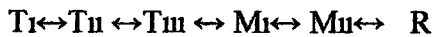
C_3S_2 yuvarlak taneler halinde olup bunun monoklinik bir yapıya sahip olması olasılığı vardır. Bu cisim de priz yapmaması nedeniyle çimentoculuğu ilgilendirmektedir.

C_2S şeklinde gösterilen bikalsiyum silikatın 4 veya 5 allotropik hali bulunur ki bunları şu şekilde göstermek mümkündür:

	Kristal Şekli	Kararlı Durumu	Özgül ağırlığı g/cm ³
C ₂ S α	Hekzogonal	1500°C'nin altında	2,94
C ₂ S α' H	Hekzogonal	1250°C'nin altında	3,11
C ₂ S α' L	Hekzogonal	1000°C'nin altında	3,14
C ₂ S β	Monoklinik	650°C'nin altında	3,20
C ₂ S γ	Ortorombik	20°C'nin altında	2,94

Sıcaklık derecesinin azalmasıyla α silikatı sırasıyla α' H, α' L, β, γ silikatına dönüşmektedir. Burada α'ların kristal yapılarının birbirine çok yakın olduğu, atomların çok küçük hareketleriyle, bir kırılma meydana gelmeden bir halden diğerine iki yönde dönüşüm olduğunu belirtebiliriz. C₂S'm en önemli değişimi β silikatının γ silikatına dönüşüşüdür. Bu tek yönlü bir değişimdir. Başka bir deyişle β, γ haline geçtikten sonar γ'nin β halini alması olanaksızdır. Bu değişme şu bakımdan önemlidir. Yukarıdaki beş tür silikattan yalnız γ silikatının priz yapma özelliği yoktur. Bundan dolayı klinikler içinde γ silikatının fazla miktarda bulunmaması lazım gelmektedir. Bunun sağlanması için başvuru bazı çareler vardır. Bunlardan bir tanesi β silikatının ani şekilde soğutulmasıdır. Bu konuda bir çare ilkel maddeler arasına az miktarda borik oksit (B₂O₃) veya krom oksitin (Cr₂O₃) in karıştırılmasıdır. Bu maddelerin varlığı β silikatının γ silikatına dönmesine büyük ölçüde engel olur. γ silikatı dışında diğer silikat türlerinin priz yapması su ile madde arasında vukuu bulan kimyasal reaksiyon sonunda gerçekleşmektedir. Bu durumun çimentonun özellikleri üzerinde son derece önemli etkileri vardır. Trikalsiyum silikat oda sıcaklığı ile 1100°C arasında 6 değişik alotropik şekilde kristal yapıya sahiptir. Bunları şu dönüşüm denklemiyle göstermek kabildir.

$$600^{\circ}\text{C} \quad 920^{\circ}\text{C} \quad 980^{\circ}\text{C} \quad 990^{\circ}\text{C} \quad 1050^{\circ}\text{C}$$



Burada T ile gösterilen silikatların kristal yapısı Triklirik

Burada M ile gösterilen silikatların kristal yapısı Monoklinik

Burada R ile gösterilen silikatların kristal yapısı Romboedrik'tir.

C_3S meydana geldikten sonra soğumaya bırakılırsa $1050^\circ C$ de Mn silikatı oluşuyor. Sıcaklık derecesinin azalmasıyla yukarıdaki denklemde gösterilen dönüşümler vukuu bulur. Bu dönüşümlerin iki yönde olduğu yine yukarıdaki denklemden görülmektedir. Kristal yapıdaki bu değişiklikler atomların az miktarda hareketi sayesinde gerçekleşmektedir. Son yapılan araştırmalar sayesinde ki C_3S in yukarıda açıklanan değişik 6 alletropik yapıya kesin bir şekilde sahip olduğu anlaşılmıştır.

Trikalsiyum silikatının önemli özelliği priz yapmasıdır. Bu karmaşık bileşimin 6 alletropik hallerinin her biri de su ile hızlı bir şekilde gelişen kimyasal reaksiyon sonunda priz yapar. Alletropik hallerin su ile yaptıkları reaksiyonlarda bazı farklılıklar bulunuyorsa da bu bunların kristal yapılarının değişik olmasından değil de kristal yapısındaki kusurlardan ileri gelmektedir. (Postacioğlu, 1987)

2.1.4.2 Kalsiyum alüminatlar:

Çimento fırınında yüksek sıcaklığın etkisiyle alüminin (Al_2O_3) kireçle (CaO) birleşmesi sonunda bu tür alüminatlar meydana gelir. Yapılan araştırmalar aşağıda isimleri yazılı 4 tür kalsiyum alüminatın meydana geldiğini ortaya koymuştur:

Formülü	Kısa gösteriliş şekli	İsmi
$3CaO.5Al_2O_3$	C_3A_5	Trikalsiyum penta alüminat
$CaO.Al_2O_3$	CA	Monokalsiyum alüminat
$5CaO.3Al_2O_3$	C_5A_3	Pentakalsiyum trialüminat
$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	Trikalsiyum alüminat

C_3A_5 $1450^\circ C$ 'de elde edilir. Su karşısında priz yapma özelliği vardır. Prizi izleyerek meydana gelen cisim yavaş ve devamlı bir şekilde mukavemet kazanır. $CaO.Al_2O_3$ su ile enerjik ve hızlı bir reaksiyon yaparak katılaşır ve kısa zamanda yüksek bir mukavemete sahip olur. Bu alüminle çimentoların en önemli karmaşık bileşimidir.

Portland çimentosunda yer alan bu alüminatın büyük bir reaktivitesi (su ile reaksiyon yapma kabiliyeti) vardır. Bu özellik (Ca-O) bağlantısının düzensizliğinden ileri gelmektedir. Oksijen atomlarının distorsoyonu ve (Ca-O) kısa bağlantılarının varlığı bir takım gerilmeler meydana getirir ki bu sistemin potansiyel enerjisini artırır.

Çözelti haline geçişte bu enerji serbest hale geçmekle hidrasyon hızlı bir şekilde başlar. Hidrasyonun başlamasıyla açığa çıkan fazla miktarda ısı henüz reaksiyona katılmamış olan suyun buharlaşmasına neden olur. Suyun kaybolmasıyla hamur kuru bir hal alır ve reaksiyon için gerekli miktarda suyun bulunmamasından dolayı başlayan priz olayı devam etmez. İşte bu yüzden C_3A nın fazla miktarda portland çimentosunda bulunması bu çimento da sahte priz olayını meydana getirir. Böylelikle su karşısında priz yapmaya başlayan bağlayıcı madde hamuru bir süre sonra katılaştığına yumuşamaya başlar. Bu ve ileriki durumlarda açıklanacağı gibi C_3A nın portland çimentosunda fazla miktarda bulunması bir takım zararlara yol açar. Burada şu da önemlidir ki C_3A nın üç kristal türünden (C türü) diğerlerine göre daha hızlı bir şekilde hidrasyon yapar. Yine bu türde kristal yapılı C_3A yı fazla miktarda içeren bir portland çimentosu deniz suyunun etkisinden daha kolay zarar görür. C_3A nın bir portland çimentosunda belirli bir miktardan fazla bulunması prizin çok erken başlamasına neden olabilir. Sakıncalı olan böyle durumun meydana gelmemesi için fırından çıkan klinlere ağırlığının 2-4 arasında alçı taşı ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ilave edilir ve bununla beraber öğütülür. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.4.3 Diğer karmaşık bileşikler:

Piştirme esnasında iki eleman yerine üç eleman da birbiriyle birleşir. Bu şekilde meydana gelen karmaşık bileşimler arasında çimentoculuk bakımından en önemli olanlar demir oksidin hem alüminle ve hem kireçle birleşmesi sonunda oluşan karmaşık bileşimlerdir.

Muhtelif metotlarla X ışınları, kimyasal ve termik analiz metotları uygulayarak yapılan çalışmalarda Fe_2O_3 , Al_2O_3 ve CaO ile birleşmesi sonunda iki karmaşık bileşimin meydana geldiği anlaşılmıştır.

Formül	Kısa gösteriliş şekli	İsmi
$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF	Tetrakalsiyum ferro alüminat
$6CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_6A_2F	

Genellikle bu karmaşık bileşimlerin hidrasyonu C_4AF in reaksiyonu diğerininkinden daha enerjik olmak üzere C_3A nınkinden daha yavaş bir seyir izler. Bu bakımdan bu

bileşimlerin varlığının sertleşmiş çimentonun mukavemeti üzerinde büyük bir etkisi bulunmadığını belirtebiliriz.

İlkel maddeler arasında genellikle çok az miktarda bulunan alkali maddelerin K_2O ve Na_2O nun çimentonun esas elemanları olan kireç, alümin, veya silisle birleştiği zannedilmektedir. Alkalilerin miktarının belirli bir sınırı aşması halinde bu maddelerin silikat ve alüminatların kristal yapılarında bazı değişiklikler meydana getirmesi olanağı vardır. Yine ilkel elemanlar arasında bulunan MgO veya magnezi pişirilme esnasında başka maddelerle birleşmez. Bu madde çimentoda genel olarak iki şekilde bulunur. Kliniklerin çok yavaş bir şekilde soğutulması halinde MgO kristal haline geçer. Bu durumda magnezinin çimento içinde bulunması önemli hacim artışlarına neden olduğundan dolayı yapılarda bazı yıkılma olayları meydana gelebilir. Diğer taraftan klinkler çok hızlı soğutulduğu vakit MgO amorf bir yapıya sahip olur. Bu takdirde magnezinin çimento içinde bulunması sakıncalı değildir.

2.1.5 Portland çimentosunun iç yapısı:

Birçok kez belirtildiği gibi kalker ve kil portland çimentosunun ilkel elemanlarıdır. Fakat bu iki madde hiçbir vakit saf bir halde doğada bulunmamaktadır. Bunların içinde bulunan esas elemanların dışındaki maddeler de portland çimentosu yer almaktadır. Ülkemizde üretilen portland çimentolarının içindeki elemanların ve bunların çimento içindeki miktarlarının değişme aralığı aşağıdaki Çizelge 2.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Portland Çimentosunun Bileşimi

	Eleman	Çimento içindeki miktarı
CaO	Kireç	%63-67
SiO ₂	Silis	%20,6-24,8
Al ₂ O ₃	Alümin	%4,96-8,99
Fe ₂ O ₃	Demir oksit	%2,09-3,69
MgO	Magnezi	%0,53-2,73
SO ₃		%1,17-2,29
Diğer maddeler		%0,5-2,0

Bu diğer maddeler arasında alkali maddeler, titanoksit, fosfor penta oksit yer almaktadır. Bu maddelerde özellikle alkali maddelerin toplam miktarının $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ toplamı %0,13-0,63 arasında değişmektedir. Türkiye’de üretilen portland çimentoları(TS19)’ a göre kimyasal bileşimi bakımından Çizelge 2.3’de gösterilen koşulları yerine getirilmelidir: (Postacıoğlu, 1987)

Çizelge 2.3 Portland çimentosunda kimyasal özellik bakımından aranılan özellikler

MgO(Magnezi)nin maksimum miktarı	5%
SO_3 nın maksimum miktarı	3%
Kızdırma kaybının maksimum miktarı	4%
Çözünmeyen kalıntının maksimum miktarı	1%
Çözünmeyen Kalıntının(katkılı çimento da) maksimum miktarı	10%

(CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3) birbirlerini etkilemeleri ve bunların dışında yabancı maddelerin bulunması karmaşık bileşimlerin ideal ve teorik durumlardan farklı bir şekilde bulunmasına yol açar. Bu bakımdan gerçek durumun anlaşılması doğrudan kliniklerin incelenmesiyle mümkündür. Bu şekilde ilk çalışmalar 1883 senesinde Le Chatelier tarafından kliniklerin optik mikroskop altında incelenmesiyle başlamıştır. Bu basit araçla yaptığı çalışmalarda Le Chatelier şaşırtıcı bir sezikle silikatların ve alüminatların varlığını ortaya koymuştur. Zamanla gelişme gösteren optik mikroskobun yanında iç yapıyı inceleyen X ışınları difraksiyonu, elektronik mikroskop ve mikrosond gibi yeni metotların ortaya atılmasıyla klinker iç yapısının durumunu daha duyarlı bir şekilde açıklığa kavuşturmak kabil olmuştur. Bu şekilde yapılan çalışmalar LeChatelier ‘in elde ettiği sonuçların büyük ölçüde doğruluğunu ortaya koyduktan başka bize çimentonun yapısı hakkında çok değerli bilgiler vermiştir. Yukarıda adları geçen iç yapıyı inceleme metotlarını uygulamak suretiyle yapılan çalışmalarda portland tipi çimentolarda beş fazın bulunduğu kesinlikle anlaşılmıştır.

a-Alite(alit)	esas trikalsiyum silikat	C_3S
b-Belite(belit)	esas dikalsiyum silikat	C_2S β türü
c-Felite(felit)	esas dikalsiyum silikat	C_2S α türü
d- $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	esas trikalsiyum alüminat	
e-Celite/selit	esas ferretik faz	C_4AF

Bunlardan başka portland çimentosunda %1-2 oranında amorf faz bulunur. Yaklaşık olarak bileşimi $C_3S_{0.97}A_{0.03}$ olan (alite) çimentosunun priz yapmasını ve sertleşmesini sağlamakta en önemli rolü oynar. Bu minerali üstünde az miktarda K_2SO_4 kristalleri bulunduğu gibi bazı belite enklüzyonları da bu faz içinde yer alır. Belite kristalleri yuvarlak, parlak ve taranmış bir yüzeye sahiptir. C_3A kristalleri, başka bir deyişle d fazı ferritik faza girift bir şekilde karışmış durumdadır. Bu iki fazın belirlenmesi ve birbirinden ayırt edilmesi her zaman kolay değildir. Bütün bu fazlar kılcal boşluklu bir yapıya sahip izotropik ve amorf bir ortamla birbirine birleşmişlerdir. Bu kısa açıklamadan klinker içyapısının ne kadar karmaşık olduğu anlaşılmaktadır. a, b, c fazlarının sertliği ve gevrekliği maruz kaldıkları ısı işlemlerden başka kimyasal bileşimine önemli derecede bağlıdır. Burada az miktarda bulunan tali maddelerin önemli bir etkisi bulunduğunu belirtiriz. Zira ana bileşenlerin dışındaki bu maddeler, katı çözeltilerde kristal şebekeyi değiştirmek suretiyle özelliklerde bir takım değişiklikler meydana getirmektedir, d ve e mineralleri a ve b fazlarından daha serttir. Minerallerin sertliklerinin farklı olması öğütme işlemlerini önemli derecede etkiler. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.6 Hidratasyon

Bir çimentoyu su ile karıştırarak elde edilen plastik hamur zamanla katılaşır ve bundan sonra da sertleşir veya mukavemet kazanır. İşte bu olayı açıklamak isteyen teoriye “Bağlayıcı Maddeler Teorisi” denilir.

Çimentonun veya bir bağlayıcı maddenin mukavemet kazanması şu üç olayın:

- Hidratasyon olayının
- Katılaşma olayının
- Sertleşme olayının

birbirini izlemesi sonunda kabil olmaktadır. Bunlardan birincisi çimentoyu oluşturan maddelerin su ile yapmış olduğu kimyasal reaksiyondur. İkincisi priz olayıdır ve bir fiziksel olay karakteristiğine sahiptir. Sertleşme veya mukavemet kazanma ise doğrudan doğruya bir mekanik olaydır.

Çimentoyu oluşturan karmaşık bileşimlerin su ile yaptığı kimyasal reaksiyondan başka bir şey olmayan hidratasyon olayının üç önemli özelliği vardır. Bunlardan

birincisi çimentonun klinker halinde, yani öğütülmemiş iken su karşısında reaksiyon yapmamasıdır. Çimentonun hidratasyon olayını yapabilmesi için gayet ince bir şekilde öğütülmesi (tane boyutunun 20 mikron civarında olması) gereklidir. Bu özellikten dolayı klinkerlerin açık havada bırakılmasında bir sakınca yoktur.

Hidratasyonun ikinci karakteri bu olayın zamanın bir fonksiyonu olmasıdır. Başka bir deyişle çimentodaki karmaşık bileşimlerin su ile yaptıkları kimyasal reaksiyon kısa zamanda sona eren bir reaksiyon değildir, tam bunun aksine senelerce süren bir olaydır. İşte zaman içinde gelişmekte olan bu olaya hidratasyon sinetiği denilmektedir. Bir çok faktörlerin etkisi altında bulunan bu hidratasyon sinetiğinden dolayı sertleşmiş çimento ile ilgili birçok özellikler bu arada özellikle mukavemet geçen zamanla (yani çimentonun su ile karıştırıldığı andan itibaren geçen zamanla) devamlı bir değişme halindedir. Hidratasyon sinetiğinin hızlanması mukavemet artışının hızlanmasına yol açar. Sinetik, bazı nedenlerle yavaşlarsa, mukavemet artışında da aynı yavaşlama olur.

Hidratasyon olayının üçüncü özelliği bunun ekzotermik bir olay olmasıdır. Dışarıya çıkan bu ısı hidratasyonun başında fazla olup zamanla, ısı artış hızı azalarak, artmakta devam eder.

Karmaşık bileşimlerin su ile yaptıkları reaksiyon sonunda hidrate bileşimler meydana gelir. Bu maddelerin özünü belirtmek için suyun hangi türlerde cisim içinde bulunduğunu açıklamakta yarar vardır. Su genellikle cisimlerde genellikle şu şekilde bulunur.

Serbest su: Bir cismin boşluklarında yer almış bulunan su. Cismi kuru bir yerde tutmak veya ısıtmak suretiyle bu suyu buharlaşma yoluyla kolaylıkla ortadan kaldırmak kabidir.

Absorbsiyon suyu: Cisimlerin yüzeyi tarafından Van der Waals kuvvetleri ile tutulan suya verilen isimdir. Bu tür suyun, cismin kimyasal bileşimiyle hiç bir ilgisi yoktur. Kristal yapıya sahip cisimlerin yüzeyindeki suya zeolitik su denir. Gerek bu su, ve gerek kolloidal yapıli cisimlere ait absorbsiyon suyu bazı farklarla aynı karakteristiğe sahiptir.

Hidratasyon veya kristalleşme suyu: Bu haldeki su, cismin yapısında yer almakla beraber, cisim ile su arasında kimyasal bakımdan bir birleşme mevcut değildir. Su moleküllü cismin molekül sisteminde belirli bir şekilde yer almıştır. Herhangi bir şekilde suyun cisimden ayrılmasıyla cismin fiziksel yapısı tamamen bozulur. İşte karmaşık bileşimlerinin su ile yaptıkları reaksiyon sonunda meydana gelen hidrate elemanlarda su bu şekilde bulunur.

Oluşma suyu: Bu halde su artık cisim içinde molekül halinde yani H_2O halinde bulunmuyor. Su tek valanslı, ve negatif elektrik ile yüklü olarak (OH) halinde cisim içinde yer almaktadır. Bu çok hallerde bu oluşma suyunun ayrılması ile cismin yapısı tamamen değişir. Buna en iyi örnek kaolonit'in durumudur. Kaolonitin formülü $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ şeklinde yazılmaktadır. Bu cisim $500^\circ C$ de suyun kaybettiği vakit kaolonit moleküllü ayrışım yaparak alümin ve silis birbirinden ayrılır.

Çimento hamurunda yukarıda açıklandığı gibi dört şekilde bulunan her bir tür suyun miktarı hidratasyon süreci boyunca değişmektedir. Sertleşmenin başlangıcında suyun yaklaşık %50 si Van der Waals kuvvetleri ile çimento partiküllerine tespit edilen absorbe sudur. Çimento hamurun başlangıçtaki mukavemetin elde edilmesi bu absorbe su sayesinde gerçekleşmektedir. Fakat zamanla hidratasyon ilerledikçe absorbe suyun kalınlığı azalır. Su hidratasyon ve oluşma suyu haline dönüşür. Böylelikle hidrate elemanların miktarının artmasıyla mukavemet zamanla da artış gösterir.

Hidratasyon sinetiğinin genellikle şu üç şekilde izlenmesi kabildir.

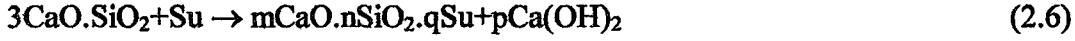
Hidratasyon sonunda silikatların C-S-H sembolü ile gösterilen hidrate elemanlarla serbest kireç veya $Ca(OH)_2$ meydana gelir. Bu reaksiyonların bir sonucu olarak silikatların anhidrit türleri çimento içinde azalır. İşte azalan anhidrit elemanlarının miktarının ölçülmesiyle hidratasyon sinetiği izlenebilir. Çimentonun su ile karşılaşmasından sonra geçen belirli bir zaman sonunda çimentodaki C_3S miktarı ne kadar az ise hidratasyon o kadar ilerlemiş demektir.

Bu konuda uygulanan başka bir metot meydana gelen kireç miktarının saptanmasıdır. Bu miktarın fazla olması hidratasyon olayının ilerlediğini göstermektedir.

Üçüncü metot hidratasyon ısının ölçülmesiyle hidratasyon sinetiğinin izlenmesidir. Hidratasyon ısı hidratasyon devam ettiği sürece artar. Hidratasyon tamamlandınca bu artış sona erer. (Postacioğlu, 1987)

2.1.6.1 Kalsiyum silikatların hidratasyonu:

Trikalsiyum silikatların hidratasyonunu en genel bir şekilde şu denklemle gösterebiliriz:



Bu denklemden anlaşılmaktadır ki C_3S in yaptığı reaksiyon sonunda C-S-H sembolü ile gösterilen kalsiyum silikat hidrate ile serbest kireç denilen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ meydana gelmektedir. Serbest kirecin oluşması, ki bu konuda tam bir kesinlik vardır, şu bakımlardan önemlidir. Bu madde suda çözünebilir bir cisimdir. Bundan dolayı yapı devamlı su içinde bulunuyorsa, buradaki beton $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nın devamlı bir şekilde çözünmesi sonunda gittikçe boşluklu bir hal alacak, ortam koşullarına bağlı uzun veya kısa süren bir müddet sonunda, mukavemetinin büyük ölçüde azalmasıyla yapının emniyeti tehlikeli bir duruma girecektir. Başka bir deyişle $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nın meydana gelmesi betonların kimyasal mukavemetinin veya betonun zararlı ortamlara karşı dayanıklılığının azalmasının, başlıca nedenidir. Serbest kirecin varlığının diğer sakıncası bu maddenin mekanik mukavemetinin veya betonun zararlı ortamlara karşı dayanıklılığının azalmasının, başlıca nedenidir. Serbest kirecin varlığının diğer sakıncası bu maddenin mekanik mukavemetinin düşük olmasıdır. Bundan dolayı $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aynı zamanda çimentonun büyük bir mekanik mukavemet kazanmasına büyük ölçüde engel olur. Çimentonun yüksek bir mukavemete sahip olmasını sağlayan maddeler C-S-H dir, yani kalsiyum silikat hidrateleridir. Bu maddeler suda çözünüyorsa da bu çözünme gayet az miktarda olduğundan bunun pratik bakımdan bir önemi yoktur. Burada şunu belirtelim ki C-S-H'nin bileşimi ve yapısı üzerinde pek çok sayıda araştırmalar yapılmışsa da bu tür cisimleri tanımlamak henüz kabil olmamıştır. Özellikle (2.6) denkleminde yer alan, ve bir çok faktörlere bağlı olan m, n, q, p sayılarının değerleri kesin bir şekilde bulunamamıştır.

Trikalsiyum silikatın yukarıda yazılı reaksiyonunun kısmen gerçekleşmesi sonunda meydana gelen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sonradan suda çözünür. Bu suretle (2.6) reaksiyonu içinde

bir miktar CaO bulunan su karşısında vukuu bulmaya devam eder. Burada $\text{CaO.SiO}_2.\text{H}_2\text{O}$ sisteminin denge durumu bahis konusu olabilir.

Reaksiyon sonunda meydana gelen hidrate bileşimde (kireç/silis) oranı, su içinde bulunan CaO miktarı ile değişmektedir. 1 lt. suda CaO miktarı 0,05 mg ile 0,20 mg arasında bulunuyorsa (CaO/SiO_2) oranı 1-1,5 arasında kalmaktadır. Bu durumda kalsiyum silikat hidratenin bileşimi



arasında değişmektedir. X ışınlarını uygulayarak bu sonuca varan Taylor hidratasyon sonunda meydana gelen ve bileşimi yukarıda formüller arasında bulunan cisimler I no.lu Ca. silikat hidrate ismini vermiş ve bunu C-S-H I göstermiştir. Su içindeki CaO miktarının litrede 0,20 mg ile doymuş durum arasında bulunması halinde ise (CaO/SiO_2) oranı 2'ye yükselir ve bu durumda



bileşimine sahip II no.lu Ca. silikat hidrate veya C-S-H II elde edilir. Ca. silikatların yapısında yer alan su miktarları üzerinde de önemli araştırmalar yapılmıştır. Sonuçta bazı faktörlere bağlı olarak C-S-H-I de su miktarının 1 ile 3 arasında değişebileceği, buna karşılık C-S-H II de su miktarının 2 olabileceği anlaşılmıştır. Bikalsiyum silikatın hidratasyonunun C_3S 'in hidratasyonundan farklı olmadığını ve kimyasal reaksiyonlar aynı ürünlerin elde edildiğini araştırmalar göstermektedir. Bu açıklamalardan sonra gerek C_3S 'in ve gerek C_2S 'in su ile yaptıkları reaksiyonların aşağıdaki gibi olabileceği anlaşılmaktadır.

Trikalsiyum silikatın reaksiyonları;



Bikalsiyum silikatın reaksiyonları;



C_3S ve C_2S 'in hidratasyonları sonunda aynı maddeler elde edilmesine rağmen bu iki maddenin su ile yaptıkları reaksiyonda bazı farkların bulunduğu yukarıda denklemlerin karşılaştırılmasından kolaylıkla görülmektedir. Bunlardan birincisi C_3S in hidratasyonunda daha fazla miktarda kireç meydana gelmiş olmasıdır. İkinci fark C_3S in reaksiyonu için bir miktar daha fazla suya gerek bulunmasıdır. Yukarıdaki reaksiyonlarda görülmeyen üçüncü fark C_3S 'in çok daha büyük bir reaksiyon hızı ile reaksiyon yapmasıdır. Hidratasyonun başında belirli bir süre sonunda C_3S ın reaksiyonu sonunda meydana C-S-H miktarı, aynı sürede C_2S 'in meydana getirdiği (C-S-H) dan, bir merteye vermek isteniyorsa, 5-6 katı kadar, çok daha fazladır. İki tür kalsiyum silikatın reaksiyonlarında bu farklı durumların olması çimentoların muhtelif özelliklerinin bu silikatların miktarına bağlı bulunarak değişmesine yol açmaktadır.

X ışınlarıyla ve elektronik mikroskop ile yapılan incelemeler sonunda (C-S-H) ın yapısını incelemek kabil olmuştur. Bu alanda yapılan en son çalışmalara göre CSH elemanları iyi bir şekilde kristalleşmemiş, hatta pratik bakımdan amorf yapıya yaklaşan bir yapıya sahip bulunmaktadır. Bu elemanlar genellikle lif ve ince levha veya yaprak halinde olmak üzere iki değişik şekle sahiptir. Gerek lif şeklinde olanlar ve gerek yaprak türünde bulunanlar fazla boşluk içermekte olduğundan fazla suya düşkündür. Suların kaybetmesi halinde mukavemetlerinde bir azalma olur, fakat tekrar suya kavuşunca mukavemetini yeniden kazanır. Bu bakımdan sellüloza benzeyen bir durumları vardır. Kalsiyum silikatların hidrate elemanları meydana gelirken, $Ca(OH)_2$ hekzagonal kristal şeklinde oluşarak hidrate elemanlar arasında köprüler kurar. C-S-H elemanlarının zamanla artması sonunda lifler ve levhalar büyütür birbiri içine girerek ve birbiriyle kaynaşarak çimentonun mukavemetinin zamanla artmasını sağlar. Burada ayrıca, elektronik mikroskopta son zamanlarda yapılan çalışmalara dayanarak, elektronik mikroskopta son zamanlarda yapılan çalışmalara dayanarak, şunu belirtelim ki C-S-H I daha ziyade yapraklar halinde, buna mukabil C-S-H II lif halinde bulunmaktadır. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.6.2 Kalsiyum alüminatların hidratasyonu:

Çimentoya jips katılmadığı vakit trikalsiyum alüminat gayet hızlı bir şekilde hidratasyon yaparak daha ilk dakikalarda küçük plaklar şeklinde kristalleri meydana getirmek suretiyle priz yapar. Büyük bir ısınn açığa çıkmasıyla vukuu bulan bu olaya

ani priz denir. Çimentoların kısa bir zaman içinde priz yapmalarının bir çok sakıncası olduğundan böyle bir durumun önlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla çimentoya bir miktar jips veya alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) karıştırılarak prizin en az çimentonun su ile karşılaştığı andan itibaren bir saati aşan bir süre içinde başlaması sağlanır. Uygun miktarda jips kullanıldığı takdirde alüminatların yüzeyinde ince iğneler şeklinde ettringite kristalleri meydana gelir. Bu kristaller o kadar incedir ki hidratasyon sinetiğinin uyuyan devresinde bunlar rijit bir yapı meydana getiremediğinden dolayı priz olayı gerçekleşmez. Fakat uyuyan devrenin sonuna doğru bu iğne şeklinde kristallerin büyümesi ve çoğalması sonunda taneler arasında bağların oluşmasıyla priz olayı başlar. Bu olayın bu şekilde gelişebilmesi için belirli bir miktar sülfatın bulunması gerekmektedir ki bunu katılan jips sağlamaktadır. Sülfatın yeterli miktarda olmaması haline ettringite kristalleri yerine monosülfat alüminatlar meydana gelir ki bu da çabuk prize neden olur. Burada şunu belirtelim ki sülfatın çözünme sinetiği çok önemlidir. Eğer çözünme fazla ise, başlangıç devresinde oluşan jips plakeleri taneleri bloke ederek priz olayını meydana getirir. Jips miktarının az olması halinde bu miktar alüminatların ilk reaksiyonlarına karışır ve suretle priz kaybolur ki bu sahte veya yalancı priz olayından başka birşey değildir. Bunun aksine, jips yeterli miktarda alüminatların reaksiyonlarında tükenmediğinden dolayı, priz olayı başlar ve gelişmekte devam ederek normal bir süre sonunda sona erer. Burada ilginç olan husus sülfatların, priz olayının gelişmesinde büyük bir rolü varolmasına rağmen, alüminatların hidratasyon sinetiği üzerinde bir etkisi bulunmamasıdır. Halbuki böyle bir etki kalsiyum silikatlar üzerinde vardır. Sülfat miktarının bulunması kalsiyum silikatların hidratasyon reaksiyonunu hızlandırmaktadır.

Yukarıdaki açıklamadan portland klinkerinde bulunan C_3A hidratasyonunun iki şekilde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Birisi C_3A nın yalnız başına diğeri alçı taşı ile birlikte yapmış olduğu reaksiyondur. C_3A nın yalnız olarak su ile yaptığı reaksiyon sonunda $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ hidrate elemanı veya C_3AH_6 meydana gelir. Bu reaksiyon çok hızlıdır. O kadar ki C_3A anhidratının şekilsiz kristalleri üç gün içinde C_3AH_6 nin kübik şeklindeki kristallerine büyük ölçüde dönüşmüş durumdadır. 28 gün sonunda ise bu dönüşüm tamamlanmıştır. Diğer taraftan jipsin fazla miktarda çözünme kabiliyeti olması nedeni ile C_3A , (CaSO_4) ile birleşerek kalsiyum süfoalüminatları meydana getirir. Genellikle birisi yüksek sülfatlı, diğeri düşük sülfatlı olmak üzere iki tür sülfö-alüminat oluşur.

- $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{CaSO}_4.31\text{su}$ yüksek sülfatlı – ettringite mineral

(uzun elemanlar halinde yoğun ve düzensiz bir durumda)

- $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{CaSO}_4.12\text{su}$ düşük sülfatlı – küçük çubuklar halinde.

Bu sülfaloalüminatların büyük bir kısmı, hemen hemen tamamı çimentonun katılaşma süresi içinde meydana gelir. Katılaştıktan sonra çimento sülfatlı bir çözelti içinde bulunuyorsa C_3AH_6 sülfatlarla birleşerek yukarıdaki bileşimi veren sülfaloalüminatlar meydana gelir. Bunlardan yüksek sülfatlı olanı Candlot tuzu adıyla bilinen $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{CaSO}_4$ sülfaloalüminatının meydana gelişi yapısında 31 mol. su bulunduğundan önemli bir hacim artmasına yol açar. Bu olay sertleşmiş çimentoda veya betonda gerçekleştiğinden Candlot tuzunun meydana gelmesiyle oluşan hacim artması betonu çok kısa bir zaman içinde tahrip edebilir. Bundan dolayı herhangi bir su ile temas halinde bulunan betonlarda sülfatların böyle bir zararlı etki yapabileceği gözönünde tutulmalı ve bununla ilgili önlemler alınmalıdır. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.6.3 Tetrakalsiyum alümina ferrit hidratasyonu:

Tetrakalsiyum alümina ferrit'in hidratasyonu, hidratasyon hızı daha küçük olmak üzere, C_3A nın hidratasyonu gibidir. Hidratasyon reaksiyonu sonunda alçı miktarının belirli miktarın altında olmaması halinde sülfoferrit'ler elde edilir. Bunlar sülfaloalüminatlarda alümin yerine Fe_2O_3 in konulmasıyla elde edilen cisimlerdir. Ayrıca jipsin az miktarda bulunması halinde C_4AF 'in hidratasyonu sonunda

$3\text{CaO}.\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaO}.\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{H}_2\text{O}$, $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{H}_2\text{O}$

gibi hydrate bileşimlerin meydana gelme olasılığı da vardır.

Yukarıda portland çimentosunu oluşturan karmaşık bileşimlerin, birbirinden bağımsız olarak hidratasyonunu inceledik. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda daha çok Le Chatelier'nin karmaşık bileşimlerin hidratasyon sırasında birbirlerini etkilemediği görüşü benimsenmiştir. Halbuki karmaşık bileşimler portland çimentosunda yanyana hatta içiçe bulunmaktadır. Bu itibarla bunların birbirlerini etkilemeleri beklenmelidir. Yalnız biraz evvel yapılan açıklamalarda her bir karmaşık bileşimin hidratasyonunun nasıl cereyan ettiği bile henüz kesin bir şekilde anlaşılmamıştır. Buradan bunları birbirlerini etkilemelerini açığa çıkarmanın ne kadar zor bir iş olduğu herhalde kolaylıkla anlaşılır. Böyle olmakla beraber son senelerde Yapılan çalışmalarda karmaşık bileşimlerin ayrı ayrı hidratasyonları inceleneceği yerde doğrudan doğruya portland çimentosunun hidratasyonu ele alınmaktadır. Bu şekilde yapılan çalışmalara

örnek olarak şunu verebiliriz: Priz olayı esnasında ilk hidrate elemanlar alüminatlar tarafından meydana getirilmektedir. Bunların yapısı ince bir ağ oluşturmaktadır ki buradaki boşluklar yavaş yavaş kalsiyum silikat hidrate'ler tarafından doldurulmaktadır. Bu ağ ne kadar yoğun ise bu doldurma işi o kadar etkili olacak ve bunun sonunda sertleşme hızlı bir seyirle gelişebilecektir. Bu açıklamadan portland çimentolarında belirli miktar C_3A nın bulunması gerektiği açıkça anlaşılmaktadır. Başka bir deyimle C_3A yı içermeyen bir portland çimentosu düşünülemez.

2.1.6.4 Hidratasyon ürünleri

Özetlenecek olursa hidratasyon olayı ürünü olarak elde edilen belli başlı maddeler şunlardır:

Gerek C_3S ve gerek C_2S in hidratasyonu sonunda $C-S-H$ sembolü ile gösterilen kalsiyum silikat hidrateler oluşur. Hidratasyonun başında $C-S-H$ I ve $C-S-H-II$ sembolleriyle gösterilen iki tür hidrate eleman meydana gelir.

$C-S-H$ I genellikle az kristalleşmiş veya tel yapısında bükülmüş çok ince levhalar halindedir. Bunlarda CaO/SiO_2 oranı 0,8–1,5 arasında değişmektedir. $C-S-H-II$ ise doğrusal olmayan ince liflerden oluşmaktadır. Liflerin muhtelif doğrultuda olması $C-S-H-II$ ' ye bir arı peteği dokusunu kazandırır. Bu elemanların uzunlukları 1000 Å ye ulaşabilirken kalınlıkları veya çapları, çok küçük değerler almaktadır. Hidratasyonun sonuna doğru ise yukarıdaki hidrate elemanlardan farklı olan tanelerden oluşan $C-S-H$ III ile yoğun görüntüye sahip olan $C-S-H$ IV meydana gelir.

C_3A nın hidratasyonunda SO_3 hidratasyon sinetiğine etkilememekle beraber büyük bir rol oynamaktadır. SO_3 , çimento üretiminde kullanılan ilkel maddeler içinde bulunabileceği gibi asıl priz olayını düzenlemek için katılan alçı taşı yolu ile de çimento içinde yer alır. (SO_3) ün yeter miktarda olması halinde; $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$ formülü ile bilinen iğne şeklinde ettringite kristalleri oluşmaktadır. Bunların boyu, SO_3 fazla miktarda olması halinde 10^4 Å kadardır. SO_3 bulunmaması ve çok az bulunması durumunda C_3A nın hidratasyonunda, ettringite meydana gelmeyip C_4AH_{13} veya $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O$ formülüne sahip bir kalsiyum alüminat hidrate elde edilir. Hekzogonal yassı plaklar halinde bulunan bu eleman zamanla kararlı durum olan $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ 'ya dönüşür.

(2.7–2.10) denklemlerinde görüldüğü gibi C_3S ve C_2S hidratasyonu sonunda meydana gelen $Ca(OH)_2$ veya portlandit hekzogonal, kristallerden oluşmakta olup yığınlar halinde hidrate elemanların arasındaki boşlukları doldurur.

Hidratasyonunu tamamlamış, boşluklar dışındaki çimento hamuru hacminin % 58'i (C–S–H) den , %27'si $Ca(OH)_2$ veya portlandit'den, %15'i diğer hidrate elemanlardan meydana gelmektedir. Bu sonuçlara göre hidratasyonunu hemen hemen tamamlamış bir çimento hamuru C–S–H ile portlandit'den oluşan bir matris ile bunun içinde enklüzyonlar gibi yer alan diğer hidrate elemanlardan oluşmaktadır. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.7 Katılaşma olayı:

Hidratasyon olayının gelişerek belirli bir aşamaya ulaşması sonunda bağlayıcı madde hamurunun plastiklik özelliğinde önemli bir ayrışma ve viskozitesinde belirli bir artış meydana gelir ki buna priz başlanması diyoruz. Olayın devam etmesi sonunda hamurun plastikliğini tamamen kaybetmesi ile çimento hamuru katılaşmış veya prizini yapmıştır.

Priz çimentoyu oluşturan karmaşık bileşimlerinin ve özellikle C_3S in çözünmesiyle başlar. Bu olay sonunda oluşan iyonlar hareket ederek çimento tanelerinin üzerine yerleşir. Çözelti doygun hale gelince meydana gelen çökme sonunda bu iyonlar karmaşık bileşimlerinin hidrate elemanlarını oluşturur. Bu çökme ile çimento tanesi üzerinde bir iç tabaka meydana gelmiştir. Çökme olmasıyla çözelti doygun halden çıkar ve bundan dolayı yine bir çözünme olayı gerçekleşir. Çözeltinin tekrar doygun hal almasıyla oluşan çökme olayı iç tabakanın üstünde bir dış tabakayı oluşturur. Birkaç aylık çimento hamurlarında bu iki tabakayı fiziksel yönden birbirinden ayırmak kabildir. Buna karşılık 20 seneyi aşan çimento hamurlarında bu iki tabaka birbirinden ayırt edilemez. Yukarıda açıklanan çözünme ve çökme olaylarının birbirini izlemesi sonunda oluşan hidrate elemanlar taneleri köprü şeklinde birbirine bağlayarak hamurun plastiklik özelliğinde bir azalma meydana getirir ve bu şekilde priz başlamış olur. Çözünme ve çökme olaylarının devam etmesi sonunda da katılaşma gerçekleşir. Bu teori ilk defa 190 senelerinde Le Chatelier tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra elektronik mikroskopla yapılan incelemeler sonunda elde edilen

bulguların büyük ölçüde bu teoriyi destekledikleri anlaşılmıştır. Burada şunu da belirtelim ki yalnız C_3S portland çimentosunun hidratasyonunu sağlamamakta, ayrıca C_3A da bu olayı karıştırmaktadır. Bu iki karmaşık bileşim aralarında kimyasal ve termik (couplage) lar oluşmasıyla birbirlerini etkilemektedir. (Postacıoğlu, 1987)

2.1.8 Sertleşme olayı:

Hidratasyon ve onu izleyen katılaşma olayı sonunda sertleşmekte olan çimento hamurunun iç yapısı, bu konuda değişik türde elektronik mikroskoplarla yapılan incelemeler sonunda şu şekilde belirlenmiştir. Bu yapıda evvela hidratasyon sonunda meydana gelen hidrate elemanlar yer almaktadır. Bunlar gelişmesini tamamlamamış ve bu nedenle düzenli bir kristal yapıya kavuşamamıştır. Bu bakımdan bu hidrate elemanlar içyapısı jel ile kristal yapı arasında olan kristalit denilen yeni bir iç yapı türü oluşmaktadır. Bilindiği gibi hidratasyon ürünü olarak bir de hegzogonal kristal şekline serbest kireç veya portlandit elemanları vardır. Hidratasyon sonunda meydana gelen bütün bu cisimler aralarında muhtelif türde boşluk bırakarak biraraya gelmiş durumdadır. Başka bir deyişle sertleşmiş çimento hamurunun gayet belirgin boşluklu bir içyapısı vardır. (Postacıoğlu, 1987)

Çimento hamurundaki boşlukları boyut bakımından şu şekilde sınıflandırmak kabildir:

Makro boşluk : Bu tür boşlukların boyutları 10^4 Å den büyüktür.

Kılcal boşluk : Bu gruptaki boşlukların boyutları $(10^4 - 10^2)$ Å arasında kalmaktadır.

Mikro boşluk : Burada boşlukların boyutları $(10^3 - 10^2)$ arasında kalmaktadır.

Jel boşlukları : Bu boşluklarda boyutlar 10^2 Å'den küçüktür.

2.2 Agregalar

Mineral malzeme, ocak işletilmek suretile doğrudan tabiattan elde edilir. Kırma, öğütme, yıkama ve eleme gibi bir takım işlemlere tabi tutulduktan sonra veya doğrudan kullanılır.

Ocaklardan blok halinde taş çıkarmak için çelik kama ve balyozlar, küsküler, manivelalar ve basınçlı hava çekiçleri kullanılır. Volkanik ve Metamorfik taşları

genellikle iyi yapı malzemeleridir. Tortul taşların kalitesi çok değişkendir, ancak sert ve yoğun olanları yapıda kullanılır. Tortul taşlar diğerlerine göre tercih edilir, çünkü işlenmeleri kolaydır. Parçalanmış taş elde edilmek isteniyorsa kayada açılan deliklere dinamit ve fitil koyup ateşleyerek kayayı parçalamaktır. Bu şekilde irili ufaklı parçalar elde edilir. Büyüklerine moloz taşı, ve ufaklarına da blokaj taşı veya balast adı verilir. Ocaklardan çıkan parçalar konkasörlerde daha küçük parçalara kırılarak ve elenip büyüklüklerine göre numaralandırılarak kırma taşlar(mıcır), ve değirmenlerde öğütülerek taş unları(filller) elde edilir. Tabii çakılı olmayan yerlerde kırmalaş beton agregası olarak da kullanılmaktadır.

Kum çakıl Ocakları:

Kum ve çakıl, nehir teraslarından, sel yataklarından, buzul yataklarından, ya da eski jeolojik devirlerde bu şekilde olup üstü örtülmüş yerlerde açılan ocaklardan çıkarılır. Çıkan malzeme olduğu gibi kullanılıyorsa tuvönan, elenip yıkandıktan sonra kullanılıyorsa, sınıflanmış denir. Malzemenin çıkarılma işlemi ekskavatörlerle, taşıma damperli taşıtlar veya bantlar ile, sınıflandırma eleklerle ve depolama işlemi silolarda yapılır.

Ocaklardan çıkan kum, çakıl ekseriyetle kil ve toprak ihtiva ettiğinden yıkayıp temizlenmesi gerekir.

Çizelge 2.4 Tane Büyüklüklerine Göre Agregası Çeşitleri

Agregası Çeşidi	Tane Çapı ,mm	Kullanıldığı Yer
<i>Tabii Malzeme</i>		
Perdah kumu	0-1	İnce Sıvada
İnce kum	0-3	Sıva,Harç ve Betonda
Kaba kum	3-8	Harç ve Betonda
Karışık Kum	0-8	Harç ve Betonda
Çakıl	7-30, 7-70	Betonda
Kumlu Çakıl	0-30, 0-70	Betonda
<i>Kırma Malzeme</i>		
Filler	0-0,1	Bitümlü karışımda
Mıcır No 1	0-7	Bitümlü karışımda
Mıcır No 2	7-30	Bitümlü karış. ve betonda
Mıcır No 3	15-30	Bitümlü karış.ve betonda

Toprağı meydana getiren maddeler çeşitli oldukları için, en basit şekilde tane büyüklüklerine göre gruplandırılmaktadır.

Çizelge 2.5 Tane Büyüklüklerine Göre Gruplandırma

Tane büyüklüğü, mm	Toprak çeşidi
< 0,002	Kil
0,002 – 0,05	Silt
>0,05	Kum

Killer, tabii taşların içindeki feldspat, mika, v.s. gibi bazı minerallerin su ve hava etkisi ile, zamanla ayrışmasından doğmuş, ve kimyasal bileşimi bakımından $mAl_2O_3.nSiO_2.pH_2O$ genel formülü ile ifade edilebilen bir mineral grubudur. En basit kil çeşidi kaolinitir. Kaolinitin kimyasal formülü $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ dur.

1 mikron boyutunda hekzagonal plakçıklar şeklindedir. Diğer kil çeşitlerinin gerek kimyasal formülleri, gerekse kristal yapıları daha karışıktır. Fakat hepsinde ortak olan şey, tane boyutları ve budan doğan özelliklerdir. Kil gurubunun en önemli özelliği ıslandığı vakit yumuşak kıvamda olması, yani şekil alabilmesi, kuruduğu vakit şeklini muhafaza etmesi ve pişirildiği vakit sertleşerek mukavemet ve dayanıklılık kazanmasıdır. Toprak içinde kilden sonra gelen silt gurubu, kile yakın boyutta olmakla beraber özellikleri farklıdır. Bilhassa kuru halde kil gibi katılaşmamaları, toz olmaları bunları ayırır. Toprakta kum taneleri kil tarafından sarılmış vaziyettedir. Bunlar iri boyutları ile toprağın iskeletini teşkil ederler, kilde bağlayıcı maddesini. Böylece toprağa bir nevi harç veya beton gibi bakabiliriz.

Toprağın ıslak veya kuru haldeki durumları kil:kum oranına bağlıdır. Fazla kil ihtiva eden topraklar, kuru ve yaş durumlar arasında büyük hacim değişiklikleri gösterirler ve kuruyunca çatırlar. Kum taneleri ise topraktaki değişikliklerini önlerler, dayanıklılık ve stabilite temin ederler. (Kocataşkın, 1966)

2.2.1 Agregaların Granülometri Bileşimi

Agregayı oluşturan taneler muhtelif boyuttadır. Fakat aynı bir agrega numunesinde belirli büyüklükteki taneler daima belirli miktarlarda bulunur. İşte granülometri

bileşim bize boyutları belirli limitler arasında bulunan tanelerin ne miktarda agregada içinde bulunduğunu açıklar.

Granülometri deneyi kum ve iri agregalar için uygulanır. Bu deneyin amacı agregaların granülometri bileşiminin saptanması. Agregaların granülometri bileşimleri, kum ve iri agregada karışımlarının TS 706 da verilen granülometri sınır arasına girebilmeyi sağlayacak şekilde olmalıdır.

Kumun granülometri bileşimi ile kökeni arasında bir bağıntı kurmakta mümkündür.

Agregaların inceliği arttıkça, agregada küçük boyutlu tanelerin miktarı fazlalaştıkça gerekli su miktarında artış meydana gelir. Buna karşılık agreganın irileşmesi ise su miktarının azalmasına yol açmaktadır. Buradan şu sonuca varılır: Kumları ıslatmak için gerekli su miktarı iri agregayı ıslatmak için lüzumlu su miktarından daima fazladır.

Birim hacim dolduran agregada tanelerinin işgal ettikleri hacimlerin toplamı bize kompasite değerini verir. Bir çakıl numunesinin kompasitesinin 0,65 olması demek, 1m^3 hacmi dolduran bu agregada tanelerinin işgal ettikleri hacim toplamının 650 dm^3 eşit olması demektir. Bu numunede taneler arasında kalan boşluk hacimlerinin toplamı 350 dm^3 demektir. Agreganın kompasitesinin düşük olması o malzeme ile üretilen beton mukavemetinin de düşük olmasına yol açar.

Betonun işlenebilme özelliğine sahip olabilmesi için agregaların 0,25 mm den küçük tanelerin bulunması gereklidir. Çimento dozajının yüksek olması durumunda agregaların bu özelliği yerine getirmesi gerekmemektedir.

Agregada granülometri bileşimi bakımından bazı koşulları yerine getirdiği takdirde agregada az miktarda suya ihtiyaç gösterecek, agreganın kompasitesi yüksek olacak, harcın istenilen işlenebilme özelliğine sahip olması sağlanacaktır. (Postacıoğlu, 1987)

2.2.2 Agregada tanelerinin şekil ve biçimlerinin etkisi

Agreganın kompasitesinin düşük olması o malzeme ile üretilen beton mukavemetinin de düşük olmasına yol açar. Fakat kırmataş halinde tanelerin yüzeylerinin pürüzlü olması bunlarla çimento hamuru arasında kuvvetli bir aderans meydana gelmesine

neden olur. Bundan dolayı kırmataş ile üretilen betonların mukavemetinde bir azalma değil bir çok halde bir artış meydana gelir. En uygun biçimli agregalar taneleri küre ve küp şekline mümkün olduğunca yakın olanlardır. Agregalar tanesi ile çimento hamuru arasındaki aderansa iyi yönden en kuvvetli şekilde etki yapan tanelerin yüzey pürüzlülüğüdür. Pürüzlülük büyük ise çimento hamuru ile agregalar arasında geniş bir temas yüzeyi sağlar. (Postacıoğlu, 1987)

2.2.3 Agregaların porozitesi

Porozite, boşluk hacminin toprak kütlelerinin toplam hacmine olan yüzde oranıdır. Hava ve su boşluklarından meydana gelmektedir. İri agregaların porozitesinin küçük olması bu tanelerin mukavemetlerinin yüksek olmasına sebep olabilir. Beton üretiminde kullanılacak olan agregaların porozitesinin belirli değerlerin üstünde olmaması gerekir.

Fransız standartlarına göre $p: \%10$ altında olması gerekir. Yüksek mukavemetli beton üretiminde $\%5$ değerini aşmamalıdır. (Postacıoğlu, 1987)

2.2.4 Agreganın donmaya karşı dayanıklılığı

Agrega birkaç defa Na_2SO_4 çözeltisi içinde bırakılmaktadır. Agregalar tanesi içine giren Na_2SO_4 çözeltisi, buradan çıkarılan ve havada bir süre tutulan tane içinde sodyum sülfat kristallerinin oluşmasına neden olur. Bunların oluşması suyun donmasında olduğu gibi bir hacim artmasına sebep olur. Taneler dayanıklı değilse hacim artması sonucunda parçalanırlar. (Postacıoğlu, 1987)

2.2.5 Agregaların basınç mukavemetleri

Çelik bir silindir içine bir miktar D/d_o iri agregası yerleştirilir. Bu agregalar üzerine belirli bir basınç uygulanır. Kuvvet uygulandıktan sonra agregalar d_o eleğinden elenir. Bu elekten fazla miktarda tanenin geçmesi çakıl tanelerinin mukavemetinin küçük olduğunu gösterir.

Agregaların aşınma miktarı ne kadar az ise bununla üretilen betonların basınç ve eğilme mukavemetleri o kadar yüksek değer alır.

Basınç mukavemetinin porozite ile yakın ilişkisi vardır. Porozite ne kadar düşük ise agreganın mukavemeti o kadar yüksek olması gerekir. (Postacıoğlu, 1987)

2.2.6 Agregalarda organik maddelerin etkisi

Organik maddelerin çimentoların prizi ve sertleşmesi üzerinde zararlı etkileri vardır. Bu zararlı etki iki nedene dayanmaktadır. Birisi organik maddelerin bir kısmının hidrofob olması diğeri organik maddelerin bazıları çözünmeyerek çimentoda hidrate kristallerin oluşmasını önlemesidir. Agregada organik maddelerin fazla miktarda bulunması bunlarla üretilen betonların mukavemetlerinin azalmasına ve bazende çimentonun priz yapmamasına neden olabilir. Sülfatların agregalar içinde bulunması bu maddenin çimento ile sulfoalüminat denilen genişleyen bir tuzun oluşmasından dolayı zararlıdır. (Postacıoğlu, 1987)

2.3 Uçucu Kül

Yapay puzolan olan uçucu kül termik santrallerde toz halinde özellikle huy maden kömürünün yanmasından geriye gelen malzemedir. Çimento inceliğinde olan bu maddenin genel olarak puzolanik özelliği vardır. Genellikle küresel yapıya sahip uçucu külün tanecik çapı 0,5-200 μ arasında değişmektedir. Uçucu kül, santrallerde yakılan yakıt cinsine göre taşkömürü uçucu külü ve linyit uçucu külü olarak ayrılır.

Kimyasal yapılarına görede uçucu küller ayrırabiliriz. Bunlar silikat-alümina esaslı , silikat-kalsit esaslı, sülfür-kalsit esaslı ve sınıflandırılmayan uçucu küllerdir.

2.3.1 Uçucu külün yapısı

Uçucu kül, gözenekli veya dolu camsı küresel taneler ile yanmamış mineralleri içeren süngerimsi ve köşeli tanelerden meydana gelmektedir. Uçucu kül genellikle SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O ve TiO_2 gibi oksitlerden meydana gelmektedir. Fakat bu malzemelerin yüzdeleri külün cinsine göre değişmektedir. Uçucu külde en çok bulunan oksitler kuvars (SiO_2), mulit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) , manyetit (Fe_3O_4), ve kalsit (CaCO_3)'dir. (Erbil, 1997)

Türk standartlarına göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 2.6 Türk standartlarına göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşik	% Ağırlıkça
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70 (en az)
MgO	5 (en çok)
SO_3	3 (en çok)
Nem	3 (en çok)
Kızdırma Kaybı	10 (en çok)

2.3.2 Uçucu külün özellikleri

Külün içerdiği karbon, demir ve nem miktarları rengini etkilemektedir. Uçucu küllerin renkleri açık gri ile siyah arasında değişmektedir. Uçucu küllerin tane boyutu kullanılan kömürün cinsine ve öğütme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Uçucu küllerin özgül yüzeyleri $2800\text{-}3800 \text{ cm}^2/\text{g}$ arasında değiştiği saptanmıştır. Uçucu küllerin yoğunluğu $1,90\text{-}2,40 \text{ g/cm}^3$ arasında değerler alır.

2.3.3 Uçucu külün puzolanik aktivitesi

Uçucu küller, kireç ve su ile karıştırıldığında belirli bir süre sonunda dayanıklılığı artar. Uçucu küllerin puzolanik özelliğinin esası olan bu dayanım kazanma oldukça yavaş olarak ortaya çıkar. Artan süreyle birlikte, uçucu küllerin puzolanik özelliklerinin arttığı, ve CaO miktarı yüksek küllerin daha iyi puzolanik özellik gösterir.

2.3.4 Uçucu külün kimyasal özellikleri

Uçucu küllerin kimyasal özellikleri suda çözünürlük ve asitlerin etkisi olarak incelenebilir. Uçucu küller %2-3 oranında suda çözünürler. Çözeltinin pH değeri artarsa çözünme kabiliyetinde bir artış meydana gelir. Oluşan çözelti, kalsiyum sülfat içerdiği için alkali tepkime verir. Diğer bileşenlerin suda çözünürlükleri azdır. Uçucu küllere asitlerin etkisi çok azdır.

2.3.5 Uçucu küllerin kullanım alanları

Uçucu kül puzolan olarak kullanımının dışında , çimentonun ilkel maddesi olarak kullanılır. Uçucu kül beton üretilirken karışıma katılırsa tanelerin küresel olması dolayısıyla taze betonun işlenebilme özelliğini arttırıyor. Ayrıca bu malzeme tuğla üretiminde, gaz beton, duvar harçlarda, metal yüzeylerin temizlenmesinde ve seramik endüstrisinde kullanılır.

2.4 Beton

Beton mineral kökenli taneli malzemenin bir bağlayıcı madde ile birleştirilmesi ile üretilen bir yapay taştır. Bağlayıcı çimentodur, taneli malzemeye agrega adı verilir. Çimento ve suyun oluşturduğu hamur fazı sürekli ortamı, agregalar ise dağılı fazı meydana getirirler. Bu yaklaşıma göre beton, "aglomere kompozit malzeme"dir. Tüm kompozit malzemeler gibi özellikleri ve davranışları, fazlarının (sürekli ve dağılı fazlar) özellikleri ile fazlar arası etkileşimin etkisindedir. Bu bakımdan betonun incelenmesi, bileşenlerinin incelenmesi, bileşenlerinin karşılıklı etkileşiminin incelenmesi süreci içinde gerçekleştirilir.

Beton taşıyıcı bir malzemedir. Lifli bir kompozit olan betonarmenin ve öngerilmeli betonun sürekli fazını oluşturur. Yurdumuzda ve bir oranda tüm dünyada en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi betonarme, öngerilmeli betondur. Salt betondan üretilen hava alanı, yol ve bazı deniz yapıları da dikkate alınırsa betonun inşaat endüstrisindeki ekonomik yeri kolaylıkla anlaşılır.

Beton ilk üretim aşamasında viskozitesi çok yüksek bir sıvıdır, bu aşamadaki betona taze beton denilir. Çimento prizini tamamladıktan hemen sonra beton katılaşmıştır. Bu aşamadaki betona yeşil beton adı verilir. Sertleşen ve belirli bir dayanıma kavuşan betona ise sertleşmiş beton ismi verilir. Beton özelliklerinin bu üç aşamada da ayrı ayrı ele alınması gereklidir.

Betonun taze haldeki yapısı, onun kolaylıkla istenilen formda üretilmesine olanak sağlar. Bu nitelik büyük bir yarardır; forme yapı taşlarıyla yapılamayan pek çok yapı

elemanının üretilmesine imkan sağlamıştır. Böylece betonarme sürekli monolitik bir malzeme olarak çalışır, karkas ve sürekli çerçeveler üretilir. Betonun ve betonarmenin diğer yararlarını şöyle sıralayabiliriz: Üretimi durdurmak, kesintiler yapmak mümkündür, kalifiye işçiye gereksinim azdır, malzemeler yerel olarak kolaylıkla sağlanır, betonarme şoklara nispeten dayanıklıdır, bakımı kolaydır, sürekli bakım gerekmez, beton çeliği paslanmadan korur. Bu yararlar karşılık beton ve betonarme malzemenin sakıncaları da vardır. Öz ağırlıkları fazladır (temel ve deprem konuları sorunludur), yapısı heterojendir, ilk günlerdeki saklama koşullarından çok etkilenir ve bunların sonunda dayanım tüm yapıda büyük dağılma gösterir, göçme riski yüksektir, yıkımı güçtür, yıkıntı malzemesi tekrar kullanılamaz, takviyeleri zordur, gömülen çelik donatılar kontrol edilemez, dayanım değerinin önceden tahmini yaklaşıktır, hatalı üretim çok geç anlaşılır.

Tüm betonlarda aranılan üç ana nitelik taze halde işlenebilme, sertleşmiş halde mekanik dayanım ve dış koşullara dayanıklılık (dürabilite)'tir. (Akman, 1992)

2.4.1 Betonun Bileşenleri

2.4.1.1 Çimento

Çimentoların pek çok türleri vardır. Bunların çoğunluğu Portland türü veya Portland klinkeri ile belirli oranlarda başka bağlayıcılar karıştırılarak elde edilen türlerdir. Özel bir talep gerekmediği sürece fabrikalarımız farklı nitelikli çimentoları üretilip piyasaya sevk etmezler. Kullanıcı, yapısına ve ortamına uygun çimento konusunda bilinçlenmediği sürece de pazarlama koşullarının değişmesini beklememelidir.

Günümüzde piyasada bulunan çimentolar TÇ 32.5 (trash çimento), PÇ 32.5 (Portland çimento), KÇ 32.5 (Katkılı çimento) ve yüksek dayanımlı Portland çimentoları olan PÇ 42.5 ve PÇ 52.5'tir. PÇ 32.5 , PÇ 42.5, PÇ 52.5 salt Portland çimento klinkeri içerirler. TÇ 32.5 ve KÇ 32.5'da ise, çimento klinkeri dışında belirli oranlarda (% 40'a kadar varan oranlarda) doğal puzolan vardır. Simgeden sonra görülen sayı, standart çimento harçlarının 28 günlük küp basınç dayanımlarını kabul edilebilir en düşük değerini N/mm^2 cinsinden verirler. ($1N/mm^2=1$ Megapaskal (MPa) = $10 \text{ kgf} / \text{cm}^2$)

TÇ 32.5, KÇ 32.5, PÇ 32.5 çimentoları ile üretilen betonların basınç dayanımı açısından eşdeğer oldukları görülür. Bu tutum tüketiciyi ve üreticiyi korumak, güvene

almak için düşünölmüş yanlış bir tutumdur. Betonların yeterliliğini sadece basınç dayanımlarına bağlayarak değerlendirmek aşırı ve hatalara götüren bir basitleştirme dir. Böylece tüketici, bu üç çimentodan herhangi birini seçmekle amacına ulaştığını sanmaktadır, halbuki betonlarının şekil değıştirme, geçirimsizlik, erken çatlama, dış etkilere dayanıklılık açısından büyük farkları olacaktır.

Çimentolarda 4 ana bileşen vardır. Bunlar karma oksitlerdir:

1. C_2S olarak kısaltılan $2CaO.SiO_2$ (bikalsiyum silikat)
2. C_3S olarak kısaltılan $3CaO.SiO_2$ (trikalsiyum silikat)
3. C_3A olarak kısaltılan $3CaO.Al_2O_3$ (trikalsiyum alüminat)
4. C_4AF olarak kısaltılan $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ (tetrakalsiyum alümino ferrit)

Bunların dışında alçıtaşı ($CaSO_4.2H_2O$) ve minör oksitler dediğimiz birleşmemiş CaO , MgO , bazı durumlarda Na_2O , K_2O ve erimeyen maddeler (çoğunlukla SiO_2) de bulunur. Doğal olarak bu maddelerin taze ve sertleşmiş betonun özelliklerinde, davranışlarında farklı etkileri mevcuttur. C_2S ve C_3S , yani kısaca silikatlar sertleşmiş çimentonun taşıyıcı iskeletini meydana getirirler. C_3S daha hızlı sertleşir ve dayanım kazanır, yüksek dayanımlı çimentolarda özellikle ilk dayanımı yüksek çimentolarda miktarı fazladır. Sertleşme sırasında daha çok ısı çıkarır, bu ise kusurdur. C_2S ve C_3S 'in hidratasyonu sırasında kireç ($Ca(OH)_2$) açığa çıkar. Bu sönmüş kireç miktarı C_3S ' de daha fazla olur. Bu kireç, çelik donatının paslanmasını geciktirir, yararlıdır; ancak zamanla yıkanır, yeri boş kalır ve beton geçirimli olur. C_3A , yani kalsiyum alüminat (trikalsiyum alüminat) çimentonun kimyasal dayanıklılığında en önemli rolü oynar. Sertleştikten sonra bu bileşen en düşük dayanıma sahiptir, hidratasyon sırasında büyük ısı çıkarır ve asıl önemlisi kalsiyum sülfatla, yani alçı veya alçıtaşı ile birleşerek çok büyük hacimli bir tuz (etrenjit veya Candlot tuzu) oluşturur. Bu tuz kristalleşmiş, yani hidrate olmuş C_3A durumunda da oluşur ve asıl kötüsü de budur. Zira bu yüksek dereceli genleşme betonu patlatır, tahrip eder. Sülfatlı ortamlarda kalacak çimentolarda, C_3A miktarı düşük çimento seçmek zorunludur.

C_4AF 'in etkisi C_3A 'nınakilere benzer, fakat etki daha düşük düzeydedir. Minör bileşenlerden CaO ve MgO , zamanla su alıp hidroksit haline gelirler, bu dönüşüm hacim artması ile olur ve zararlıdır. Na_2O ve K_2O ise, beton agregalarının opal, kalseduvan, riyolit gibi aktif silis içermeleri durumunda hacim artışına yol açabilirler.

Beton teknolojisinde çok önemli sayılan bu olaya alkali agrega reaktivitesi adı verilir. Uzun yıllar sonra dahi ortaya çıkan bu genişleme, önemli hasarların sebebidir.

KÇ 32.5 ve TÇ 32.5 çimentolarında, Portland çimento klinkeri ve alçıtaşı dışında puzolon veya tras adını verdiğimiz doğal aktif silis içeren maddeler vardır. Bunlar çimento fırınında pişirilmeden katıldığından çimento üretiminde büyük ekonomi sağlarlar. Ülkemiz doğal puzolon yönünden zengindir. Çimento sanayiinde de bu maddelerden yararlanılması kaçınılmaz ve akılcı bir yaklaşımdır. Bu maddeler, silikatların hidratasyon ürünü olan kireçle birleşerek sertleşir ve dayanım kazanırlar. Bu özellikleri betonun geçirimsizliği üzerinde yararlıdır, öte yandan kirecin donatıyı pastan koruma niteliğini azalttıklarından zararlıdır. Etrenjit oluşumunda da sülfat iyonu dışında gerekli olan kireç bileşimini azalttıklarından yararlı bir etki meydana getirirler. Doğal puzolonlar çok farklı kökenli olabilirler: Bazaltik, riyolitik v.b. türleri gibi. Bu farklılık, tüm KÇ ve TÇ çimentolarının aynı dayanıklılığa sahip olmayacaklarını, en azından farklı zararlı ortamlarda farklı davranış gösterebileceklerini açıklar.

Beton teknolojisinde çimentonun iki özelliği fazla zamana gerek kalmadan etkinliklerini gösterirler. Bunlar priz ve incelik özellikleridir. Priz, çimento hamurunun veya betonun sıvı kıvamdan katı hale geçmesini tanımlar. Bu geçişin başlaması 2 ile 4 saat zarfında, sona ermesi 2.5 ile 6 saat zarfında olur. Burada standart'ta verilen değerler yerine, uygulamada rastlanan değerler verilmiştir. Uygulamada rastlanan en sakıncalı durumlar, prizinin beklenenin dışında çok ani olarak meydana gelmesidir. Ani priz iki şekilde oluşur: şimşek priz ve yalancı priz. Şimşek priz, C_3A bileşeninin alçıtaşı ile denetime alınmamasından kaynaklanır. C_3A priz olayını başlatan ögedir, ancak başlamadan sonra işlevi durdurulmazsa ortamdaki bütün suyu çekerek silikatların hidratasyonunu tamamen önler, sertleşen çimento düşük dayanımlı, kırılgan, işe yaramayan bir madde olur. Şimşek prizi önlemeye ve meydana gelen kötü durumu gidermeye imkan yoktur. Buna karşılık, yalancı priz bazı önlemlerle geçiştirilir. Yalancı priz, sıcak klinkere katılan alçıtaşının istenmeyerek alçıya dönüşmesi sonucu olur. Islatılan çimentoda miktarı çok düşük olan bu alçı, tekrar alçıtaşına dönüşür; sertleşen alçıdır, çimento değildir. Betonyerde karıştırma işlemi uzatılarak bu geçici etkiden kurtulunur.

İncelik çimentonun önemli bir özelliğidir. Çimentoya aktivite kazandıran husus onun ince olarak öğütülmesidir. Çimento ne kadar ince ise dayanımı o kadar yüksek olur. PÇ 42.5, PÇ 52.5 gibi çimentolar ince öğütülmüş çimentolardır. Bunlarda ince olan, klinker bileşiminde olan bölümdür. Bu incelik hidrasyon ısını yükselten bir diğer faktör olmaktadır. TÇ ve KÇ çimentolarında da kolay öğütülebilen bazı doğal puzolonlar kullanıldığında incelik fazlaşır. Ancak bu ince bölüm, öğütülmüş klinker gibi aktivitesi belirgin olan bir bölüm değildir, yani hidrasyon ısısının yükselmesinde fazla etkinliği yoktur. Bunlar çimentonun su tutma, su kusma ve erken rötre kapasitesi üzerinde negatif etki meydana getirir. İncelik "Blaine özgül yüzeyi" büyüklüğü ile nicelendirilir. Hava geçirgenliği ölçülerek saptanan bu büyüklük, bir gram çimentodaki tanelerin yüzeylerinin toplamı olarak tanımlanır (cm^2/g ve m^2/kg). Çimentolarda bu değer 3000-4000 cm^2/g arasında değerler alır.

Çimentolardaki diğer önemli bir sorun hidrasyon ısıdır. Çimentonun katılaşması, sertleşmesi fiziksel bir olaydır, ancak bu olayın kökeni kimyasal bir olaya, hidrasyona dayanır. Hidrasyon, toz çimentoyu oluşturan karma oksitlerin moleküllerine su alarak kristalleşmeleri şeklinde, basitleştirilerek açıklanabilir. Bu kimyasal reaksiyon ekzotermiktir, yani ısı çıkararak meydana gelir. Çıkan ısı fazla olursa betonun iç sıcaklığı çok yükselir; dökümü izleyen daha sonraki saatlerde ise soğuma başlar ve betonun hacmi küçülmeye başlar. Bu sırada beton katılaşmış ancak, yeterince dayanım kazanmamıştır (yeşil beton aşaması); büzülme betonun çatlamasına yol açar. Bu olaya termik rötre adı verilir. Özellikle küttlesi fazla betonlarda (baraj betonları) olay çok zararlıdır, oldukça derin olan bu çatlaklar su geçirimsizliğine neden olur. Hidrasyon ısıyla sıcaklığı yükselen betonda, ilerde anlatılacak olan plastik rötre (erken rötre) ihtimali de yüksektir. C_3A ve C_3S yönünden zengin ve ince öğütülmüş Portland çimentolarında (PÇ 42.5 ve PÇ 52.5) hidrasyon ısı genellelikle fazla olur. Buna karşılık TÇ 32.5 ve KÇ 32.5 çimentolarında bu değer yavaş gelişir ve bu yüzden dayanım kazanma da yavaştır.

Büyük beton üretimlerinde ve hazır beton tesislerinde çimento girdisinin titizlikle denetlenmesi, çıkabilecek hukuksal sorunların çözümü açısından gereklidir. Beton üretiminde kullanılan çimento türünün, fabrikanın hangi partisinden alındığının kaydedilmesi lazımdır. Bunun için sevkiyat pusulalarının düzenli bir biçimde, tarihleri ve kullanıldıkları betonlar belirtilerek saklanması zorunludur. Hatta çimento

silosundan numune alınması ve beton dayanım sonuçları elde edilinceye kadar sıkı kapatılmış kavanozlar içinde saklanması tavsiye edilir. Böylece betonlarda çıkabilecek bir kötü sonucun çimentodan kaynaklanıp kaynaklanmadığı araştırılabilir. Bu tarz bir yaklaşıma, çimentoların beton üretimi ile paralel denetlenmesi adımı verebiliriz. (Akman, 1990)

2.4.1.2 Agregalar

Mineral kökenli, taneli malzemelerden oluşan doğal beton agregaları dere, jeolojik ocak, deniz v.b. yerlerden elde edildiklerinde yuvarlak biçimli olurlar, taşların kırılmasıyla elde edildiklerinde ise köşeli, pürüzlü yüzeylidirler. Birinci gruptakilere çakıl, doğal kum, ikinci gruptakilere kırmataş veya mıcır ve kırma kum adları verilir. Agregalar tane boyutlarına göre sınıflandırılırlar. Boyutlar kare kesitli standart elekler vasıtası ile tayin edilir. Bir tanenin boyutu, geçebildiği en küçük eleğin bir gözünün kenar uzunluğudur.

Beton teknolojisinde kullanılan elek sistemleri ülkeden ilkeye değişir. Türkiye'de kullanılan elek sistemi ,aşağıdaki eleklerden oluşur:

Elek göz boyutu (Karenin kenar uzunluğu, mm)

31.5, 16, 8, 4, 2, 1 , 0.50, 0.25

Tanım olarak 4,0 mm'den ince agregalara ince agregalar (veya kum) denilir. 4,0 mm'den daha iri olan agregalara ise yuvarlak taneler halinde çakıl, köşeli taneler halinde ise III ve II No mıcır (kırmataş) adları verilir. Bunların genel isimlendirilmesi kaba veya iri agregalardır. I No mıcır 8 mm'den incedir ve yığılma yoğunluk 4 mm altındadır. Görüldüğü gibi beton agregalarında, alt kısım 0.25 mm (250 mikron) olarak saptanmıştır. Ancak 250 mikron altını da 3 bölgeye ayırırız: 60 mikron ile 250 mikron arasına çok ince kum, 60 mikron ile 2 mikron arasına silt, 2 mikron'dan ince olanlara kil denilir. Kil beton teknolojisinde kullanılmaz, silt ise belirli bir miktardan fazla olmamalıdır. Agregaların jeolojik kökenleri, beton üretiminde kullanılıp kullanılmayacağını belirleyen bir husustur. Bu inceleme uzman jeologlar tarafından yapılmakla beraber beton üreticilerinin de, basit de olsa bazı niteliklerden haberdar olmaları zorunludur. Bu tür incelemelere petrografik (hangi kayaktan oluştuğu) ve minerolojik (içinde hangi minerallerin bulunduğu) incelemeler denilir.

Doğadaki kayalar püskürük, tortul ve bunların jeolojik zamanlar içinde değişmesiyle meydana gelen metamorfik kayalardır. Çok basite indirgediğimizde, kayaların kimyasal yapıları silikatlar (alüminyum, magnezyum, alkali metal silikatları) doğrudan silis (SiO_2 , kuvarz, tridimit, kristoballit) ve karbonatlar (kalsiyum, magnezyum, karbonat)'dan oluşurlar. Bu arada kalsiyum sülfatları da unutmamalıdır.

Çimento hamuru ile en iyi yapışmayı (aderans) sağlayan kayalar kalsiyum karbonatlar, yani kalkerlerdir. En kötü aderans ise kalsiyum sülfatlı kayalarla oluşur. Bunlar jips (doğal alçı taşı) ve anidrit'tir. Aslında kalsiyum sülfatlı kayalar etrenjit oluşmasına yol açtıklarından kullanılmaları yasaktır. Kalsiyum karbonatlı kayaların da mekanik dayanımları çoğunlukla fazla yüksek değildir. Çok yüksek dayanımlı beton üretiminde agregaların da yüksek dayanıma sahip olması istenir.

Bazı agregata türleri ıslanma kuruma sırasında hacim sabitliğini korumazlar. Bazıları atmosfer etkisi ile yapraklanıp dağılırlar. Bu tür kötü nitelikler kloritlerde, şişt, şeyl, kumtaşı, gre, grovaklarda bulunabilir.

Agregaların içinde sülfat ve klor iyonları bulunması da diğer bir sakınca nedenidir. Pirit (FeS_2 demir sülfür) içeren agregaların gerek etrenjit oluşumunda, gerek demir pasına yol açarak hacim sabitliğini bozmada etkinlikleri vardır.

Denizden çıkarılan agregalarda çok miktarda bulunan istiridye, midye kabukları ise betonun donma-çözülme dayanıklılığını düşürürler. Nispeten düşük mekanik dayanıma sahip olan bu öğelerin boyutları büyüdükçe donma-çözülmedeki negatif etkinlikleri artar. Doğrudan atmosfer etkisine açık betonlarda bu tür agregaları kullanmaktan kaçınılmalıdır.

Çimento konusunda da değinildiği gibi aktif silis içeren kalseduvan, opal, kristoballit, tridimit v.b. kayalar alkali agregata reaktivitesine sebep olabilirler. Aktif silis, kireçle birleşme özelliğine sahip silis demektir. Aktif silis, çimentonun kireci ve varsa alkali oksitleri (Na_2O , K_2O) ile bileşerek genişleyen bir silis jeli meydana getirir ve bu jel betonu çatlatır, çatlaklardan dışarı sızar. Bu olaya alkali-agregata reaktivitesi denilmektedir.

Agregalar beton üretim plantlerinde, yükseklikleri bazen 10 m 'yi aşan eğimli yığınlar halinde depolanır. Yanlış olarak bu depolamada dozerlerden yararlanılır. Halbuki kural, depolamanın katmanlar halinde gerçekleştirilmesidir. Bu eğimli yığınlardan alınacak birkaç kg örneğin, agreganın toplumunu tam olarak temsil etmez. Bu yüzden agreganın yığınının örnek almakta büyük titizlik gösterilmelidir. Örnek yığının orta yüksekliğinden ve ince agreganın, çakıl durumunda derinliğine daldırılan borularla alınır. En az beş yerden alınan örnekler karıştırılır ve dörtleyerek istenilen miktara indirgenir. Agreganın nitelikleri bu indirgenmiş numune üzerinde araştırılır. Agregaların üzerinde ilk yapılacak deneyler özgül ağırlık, birim ağırlık ve granülometri deneyleri ve kum üzerinde su miktarı tayinidir.

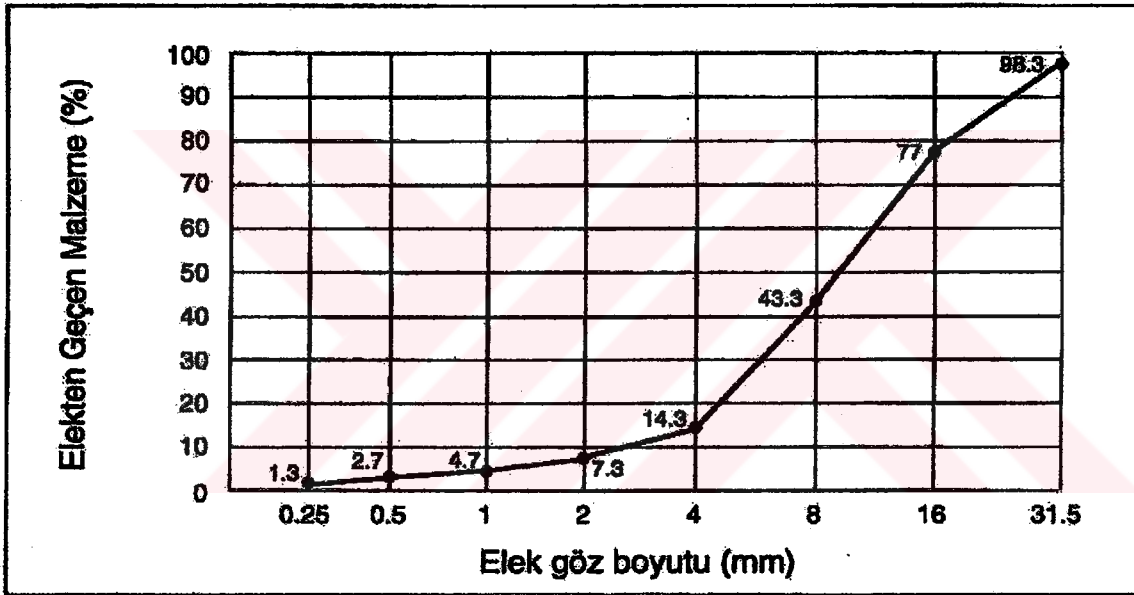
Özgül ağırlık, birim ağırlık ve granülometri deneyleri agreganın yüzey kuru suya doygun(YKSD) olarak tanımlanan konumunda yapılır. Teorik olarak bu durumda agreganın tüm iç boşlukları su ile doludur, yani taneler ıslak betondan su emmiyeceklerdir, ancak dış yüzeyleri kurudur. Islanma, kumlarda yalancı bir kohezyon oluşturur ve kum taneleri birbirine yapışır, kuru veya YKSD kumlar ise kürekle yığıldıklarında birbirleri üzerinde kayarlar ve bir koni teşkil ederler. YKSD durumunun tespiti oldukça güç bir laboratuvar çalışması gerektirir. Çakıl ve kırmataşlar (II ve III) için olay nispeten kolaydır, asıl zorluk kumlardadır.

Granülometri, agreganın yığınının tane boyutuna göre analiz etmek demektir. Bu analiz sonucunda belirli tane boyutundaki bölümlerin % olarak, toplum içinde hangi oranda bulundukları saptanır. Bunun için agreganın örneği (iri agregada en az 3-5 kg, kumda en az 1 kg) elek serisinden elenir. Tabiatı ile eleme en büyük boyutlu elekten başlayarak yapılır (Yani 31.5 mm veya 16 mm'li elek). Elekler üzerinde kalan miktarlar ölçülür. Bu ölçümlere dayanarak her elek üstünde kalan yığılımlı (kümülatif) değerler ağırlık ve % olarak hesaplanır. Daha sonra da elek altına geçen %'ler saptanır. Sonuçlar bir grafik üzerine taşınır ve granülometri eğrisi elde edilir.

Sayısal bir örnekle bu işlemler aşağıda gösterilmiştir. 3 kg'lık bir kumlu çakıl örneği üzerinde granülometri deneyi yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 2.7 Granülometri deney sonuçları

Elek Çapı (mm)	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Elek üstünde kalan (g)	50 (50)	640 (690)	1010 (1700)	870 (2570)	210 (2780)	80 (2860)	60 (2920)	40 (2960)
Elek üstünde kalan (%)	1.7	23.0	56.7	85.7	92.7	95.3	97.3	98.7
Elek altında geçen (%)	98.3	77.0	43.3	14.3	7.3	4.7	2.7	1.3
(*) Parantez içindeki değerler, yığılımlı (kümülatif) değerlerdir.								



Granülometri Eğrisi
Şekil 2.1 Granülometri eğrisi

Bu eğrinin özelliklerini belirtelim

1. Eğri kırık çizgilerden oluşur.
2. Eğri daima artan bir eğridir. Ekstrem durumda yatay çizgiler oluşabilir.
3. Birbirini izleyen iki göz boyutuna karşıt gelen ordinatların farkı, bu iki elek arasında kalan malzeme miktarını (% olarak) verir. Yatay çizgi durumunda bu fark sıfırdır, yani o iki elek arasında tane yok demektir.
4. Seçilen elek sisteminin tüm eleklerindeki ordinat değerleri hesaba katılır. Örneğin 4 mm elekte ordinat % 0 ise, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0,25 mm eleklerde de ordinat

vardır ve değeri % 0'dır. 8 mm elekte ordinat % 100 ise 16 mm ve 3 mm eleklerde de ordinat vardır ve değeri % 100'dür.

5. Eğri % 100 eksenine yaklaştıkça agrega yığını ince tanelidir, % 0 eksenine yaklaştıkça iri tanelidir.

6. Granülometri eğrisindeki yüzde değerleri "mutlak hacim" oranlarıdır. Tüm tanelerin özgül ağırlıkları aynı olduğu takdirde bu yüzdeleri "ağırlık" oranı olarak da kabul etmek mümkündür.

Agregalarda tanelerin büyüklüklerine göre analizi, bu eğri vasıtası ile oldukça detaylı biçimde yapılmaktadır, bu granülometri eğrisini bir sayıyla basitleştirerek ifade etmek için "incelik modülü" kavramı geliştirilmiştir. İncelik modülü eğri ile %100 eksen arasında kalan alanı belirten bir büyüklüktür. Bu alan granülometri ordinatlarının %100'den farklarının toplamı ile orantıdır.

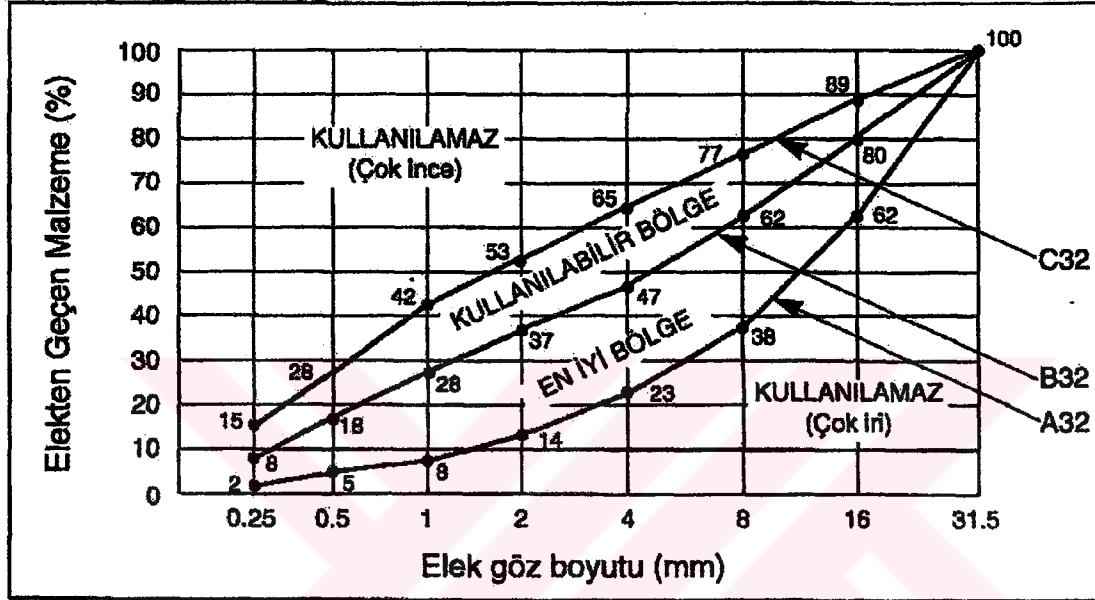
İncelik modülü büyük bir değer alırsa agrega iri taneli, küçük bir değer alırsa ince tanelidir. Bir agreganın granülometrik yapısı, üretilecek betonun doluluğuna (kompasite) ve mekanik dayanımına ve geçirimsizliğine etkiyen bir faktördür. Bu hususlar şöyle açıklanabilir:

Bütün taneler eşit çaplı küreler olsa idi, aralarındaki boşluk % 25'in altına indirilemezdi. Aradaki boşlukları doldurabilmek için daha küçük çaplı küreler gerekir; bu durumda boşluklar kalır, küre çapları belirli bir düzen içinde ve oranda küçültülerek yığındaki boşluk oranı azaltılabilir. İşte agregaların da bu küçültmeye uygun bir tane boyutu dağılımı göstermesi bu amaca hizmet eder. Agrega yığınının az boşluklu olması daha sıkı bir taşıyıcı iskelet oluşmasını sağlar, ayrıca bu boşluğun azalması gerekli çimento hamuru miktarını da betonda azaltır, ekonomik bir çözüme olanak verir.

Tane boyutları küçüldükçe toplam yüzey alanı artar. Beton yapımında bu yüzeylerin ıslatılması zorunludur. Şu halde beton yapımında ince agrega kullanılırsa su gereksinimi yükselir.

Fazla katılan bu su, ilerde buharlaşır ve yerine boşluk bırakır. Boşluklu bir beton da düşük mukavemet gösterir. Kısaca su miktarının artması beton dayanımını düşüren en önemli faktördür. Granülometrinin uygunluğu bu sakıncayı azaltır. Suyu olabildiğince

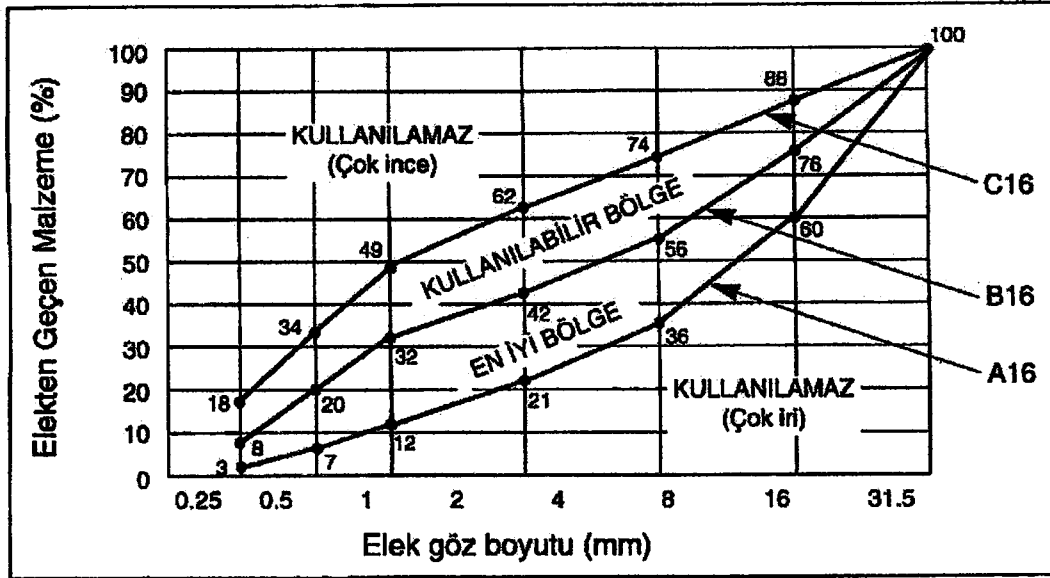
azaltmak için agregayı olabildiğince iri yapmak ise teknik açıdan anlamsızdır, zira söylendiği gibi doluluk oranı (kompasite) düşer ve ince taneden yoksun agregaların taze betonu, birbirini yeterince tutmayan (kohezif olmayan) bir görünüm arzeder. İşte maksimum kompasite ve minimum yüzey alanı çelişkisinde bir optimum çözüme varmak için araştırmalar yapılmış ve referans eğrileri dediğimiz ideal granülometri eğrileri elde edilmiştir. TS 706' da verilen referans eğrileri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Maksimum tane çapı 31,5 mm olduğunda elverişli granülometri eğrileri

Maksimum tane çapı betonun yerleşeceği bölgedeki donatı sıklığına, kalıp genişliğine bağlıdır; Betonarmede en çok 31,5 mm kullanılabilir. Genellikle maksimum tane çapı 16 mm olarak tercih edilir. Yerleştirme problemi olmayan hava alanı betonlarında, yol betonlarında, D (maksimum tane çapı) 40 mm, 70 mm olabilir; barajlarda D, 150 mm'ye kadar çıkabilir. Maksimum tane çapı da beton özelliklerine etkiyen önemli bir faktördür.

D=16 mm için TS 706' nın granülometri bölgeleri aşağıdaki şekildedir.



Şekil 2.3 Maksimum tane çapı 16 mm olduğunda elverişli granülometri eğrileri

TS 706'nın ideal granülometri eğrileri yerine ideal granülometri bölgeleri önerdiğini görüyoruz. Bu yaklaşım uygulamada daha esnek ve az zorlayıcı olmaktadır, zira ideal bir granülometri eğrisine yaklaşmak ve bunun için karışım oranları bulmak çok zordur.

İdeal bir granülometri eğrisi olarak A32-B32 veya A16-B16'nın ortasından geçen eğriler alınabilir. Bu eğrilerin granülometri ordinatları ve incelik modülleri ise aşağıdaki gibi olacaktır.

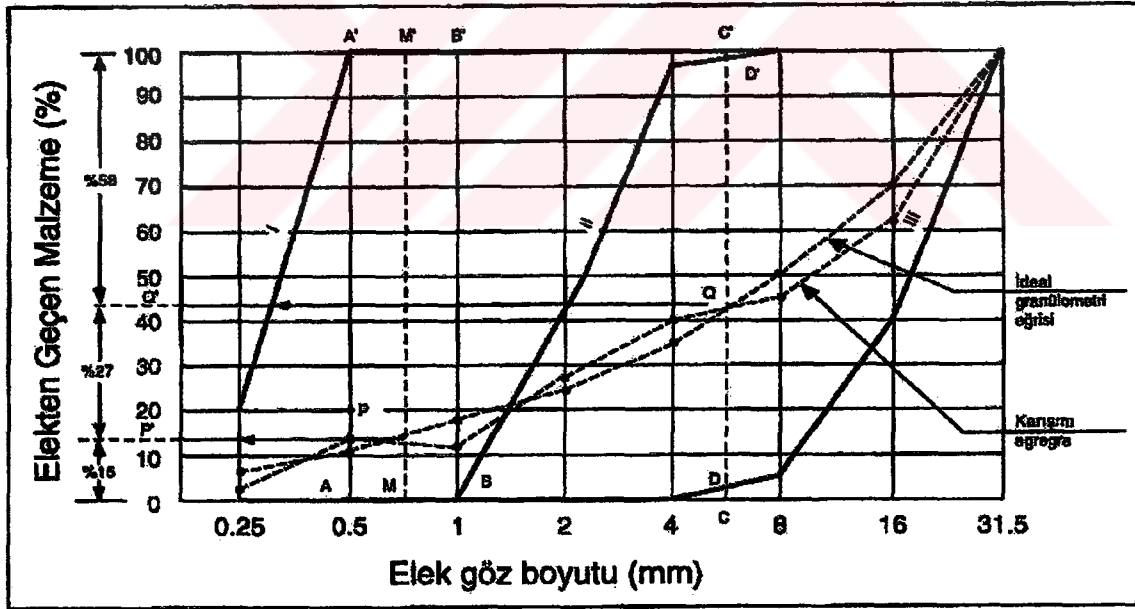
Çizelge 2.8 Granülometri ordinatları ve incelik modülleri

Elek göz boyutları (mm)	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
A32 - B32 ortasından geçen eğri (%) (incelik m= 4.83)	100	71	50	35	26	18	12	5
A16 - B16 ortasından geçen eğri (%) (incelik m= 4.12)		100	68	46	32	22	14	6

Dolu bir beton üretmek için daima bir ideal granülometriye sahip agregaya kullanmak gerekmez. Araştırmalar orta irilikte taneler içermeyen agregaya yığınlarının da çok

yüksek doluluk oranı sağladığını göstermiştir. Bu tür granülometrilere süreksiz veya kesikli granülometri adı verilir. İyi bir kesikli granülometride, üst grubun en küçük tane boyutu ile alt grubun en büyük tane boyutunun oranları, 5 mertebesinde olmalıdır. Bunu sayısal olarak şöyle ifade edebiliriz: Üst grup 31.5-8 olsun, bu grubun en küçük boyutu 8 mm'dir. Şu halde alt grubun en büyük boyutu $8/5=1.6$ mm mertebesinde olmalıdır. 1.6 mm elek olmadığına göre alt grubun en büyük boyutunu 2 mm olarak alabiliriz. Böylece agrega grupları veya klasları 31.5/8 ve 2/0 olacaktır, yani 8 mm ile 2 mm arasında tane bulunmayacaktır. Yüksek kompakte sağlayan kesikli granülometrilili betonların yerine yerleştirilmeleri çok güçtür, bu bakımdan çok özel durumlarda kullanılırlar.

Bundan sonra sorun, eldeki agregaları hangi oranda karıştırarak ideal granülometri eğrisine yaklaşılabileceğinin bulunmasıdır. Bu araştırma deneme snama yöntemiyle, incelik modülü yöntemiyle veya aşağıda açıklanacak grafik yöntemle yapılır. Yöntemi sayısal olarak açıklayalım.



I, II ve III ile gösterilen agregaların granülometri ordinatları deneyle saptanmıştır. Değerler şöyledir.

Çizelge 2.9 Elekten geçen malzeme %

	31.5mm	16mm	8mm	4mm	2mm	1mm	0.5mm	0.25mm
I	100	100	100	100	100	100	100	20
II	100	100	100	95	45	0	0	0
III	100	40	5	0	0	0	0	0
İdeal eğri (A32 - B32 ortası)	100	71	50	35	26	18	12	5

Şekilde I, II, III ve ideal granülometri eğrileri çizilmiştir. Ayırım düşeyleri MM' ve CC' şu prensiplere göre çizilmiştir: 1) I ve II granülometrileri 0.5 ve 1 mm arasında ayırıktır, bu ayrıklığı gösteren AB veya A'B' doğru parçalarının (segmentlerinin) orta dikmesi MM' aranılan ayırım çizgisidir. 2) II ve III granülometrileri 4 ve 8mm arasında değerce mevcuttur, ayırım düşeyi CC', CD ve C'D' uzunlukları birbirine eşit olacak ($CD=C'D'$) şekilde çizilmiştir.

Bu ayırım düşeyleri ideal granülometri eğrisini P ve Q noktalarında keser, P noktası (%)'ler ekseninde %15'e ($OP=15$), Q noktası aynı ekseninde %42'ye ($OQ=42$) karşılık gelmektedirler. Bu durumda en ince agregadan başlamak üzere karışım oranları,

I için %15

II için $\%42 - \%15 = \%27$

III için $\%100 - \%42 = \%58$ 'dir.

I, II ve III'ün karışım oranlarına a, b ve c dersek $a+b+c=1$ (%100) eşitliğinin zorunlu olduğunu derhal söyleyebiliriz.

Agrega karışımının granülometri eğrisi şekil üzerine de çizilmiştir.

Karışım agregası granülometri eğrisi ideal granülometri eğrisini büyük yakınsaklıkla izlemektedir ve A32-B32 ile sınırlanan en iyi bölge içine düşmektedir. Zaten karışımın ideal granülometri eğrisi ile çakışması hemen hemen imkansızdır.

İncelik modülleri ile karışım oranlarının bulunması ise şöyledir:

Agregaların yoğunlukları genellikle iki büyüklükle saptanır. Bu deneylerde de agregaların YKSD (yüzey kuru suya doygun) konumunda olmaları gerektiği

hatırlanmalıdır. Birim hacim ağırlık veya kısaca birim ağırlık (Δ), hacmi belli bir kaba serbestçe 25 cm yükseklikten düşürülen agreganın ağırlığı belirlenerek saptanır. Bazı standartlarda agrega sıkıştırılarak da kaba doldurulur. Ancak uygulamadaki durum, sıkıştırılmamış agreganın ağırlığının tayinidir.

$$\Delta = P/V \text{ (kg/dm}^3 \text{ veya kg/m}^3 \text{ biriminde)}$$

P agrega ağırlığı, V kabın hacmi veya diğer bir deyişle agregaların görünen hacmidir. Özgül ağırlık agrega tanelerinin ağırlığının kendi hacimlerinin toplamına bölünmesi ile elde edilir. Bu hacimde taneler arasındaki boşluklar yoktur ve mutlak hacim adını alır. Böyle bir hacimde agregaları yerleştirmek imkansızdır, pratik yönden bu hacmi teorik bir kavram olarak tasavvur etmek doğrudur. Bu hacim, su ile dolu bir kaba, ağırlığı belli agregalar konularak ve bu agregaların taşıdığı suyun hacmi ölçülerek tayin edilir.

$$\text{Özgül ağırlık} = \delta = P/V \text{ (kg/dm}^3 \text{ veya kg/m}^3 \text{)}$$

P agregaların ağırlığı, V agregaların taşıdığı suyun hacmidir. Bu basit ifadelerdeki ilişkiler çok iyi bilinmelidir.

$$\text{mutlak hacim} = \text{ağırlık} / \text{özüml ağırlık}$$

$$\text{görünen hacim} = \text{ağırlık} / \text{birim ağırlık}$$

Betonları karışım hesapları daima mutlak hacimlerle yapılır. Ancak üretime geçebilmek için ölçülebilen değerlere geçilir. Bu değerler ya ağırlıktır (o zaman, $\text{ağırlık} = \text{mutlak hacim} \times \text{özüml ağırlık}$) veya görünen hacimdir. (bu durumda da $\text{görünen hacim} = \text{ağırlık} / \text{birim ağırlık}$).

Özüml ağırlıklar kuvarzlı agregalarda 2,65 kg/dm³, kalkerli agregalarda 2,72 kg/dm³ mertebesinde olurlar. Özüml ağırlıklar tabiatı ile agreganın petrografik, jeolojik yapısının, kökeninin fonksiyonu olurlar. Normal beton agregalarında 2,60 kg / dm³ ile 2,75 kg / dm³ arasında değerler alırlar. Farklı özüml ağırlıklı agregaların bir arada kullanılması taze betonda yerleştirme sırasında ayrışma sakıncaları doğurabilir.

Özüml ağırlık deneylerinde dikkatli olunmalıdır. Tane yüzeylerinde yapışıp kalan hava kabarcıklarından kurtulunmadığı sürece hacim ölçmeleri yanlış olur ve δ değerleri düşük çıkar. Bu sakınca kumlarda daha belirgindir ve kumların özüml ağırlıklarından agrega ve su içeren kabı kaynatmak yararlıdır.

Beton üretiminde kullanılan kırmataş agregalarda birim ağırlıklar düşük değerler alırlar. Bunun nedeni serbest düşme sırasında pürüzlü yüzeyli agregaların boşluklu biçimde yerleşmeleridir. Δ, bu tür agregalarda $1,35 \text{ kg / dm}^3$ değerine kadar iner, keza yuvarlak agregalarda da incelik arttığında birim ağırlıklar azalır, örneğin silisli yuvarlak çakıllarda birim ağırlık $1,80 - 1,90 \text{ kg / dm}^3$ iken silisli kumlarda bu değeri $1,40 - 1,50 \text{ kg / dm}^3$ küp mertebesinde dir.

Agregaların YKSD durumdan daha fazla su içermeleri tabiatı ile mümkündür. Serbest su olarak nitelediğimiz bu su, beton üretiminde sorun yaratır. Betonun mekanik dayanımına hakim olmanın ilk koşulu su / çimento oranına hakim olmaktır. Dayanımı sağlayacak su / çimento oranı, agreganın içerdiği fazla su nedeniyle denetim dışına çıkar, ıslak tartılan kum, sürüklenen su nedeniyle hem karışım da öngörülen agrega ağırlığında hata yapılmasına (daha az agrega kullanılır), hem de karışıma bilinmeden fazla su katılmasına yol açar. Bu bakımdan özellikle yağmurları izleyen günlerde agrega stoklarının su içeriği katman katman ölçülmelidir. Bu ölçmeler için geliştirilmiş yöntemler ve araçlar vardır. En basiti, bir ocak üzerinde agregayı kurutmak, ispiro döküp tutuşturarak kurutmayı hızlandırmaktır. Bu kurutma sırasında aşırıya kaçarak YKSD halin altına düşmemek gerekir. Kurutma strasında tanelerden çıtırtı şeklinde ses geldiğinde sınır aşıyor demektir, kurutma derhal durdurulmalıdır. Serbest su özellikle ince agregalarda yüksek oranlara varabilir.

Taze betonların kolay ve iyi yerleşmelerinde agregaların biçimleri ve yüzey pürüzlülükleri rol oynar. Biçim testi, iri agregalarda, agrega örneğinde tanelerin en büyük ve en küçük boyutlan bir kompasla ölçülerek yapılır. Bir boyutu diğer iki boyutuna göre çok büyük (yaklaşık 3 kat) veya çok küçük (yaklaşık 3 defa) olan taneler biçimsiz varsayılır. Türk standartları bunların sınır oranlarını tespit ederek iri agregaları biçim yönünden denetler. Diğer ülke standartlarında farklı yaklaşımlar vardır. Örneğin Fransız normlarında iri agrega örneklerindeki tanelerin en büyük boyutları ölçülür, bu büyük boyutu çap kabul eden kürelerin hacmi (teorik bir hacim) hesaplanır, sonra agregaların gerçek mutlak hacimleri taşırdıkları su miktarına dayanılarak saptanır. Gerçek hacmin kürelerin toplam hacmine oranına "hacimsel katsayı" denilir. Bu katsayının en az 0,15 olması gerekir. İngiliz standartlarında ise yassılık ve uzunluk indisleri, köşelilik faktörleri vardır. Böylece yerleştirmede sorun çıkaran biçimsizlik yanında agregaların yuvarlak olmayışlarının da etkisi incelenmeye

çalışılır. Biçimsizlik ve köşelilik gibi sakıncalar daha ziyade kırmataşlarda gözlenir. Kırmataşın elde edildiği kayacın tortul oluşu, katmanlı oluşu ve kırmada kullanılan konkasörün yetersizliği bu sakıncaları ortaya çıkarır.

İnce agregada biçimsizlik deniz kumlarında, mika gibi yassı mineraller içeren kumlarda gözlenir. Bunlarda olay yığınının doluluğu incelenerek ortaya çıkarılır. Kumun özgül ağırlığı (δ) ve birim ağırlığı (Δ) tayin edildikten sonra doluluk oranı Δ/δ olarak hesaplanır. Doluluğun 0,55'den yüksek olması istenir.

Biçimsizlik ve köşelilik sadece betonun yerleşmesini güçleştirmekle kalmaz, yerleşen betonun ayrışmasına (segregasyon) ve terlemesine de etkir.

Sertleşmiş betonun kalitesine etkiyen agrega özellikleri arasında tanelerin dayanımları, aşınmaları, donma-çözölmeye dayanıklılıkları, çamurlu ve organik madde içerikleri sayılabilir. Bunların dışında alkali-agrega reaksiyonuna yol açabilecek aktif silis'e sahip olup olmadıkları ve SO_4^{2-} , Cl^- iyonları ihtiva edip etmedikleri de araştırılan konulardır.

Tanelerin dayanımları özellikle "yüksek dayanımlı beton" yapımında önem kazanır. Bu tür betonlar son yıllarda üretilmeye ve kullanılmaya başlamıştır. Tanelerin dayanımı ufalanma (friabilite) testi ile araştırılır. Bu test iki aşamalıdır. İngiliz standartlarında öngörölen yöntemi Türk elek takımlarına uygulayarak şöylece açıklayabiliriz. 16 mm ve 8 mm arasında kalan agrega grubu kurutulduktan sonra çelik bir silindir içine konur ve bir pistonla 10 dakikada 40 ton'a varacak şekilde (basınç 22 MPa) sıkıştırılır. Silindirden çıkarılan kırılmış agregalar 2 mm'lik elekten elenir. Elek altı malzeme ağırlığı, ilk malzeme ağırlığına oranlanır, yüzde olarak bu oran kırılma değeridir. Bu değer 25'in altında olmalıdır. İkinci aşama, kırılma değerine güvenilmediği veya 25 değeri aşıldığında uygulanır. Bunun için aynı grup tanelerin %10'unun 2 mm elek altına geçecek kadar ufalanması için gerekli yükleme değeri saptanır, iyi, sağlam bir agregada bu değer 5 ton'dan az olmamalıdır, aşınma problemi olan betonlarda ise 10 ton sınırı önerilir.

Agregaların aşınması Los Angeles testi ile saptanır. Ülkemizde de geçerli olan bu test aşınma ve ufalanmanın etkisindedir. Gruplara ayrılan iri agregalar, gruplarına uygun sayı ve boyutta bilya içeren ve doğrultmanına dik yönde, yatay dönen bir çelik silindir

içine konur. 500 devirden sonra agregalar bir alt elekten geçirilir ve geçen miktar, ilk ağırlığa oranlanır, bu değerin belirli bir sınırdan fazla olmaması öngörülür (%50 gibi). Aşınma testinin yol, hava alanı betonlarında daha önem taşıyacağı ortadadır.

Gerek ufalanma, gerek aşınma ve gerek sodyum sülfat veya magnezyum sülfatla yapılan donma-çözülme testleri agregaları dayanım ve dayanıklılık (dürabilite) açısından değerlendiren başarılı testlerdir. Donma-çözülme deneyleri su ile de yapılmaktadır, agregalar sudan çıkarılarak veya su içinde sürekli tutularak donma ve çözölmeye tabi tutulurlar, sürekli su içinde yapılan deney daha şiddetlidir. Donma çözölmeye deneyleri de ufalanma ve aşınma testlerine benzer olarak elek altına geçen miktarların ilk ağırlığa oranlanması yoluyla değerlendirilir.

Beton kalitesine etkileyen bir diğere agrega özelliğı çamurlu madde ve organik madde miktarlarıdır. Çamurlu madde silt miktarının belirlenmesini amaçlar, bu miktarın içine kil de girer. En basit yöntem çökeltmedir, kolaylıkla yapılır, hacmen silt miktarı kumda % 5' i aşmamalıdır. Bu yöntemi iri agregalara uygulamak imkansızdır. Özellikle kırmataşlarda taş unu açısından çökeltme ile bir değere elde edilmez. Daha güvenilir bir sonuç agregaları yıkamak, yıkama suyunu 200 No elekten ($\approx 63\mu\text{m}$) süzerek alta geçen miktarı hesaplamaktır. İnce agregalarda alta geçen miktar %5'i aşmamalıdır. İri agregalarda bu değere daha azdır, %2 mertebesinde.

Pek fazla rastlanmamakla beraber bazı agregaların kimyasal bileşimlerinde iyon halinde Cl^- ve SO_4^{2-} bulunabilir. Bu serbest iyonlar betonun dürabilitesi üzerinde negatif etki oluşturabilirler. Cl^- iyonları betonarmede çeliğın paslanmasına, SO_4^{2-} iyonları ise betonun bünyesinde etrenjit oluşturarak betonun patlamasına ve dökölmesine sebep olurlar. Bu iyonların tespiti ancak laboratuvarlarda yürütöllecek deneylerle saptanabilir. (Akman, 1990)

2.4.2 Karma suyu

Beton karışımında kullanılacak suyun taze beton özelliklerini ve sertleşmiş betonun dayanımını kötü yönde etkilememesi gerekir. Kural olarak içilebilen suların hiçbir zararı yoktur. Bazı durumlarda su bulmak bir sorun olabilir, bu takdirde suyun kimyasal analizine başvurulur.

Suyun asit olmaması gerekir, yani pH derecesi 7'nin üstünde olmalıdır. Bu asitlik çürümüş bitki köklerinin oluşturduğu hümik asitten kaynaklanabilir. Zayıf bir asit olan hümik asit prizi geciktirir. Suyu kanalizasyon karışması durumunda da şeker, nişasta gibi organik maddeler suya karışabilirler, bunların etkisi de prizi geciktirmek şeklindedir. Prizi geciktiren bir diğer unsur da ağır metal oksitleri ve tuzlarıdır. (Kurşun, çinko gibi) Bu tür maddelere endüstriyel (boya sanayii) bölge sularında rastlanır.

Su içinde askıda kalan maddeler de kil ve silt türü maddeleridir, beton üretiminde kilin istenmediği, silt miktarının ise sınırlandırıldığı dikkate alınrsa yüzen katı maddeler de sınırlandırılır (2 g / dm³ gibi), çözülmüş tuzlarda sınır daha yüksektir.

Kimyasal analizlerde, iyon değişimi ile çimento hidrate bileşenlerini tahrip edebilecek iyonlara da bakılır bunlar; Mg⁺⁺, NH₄⁺, Mn⁺⁺ iyonlarıdır.

Donatı paslanmasına yol açacak Cl⁻ iyonlarının da incelenmesi gerekebilir. (0,5g/dm³ sınır değeri) SO₄⁻ iyonları için bu sınır 1 g/dm³ alınabilir. Cl⁻ ve SO₄⁻ iyonları deniz suyunda yüksektir. Deniz suyu, öngerilmeli beton ve deniz yapılarında karma suyu olarak kullanılmaz, bu yapıların dışında mecburiyet varsa fazla çekinmemelidir. Deniz suyu prizi bir miktar geciktirir, betonun ilk dayanımını yükseltir, son dayanımını düşürür, beton rutubet tutar ve lekelenmeler gösterir.

Beton karmada kullanılan sular, beton küründe de genellikle uygundur, ancak yeşil betona zarar verebilecek, genleşme oluşturabilecek tuzlar içermemelidirler, örneğin deniz suyunda bu tehlike mevcuttur.(Akman, 1990)

2.4.3 Katkı maddeleri

Betona çok az miktarlarda (çimento ağırlığının %5'inden daha az) katılan kimyasal katkı maddeleri betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona ek yeni özellikler kazandırmak amacını taşırlar. Katkı maddeleri üretim endüstrisi çok gelişmiştir. Çok sayıda ve çok farklı amaçlar taşıyan katkı maddeleri üretilmektedir. Katkı maddeleri konusunda şu ana prensipler unutulmamalıdır:

Kurallarına uygun üretilmeyen bir betonu katkı maddeleri ile iyileştirmek imkansızdır. Önce beton katkısız durumda yeterli niteliklere sahip olmalıdır.

Piyasada satılan tüm katkıların kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirmemesi olasıdır. Katkı ile çimento ve hatta agregaların uyuşması gerekir, bu ise önceden yapılacak deneylerle kanıtlanmalıdır.

Satıcıların önerdikleri katkı miktarları da her özel durum için geçerli olmayabilir. Bu oranların da ön deneylerle kontrolü lazımdır.

Katkılarda ana işlevler yanında ikinci işlevler de olabilir. Bu ikincil etkiler negatif yönde de olabilir, yani betonun niteliklerini bozabilir. Bu hususun gözden uzak tutulmaması gerekir.

Birden fazla katkı aynı zamanda kullanıldığında beklenen iyileştirici sonuçlar azalabilir ve hatta kaybolabilir. Bu hususun olmadığının da ön deneylerle saptanması zorunludur.

Çeliğin paslanmadan koruyan, böceklenmeyi önleyen, betonu renklendiren katkılar yanında asıl ürünler şu ana gruplar içinde toplanabilir:

1. Akışkanlaştırıcı (veya su indirgeyici) katkılar
2. Prizi hızlandırıcı katkılar
3. Prizi geciktirici katkılar
4. Hava sürükleyici katkılar
5. Süper akışkanlaştırıcılar

Akışkanlaştırıcı katkılar en çok yararlanılan katkı grubunu oluşturur. Çoğunlukla kağıt üretiminde yan ürün olarak elde edilen sodyum ve kalsiyum linyosülfonatlardır. Çimento ağırlığının %0,2-0,5'si mertebesinde katılırlar. Karma suyuna önceden katılmaları gerekir. Aslında kimyasal katkılar genellikle karma suyuna ilave edilirler, toz halinde olup betona katılan türdeki bazı katkılar homojen dağılmama yüzünden sorunlar çıkarır.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da bu ticari ürünler salt sodyum veya kalsiyum linyosülfonat değildir, içlerine patent olarak niteliği saklanan başka maddeler de katılır ve bu maddeler ikincil etkilerin oluşmasında etkilendirler. Akışkanlaştırıcı katkılar su/çimento oranını %5-15 arasında indirebilirler, böylece

beton dayanımı daha düşük çimento dozajı ile sağlanabilir. Bu çözüm betonun dayanıklılığı açısından tercih edilmemelidir. Bunlar çimento tanelerinin daha iyi dağılmasını, birbirlerinden ayrık kalmasını (dispersiyon) sağlar, böylece çimento taneleri bütünüyle hidrate olurlar. Suyun ıslatma gücü artar, çünkü yüzey gerilimi azalır. Betonyerde çeperlere yapışma olmaz, betonda agrega tanelerinin ayrışması (segregasyon) minimum düzeye iner. Çimento hamuru ve agrega bağlantısı düzelir. Buna karşılık düzensiz bir hava sürüklenme sonucu, dayanımda beklenenin altında bir artış gözlenir. Priz gecikebilir.

İkinci grupta saydığımız priz hızlandırıcılar arasında kalsiyum klorür (CaCl_2) ucuzluğu, kolay bulunması nedeniyle çok kullanılır. Ne var ki içerdiği Cl yüzünden şartnamelerde pekçok alanda kullanımı yasaklanmıştır: Örneğin öngerilmeli betonlar, deniz yapıları v.b. Tüm betonarme yapılarda çimento ağırlığının %2'sinden fazla kullanılması yasaktır. Mekanik dayanım artmasına da yardımcı olur. Hidratasyon ısını yükseltir, erken (plastik) rötire tehlikesi doğurabilir. CaCl_2 kristaller halindedir, farklı kristal sularına sahip kalsiyum klorürler piyasada bulunur, bunun önceden tespit edilerek saf CaCl_2 miktarının hesaplanması ve karma suyuna katılması lazımdır. Kalsiyum klorür taze betonun dondan korunmasında da yararlıdır, zira suyun donma noktasını düşürür (-10°C), ayrıca beton erken sertleştiği için donun tahrip edici etkisini de karşılar.

Kalsiyum klorür dışındaki hızlandırıcılar arasında kalsiyum nitrit ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$) ve asit okzalik ve trietanolamin'de kullanılır. Kalsiyum nitrit, betonun donatıyı klor etkisinden korunmasında da yarar sağlar ve esas işlevi donatıyı pastan korumadır.

Püskürtme betonda kullanılan alkali katkıları priz hızlandırıcı grubunda incelemek pek doğru değildir. Bunlar prizi 8 dakika gibi kısa bir süreye indirirler ve püskürtme tekniğinin vazgeçilmez katkılarıdır. Bunların kimyasal formülü genellikle sodyum alüminat'tır. Son dayanımda önemli düşmelere sebep olurlar.

Üçüncü sıraya koyduğumuz priz geciktiriciler, genellikle çimento su ile karıştırıldığında karma oksitlerin suda çözünmesini önlerler. Organik maddeler ve özellikle şeker çok etkin geciktiricilerdir. Çimento ağırlığının % 0,03 gibi çok az miktarında katılan şeker geciktirici etkisini ortaya çıkarır. Doğal olarak bu kadar etkin bir katkıyı doğrudan katmak düşünülemez, başka ürünlerle karıştırılıp ve ticari bir

katkı haline getirilerek kullanılabilir. İnorganik geciktiriciler daha güvenilir katkılardır, bunlar da belirli üretim süreçlerinden geçerek ticari ürünler şeklinde satılırlar. Çinko, kurşun oksitler, fosfat ve florür'ler bu gruba girerler. Bunların da katma yüzdesi düşüktür (%0,1 gibi). Hazır beton teknolojisinde, sıcak havalarda, uzak mesafelere beton iletiminde ve inşaat derzlerinden kaçınmada geciktirici kullanılır ve genellikle akışkanlaştırıcı katkılarla birlikte önceden fabrikalarda karıştırılarak satılırlar.

Dördüncü gruptaki hava sürükleyici betonların esas fonksiyonu sertleşmiş betonu donma-çözölmeye dayanıklı kılmaktır. Esasları vinsol reçinası olarak adlandırılan sodyum abietat' dır. Bu madde köknar reçinasından elde edilir. Normal bir betonda hava içeriği %1-3 arasındadır. Hava sürükleyici katkılarla bu değer %6'ya yükselir. Oluşan hava kabarcıkları küresel, küçük çaplı ve birbirinden uzaktır. Bu nedenle betonun geçirimsizliği artmaz, ancak dayanım bir miktar düşer. Bunların katılım oranları da % 1 'in altındadır, bir miktar işlenebilmeyi de arttırırlar.

Süper akışkanlaştırıcılar 20 - 25 yıllık bir geçmişe sahiptir, mamafih yaygın kullanımlar 10 yıl civarındadır. Özellikle son yıllarda yüksek dayanımlı beton üretimine olarak vermişlerdir. Bu maddelerle su/çimento oranı %30'lara indirilebilmektedir, normal bir betonda bu oran %50 mertebesindedir ve akışkanlaştırıcı katkılarla ancak %40-45 değeri elde edilmektedir. Süper akışkanlaştırıcılar çimento ağırlığının %1-3'ü arasında kullanılır. Doğrudan beton karışımına katılabilmeleri büyük avantajdır. Ancak işlenebilme üzerindeki etkileri kısa sürede kaybolur. Bu bakımdan kademeli katma veya geciktirici ile beraber kullanma yoluna başvurulur. Son yıllarda silis dumanı adını verdiğimiz, çimentodan 10 kat daha ince bir puzolanik madde bulunmuştur. Bu madde transistör (yarı iletken) üretimi için gerekli silisyumun elde edilmesi sırasında ortaya çıkan bir yan üründür. Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen betonlara çok yüksek dayanımlı betonlar denilmektedir. Bunlara verilen bir diğer ad ise yüksek performanslı betondur. Sadece süper akışkanlaştırıcı ile dayanım 80 Mpa (800kgf/cm^2) mertebesindedir, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı ile 130 MPa (1300kgf/cm^2)'ye varılmıştır. Yüksek dayanım yanında bu betonlar suya ve tüm iyonlara geçirimsizdir, dayanıklılıkları mükemmeldir. (Akman, 1990)

2.4.4 Beton dayanımları

Gevrek bir malzeme olan betonun çekme dayanımı çok düşük, basınç dayanımı yüksektir. Bu iki dayanım arasındaki oran 1:10 mertebesindedir. Bu yüzden betonarme hesapları yapılırken betonun çekme gerilmeleri altında çatladığı, işe yaramadığı, tüm çekme gerilmelerini çeliğin taşıdığı varsayılır. Bazı yapılarda betonun çatlamadan iş görmesi istenir. Hava alanlarında, yollarda böyle bir gereksinme vardır ve bu yapılarda beton, eğilme dayanımı kontrol edilerek denetlenir. Bunlar dışındaki yapılarda basınç dayanımının ölçülmesi yeterli olur.

Betonun dayanımları çeliğinki gibi kesin bir malzeme sabiti değildir. Pekçok değişkenin etkisindedir, bu bakımdan dayanım verilirken ve tayin edilirken koşulların da söylenmesi, açıklanması gerekir.

Basınç dayanımına etkiyen faktörleri aşağıda belirtelim:

1. Numunenin (betonun) yaşı,
2. Saklama koşulları (su içinde, havada, % 100 bağıl nemde, sıcaklık derecesi),
3. Numune boyutları (küp 20 cm, küp 15 cm, silindir. 15x30 cm),
4. Numune yerleştirme şekli (vibrasyon masası, şişleme),
5. Numunenin başlık durumu (düzgün, pürüzlü, kükürt başlıklı),
6. Yükleme hızı.

Bütün bu faktörler standart koşullara bağlanır ve standart koşullarda bulunan dayanımlar betonun dayanımı olarak kabul edilir. Örneğin, Türk standartlarında beton basınç dayanımı (betonarme hesaplarında esas alınan dayanım), 15 cm çap 30 cm. yüksekliğindeki silindirlerde 28. günde saptanır, deney gününe kadar numuneler kirece doymun 20°C suda saklanır. Numuneler şişlenerek doldurulur, başlık yapmak gerekir ve yükleme hızı saniyede 2 kgf/cm² dir.

Basınç dayanımı kolay yapılan bir deney türüdür ve betonun diğer özellikleri ile (dayanıklılık, aşınma, geçirimsizlik v.b.) paralellik gösterir. Bu yüzden beton kalite denetiminde çoğunlukla basınç dayanımı saptanması ile yetinilir.

Betonlar karakteristik basınç dayanımları ile sınıflandırılırlar. Karakteristik dayanım olasılıklı, istatistik bir değerdir. Karakteristik dayanım 100 örnekten oluşan bir beton üretim grubunda 90 örneğin üstünde kaldığı minimum dayanım değeridir, yani %90 olasılıkla aşılabilen dayanım değeridir diyebiliriz.

Bu karakteristik dayanımlara göre aşağıdaki beton sınıfları TS. 500'de kabul edilmiştir. (BS12, BS14, BS16, BS18, BS20, BS25, BS30... BS50) BS Beton sınıfı demektir, sayısal değerler ise N / mm^2 (MPa) cinsinden 28 günlük silindirik basınç dayanımlarıdır. Betonarme hesaplarında karakteristik dayanıma göre tanımlanan beton dayanımları kısmi güvenlik katsayısı denilen (1'den büyük bir katsayı 1,4 –1,7) bir katsayıya bölünerek hesap dayanımlarına geçilir. Öte yandan yapıdaki yükler de arttırılarak (1,4–1,6 misli) boyutlandırma hesaplarına geçilir. Böylece emniyet katsayısı yaklaşık 2,70 olur, yani beton, mukavemetinin hemen hemen üçte biri bir gerilmeye çalıştırılmış olur. Emniyet katsayısının bu kadar yüksek tutulmasının nedeni sadece beton dayanımlarında görülen dağılıma değildir. Sünme olayının dikkate alınması da bir diğer faktördür. Sünme sertleşmiş çimentonun iç yapısı sonucu ortaya çıkan bir olaydır. Sürekli yük altında tutulan betonun kışalması zamanla giderek artar. Eğer yükleme basınç dayanımının %70-80'i mertebesindeyse bu kışalma göçmeyle nihayet bulabilir. Hesap gerilmesini mukavemetten ne kadar uzak tutabilirsek bu riski azaltmış oluruz.

Standart numuneler üzerinde yapılan deneyler esas yapıdaki dayanıma eşit değildir. Bu arada, numuneleri yapının hemen yanında açık havada tutmak da anlamlı değildir. Bu tür saklanan numunelere yeterlik numunesi denilir, belki kalıbı alma bakımından yararlı olurlar. Ancak bu numuneler, yapı elemanına oranla çok küçük olduklarından hava koşullarından çok fazla etkilenirler ve genellikle yapıdaki mukavemetten daha düşük mukavemette olurlar. Standart numunelerdeki deneyler ise nitelik deneyleridir, yerleştirmeden ve kürden önceki üretimin niteliğini belgelerler. Hukuki kıymetleri vardır, ancak yapıdaki dayanımlar hakkında kesin bilgi veremezler. Yapıdaki dayanımlar, karot çıkararak veya standart deneylerle paralel yürütülen tahribatsız deneylerle denetlenebilirler. Tahribatsız deneyler betonun yüzey sertliğini ölçmek veya beton içinden yüksek frekanslı ses dalgaları (ultrason) geçirerek bunların geçiş hızını ölçmekle yapılabilir. Birinci yöntemde Schmidt çekici, ikinci yöntemde ultrasonik ses aygıtı kullanılır. Bu iki aygıt birlikte de kullanılabilir, böylece yaklaşım

daha iyi olur. Başka tahribatsız yöntemler de mevcuttur, ancak en çok uygulananlar bu iki yöntem olmaktadır. Yüzey sertliği ile basınç dayanımı ve ses geçiş hızı ile basınç dayanımı arasında matematiksel bağıntılar, üretim sırasında alınan standart küp deney numuneleri üzerinde kurulur. Bu bağıntılardan yararlanılarak yapının üzerinde ölçülen Schmidt sayıları ve ses hızları basınç dayanımı değerlerinin tahmininde kullanılabilir. Böylece tüm yapı betonları yaygın bir biçimde denetlenmiş olur.

Üretim sırasında standart numune almadan, sadece sonradan yapılacak tahribatsız deneylerle betonun kalite kontrolünü yapmak yanlıştır. Her iki yaklaşımın birlikte kullanılması gerekir.

Betonarme malzemenin sakıncaları belirtilirken dayanımın geç öğrenilmesine de değinilmişti. Hızla ilerleyen bir inşaatla beton dayanımının geç öğrenilmesi, önlem alınmasını, gerekiyorsa inşaatın durdurularak bekletilmesini imkansız hale getirir. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak üzere betona sıcak kütür uygulayarak, numunelerin deney yapılabilecek kadar sertleşmeleri ve dayanımların kazanmaları sağlanır, böylece alınan küp numuneler 24 saat sonra kırılır. 1 günlük dayanımla 28 günlük dayanımlar arasında oluşturulan matematiksel bağıntı (korelasyon bağıntısı), 28 günlük dayanımı önceden tahminine olanak verir. Isıl işlemler Türk standartlarına da girmiştir. Üç yöntem vardır:

- 1) Üretilen betonu 35°C su içinde 23,5 saat tutmak (karmadan hemen sonra sıcak suya koymak, sıcak sudan çıkardıktan sonra yaklaşık 1/2 saat beklemek ve sonra basınç deneyine tabi tutmak
- 2) Üretilen betonu üretimden 23 saat sonra 3,5 saat suda kaynatmak, 2 saat soğutup basınç deneyine tabi tutmak,
- 3) Isıl işlemi çimentonun hidratasyon ısınısını izole ederek sağlamak. Bu yöntemlerle betonun dayanımı $\pm\%10$ olasılıkla tahmin edilebilmektedir.

Basınç dayanımına etkiyen birleşim ve üretim faktörleri oldukça fazladır. Birleşim faktörlerinin başında su/çimento oranı gelir. Beton karışımına katılan su, toz çimentonun kristalleşmesi (yani hidratasyonu) ve agrega tanelerinin yüzeylerinin ıslanması için gereklidir. Bu arada bir kısım su, çimento tanelerinin yüzeyleri tarafından elektro-statik kuvvetlerle tutulur, buna adsorpsiyon suyu denilir, bu suyun tutulması önlenemez ve bu suyun varlığı çimento hamuruna sertleştikten sonra dahi

çok farklı nitelikler verir. Adsorpsiyon suyu betonun sünme yapmasına rötne (büzülme) yapmasına nedendir. İşte çimento ve agrega taneleri tarafından tutulan bu üç tür sudan, agrega yüzeylerini ıslatan su, sertleşmeden sonra buharlaşarak yerini boş bırakır. Boşluklu yapıdaki betonun da dayanımı doğal olarak düşer. Su/çimento oranının basınç dayanımına etkisi bu nedene dayanır. Hidratasyon suyu ve adsorpsiyon suyu azalmayacağına göre asıl problem agrega ıslanma suyunu minimuma indirgeyebilmektir. ıslanma suyunu minimuma indirgeyebilmek için başvurulacak yollar şöylece sıralanabilir:

- Agrega maksimum tane çapını büyük seçmek.
- Agrega granülometrisini mümkün olduğunca iri yapabilmek, iri agrega/ ince agrega oranını yükseltmek ..
- Agrega yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, yuvarlak ve biçimli agrega kullanmak.

-Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile agrega yüzeylerinin daha kolay ve az suyla ıslanmalarını sağlamak.

Basınç dayanımına etkileyen faktörler arasında çimentonun dozaj ve türü de elbette rol oynarlar. Dozajın artması pozitif etki yapacaktır. Bu etki maksimum agrega çapı küçüldükçe belirginleşir, bu bakımdan dozaj arttırımını tane çapı ile birlikte düşünmek gerekir. Dozajı fazla arttırma da anlamsızdır, zira betonun rötne yapma olasılığı da artar ve beton çatlaklı bir yapıya dönüşür, dayanımı düşer, geçirimli olur. Basınç dayanımını etkileyen birleşim parametreleri dışında taşıma, yerleştirme ve kür koşulları da önemli etkenlerdir. Taşıma ve yerleştirme sırasında betonda ayrışma (segregasyon) meydana gelebilir. İri taneler dibe çöker, katmanlı yapı oluşur, iri taneli kısım daha yüksek mukavemetlidir, böylece dayanım homojen dağılmaz, her katman farklı dayanıma sahiptir. Vibrasyonun fazla uygulanması, betonun boşaltılması sırasında önlem alınmaması gibi hususlar dayanımın düşmesine, homojenliğinin kaybolmamasına neden olurlar. Betonun kuru, yeşil beton aşamasında betonun kurumadan ve sıcaklık yükselmesinden, rüzgar ve yağmurdan, donmadan korunması anlamında kullanılan bir sözcüktür. Beton üretiminden sonra sulanır, bu işlem 3-4 gün sürer. Genellikle sulama işleminde hata yapılır, sulanan beton havaya açık bırakılır ve kurur. Bu durumda beton daha kötü koşullara maruzdur. Aslında betonu sürekli ıslak tutmak şarttır. Yeterli kür uygulanmayan betonlarda çatlaklar meydana gelir, hidratasyon yeterli düzeye varmaz ve dayanım düşük olur.(Akman, 1990)

2.4.5 İşlenebilme

İşlenebilme bir taze beton özelliğidir. Bu özelliği nitelemede bazen kullanılan kıvam deyimi, işlenebilmenin tanımında belirtilen tüm özellikleri kapsamaz, bu bakımdan eş anlamlı bir sözcük değildir. Sıvılar için kullanılan kıvam deyimi, taze betonun akıcılık niteliğini tanımlar. Daha geniş anlamlı bir özellik olan işlenebilmede bir enerji kavramı mevcuttur. İşlenebilir bir beton, minimum enerji ile karıştırılır ve yerleştirilir, kalıbı minimum boşlukla doldurur, taşınma ve yerleştirme sırasında segregasyona uğramaz. Bu niteliklere aynı anda sahip olabilmek kolay değildir. Akıcı bir betonda karıştırma ve yerleştirme işlemleri minimum enerji ile sağlanabilir, ancak bu betonlarda kendini tutma yeteneği (kohezyon) yeterli değildir, bunlarda segregasyon ve su kusma (terleme), tehlikesi fazladır. Şu halde işlenebilme için akıcılık ve kohezyon gibi ters iki özelliğin optimal çözümü gerçekleştirilmelidir.

Kıvamlarına göre betonları kuru (nemli toprak), plastik ve akıcı olarak sınıflandırırız. Bu sınıflandırmada su içeriği birinci derecede rol oynar, daha sonra agreganın kökeni ve yüzey özellikleri işe girer, örneğin dere kumu, çakıl, kırmataş, kırma kum gibi farklı agregalarda aynı kıvamı tutturabilmek üzere farklı miktarlarda su gerekir.

Betonun işlenebilmesi yerinde yapılacak gözlemlere dayanır, İşlenebilmeyi ölçmek için geliştirilmiş çok sayıda alet vardır. Bunlar işlenebilmenin belirli niteliklerini ölçmeye yararlar, tüm nitelikleri birlikte nicelendiren alet yoktur.

Halen en yaygın alet Abrams konisi dediğimiz kesik konidir. Üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm ve yüksekliği 30 cm olan bu koni, üç eşit yükseklikte gevşek doldurulan betonla doldurulur, her tabaka özel çubuğu ile 25 defa şişlenir. Kulplarından kaldırılan çelik koni içindeki beton kalıbından kurtulunca kendi ağırlığı ile çöker, çökme miktarı kıvamın bir ölçüsüdür. Slump veya çökme dediğimiz bu miktar, daha çok su içeriğinin bir fonksiyonudur. Aynı agregalar ve çimento kullanılan betonlarda çökmenin artması, her zaman katılan su miktarının çoğaldığının bir işaretidir. Çöken betonun aldığı şekil de kohezyon hakkında fikir verir, kohezyonsuz betonlarda, beton eğimli düzlemler boyunca kayar, kohezyon eksikliği ince tanelerin eksikliğinin bir göstergesidir. Çok kolay olan bu deney şantiyelerde de kolaylıkla gerçekleştirilir. Bu deneyin plastik ve akıcı betonlarda anlamlı olduğu aşıkardır.

Daha ziyade labaratuvarlarda yapılan VeBe testi, vibrasyona uygun kuru ve plastik betonlar için geçerlidir, Önce Abrams konisine doldurulan beton, düşük devirli vibrasyona (3000 d/d) tabii tutulur. Koni daha geniş silindir içine yerleştirilmiştir, çelik konik kalıp kulplarından tutulup kaldırıldıktan sonra üzerine silindir kap çapında yarı şeffaf bu disk konur, bu disk düşeyde serbestçe hareket etmek üzere merkezinden kılavuzlanmıştır. Diskin yerleştirilmesinden hemen sonra vibrasyon uygulanır ve kronometreye basılır, Disk beton yüzeyini boşluksuz biçimde örtene ve beton geniş silindiri boşluksuz doldurana kadar vibrasyon sürer. Uygulanan vibrasyon süresi ölçülür. Bu süre betonun tam sıkışması ve koni geometrik formundan silindir formuna geçmesi için gerekli enerji ile orantılı bir sayıdır, VeBe zamanı adını alır. VeBe deneyi işlenebilme özelliğinin enerji ve boşluksuz yerleşme tanımlanmış ölçebilen bir yöntemdir. Zaman 3 saniye 13 saniye arasında kalırsa anlamlıdır.

Abrams konisinde çökme en az 2,5 cm olmalıdır. 18-20 cm ' e kadar olan ölçmeler anlamlıdır. Bu sınırların dışındaki değerler ise anlamlı ölçme sınırlarının dışındadır.

İngiliz standartlarında kullanılan bir işlenebilme ölçme aygıtı ise sıkışma faktörü (compacting factor) ölçme aygıtıdır. İki farklı boyutta olan bu aygıtlar agrega tane çapının fonksiyonu olarak seçilir. Normal betonarme betonlarında küçük aygıt kullanılır. Amaç belli bir enerji ile sıkıştırılan betonun, tam sıkışmış betona göre değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme her iki betonun birim ağırlıklı oranlanarak yapılır. Belli bir enerji deyişi, deneydeki serbest düşme sırasında oluşan kinetik enerjidir. Taze betonun kıvamı üzerine etkiyen pek çok faktör vardır.

Agreganın biçimi, yüzey pürüzlülüğü taze betonun iç sürtünmesinde önemli rol oynarlar. İç sürtünme taneler arası, tanelerle çimento hamuru arasındaki sürtünmedir. Dış sürtünme ise beton ile kalıp ve donatı arasındaki sürtünmedir. Dış sürtünme seçilecek kıvam ve seçilecek maksimum tane çapı için bir kıstastır. İç sürtünme ise taze betona ait bir malzeme özelliğidir. İç sürtünmeye agrega yüzey ve şekil özellikleri dışında agregadaki ince malzeme oranı ve çimentonun bazı özellikleri etkir. Betonun kohezyonunu artıran faktörler iç sürtünmeyi de artırır. Tıpkı ince agreganın artması gibi çimentonun inceliğinin fazla olması ve çimentonun su tutma yeteneğinin artması iç sürtünmeyi fazlalaştıran faktörlerdir. Kumun biçimsizliği işlenebilme üzerinde negatif etki oluşturur. Yassı taneler içeren ve çok ince kumlar

sakıncalıdır. İşlenebilmeyi etkileyen kuma ait bu faktörler, sertleşmiş betonda da dayanımın düşmesine yol açarlar.

Agrega bahsinde de belirtildiği gibi süreksiz (kesikli) granülometriye sahip betonlar da işlenebilme zordur. Daha dolu bir beton üretimine imkan veren kesikli granülometriye sahip agregalar, işlenebilmedeki sorunları yüzünden tercih edilmezler.

Günümüzde yaygınlaşan pompa betonlarında işlenebilmenin özel bir yeri vardır. Pompa betonlarında fazla akışkan betonlar segregasyon tehlikeleri nedeniyle sakıncalıdır. Pompa betonu sadece hareketli pompalarla dökülmez. Küçük hazır beton tesislerinde kullanılan bu pompalar dışında yatay mesafelere iletim yapan sabit pompa sistemleri de vardır. Bunlarda beton akıcıdan çok plastiktir ve pompa ağzından çıkan beton 25-30 cm kopmadan iletilebilecek kıvamda olmalıdır. Bu yüksek bir kohezyonu gerektirir. Yüksek kohezyon ise ince malzeme, filler oranı artırılarak sağlanır. Pompa betonların da ikinci sorun boru-beton arasındaki dış sürtünmenin düşük değerde olmasıdır. Ancak bu suretle pompa gücünün aşırı olması gerekmez ve bu güçten sağlanan randıman yüksek olur. Bu dış sürtünme agregata tane çapını küçültmek, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak (yuvarlak malzeme kullanılmakla) ve akıcılığı arttırmakla sağlanır, Kohezyon ve akıcılık gibi iki ters etkiyi bağdaştırmak ancak akışkanlaştırıcı bir katkı maddesi kullanmakla mümkündür. (Akman, 1990)

2.4.6 Dayanıklılık (Dürabilite)

Bir betonun dış etkilere ve özellikle zarar verici kimyasal dış etkilere direncinde birinci derecede rol oynayan faktör betonun geçirimsizliğidir.

Suya olan geçirimsizlik kimyasal direnç yönünden ve donma çözülme, aşınma gibi fiziksel dayanıklılık yönünden önemlidir. Kimyasal zararlı maddeler ancak su içinde çözünerek betona girebilirler, su emmesi az olan betonda buz haline gelebilecek su bulunmaz, betonun ıslanması aşınmayı kolaylaştıran bir etken olmaktadır.

Çatlaklar içeren bir betonda geçirimsizlik doğal olarak yüksektir. Beton üretiminden hemen sonra türlü nedenlerde çatlaklar. Ancak bu çatlaklar genişlik bakımından farklıdır. İnce çatlaklar (mikro çatlaklar) geçirimsizliği fazla bozmazlar. Çatlaklara neden olan

rötre olayıdır. Rötrenin şiddetine ve rötre yapmış betonun daha sonra maruz kalacağı yükleme durumuna bağlı olarak bu çatlaklar çok genişleyebilirler.

Rötre, çimentoların iç yapısının bir sonucudur. Sertleşen çimentoda jel yapı dediğimiz bir iç yapı vardır. Çok ufak kristallerden oluşan hidrate çimento taneleri yüzeylerinde tuttukları (elektrostatik kuvvetlerle) adsorpsiyon suyu nedeniyle yarı katı sayabileceğimiz bir jel yapısına sahip olurlar. Daha önce de belirttiğimiz bu adsorpsiyon suyu kolay kolay buharlaşmayan ve betonun tüm ömründe içinde kalan bir sudur. Daha geniş ve dışa açık çatlaklardaki (kılcal çatlaklar) su buharlaşınca jel boşluklarında adsorpsiyon suyunun bir kısmı bu geniş çatlaklara doğru hareket eder, jel suyu kalınlığı azalır, katı kristaller birbirlerini daha kuvvetle çekerler ve beton kütlesi büzülür, rötre yapar. Buna karşılık beton su içine atılırsa, jel boşluklarındaki adsorpsiyon suyu kalınlığı artar, kristalleri bağlayan kuvvet azalır ve beton şişer. Bu rötre ve şişme olayları yaşlı betonlarda da gözlenir. Yukarıda açıkladığımız rötre, sertleşmiş beton rötresi veya hidrolik rötre adını alır. Üretimi izleyen ilk ayda en büyük değerini alır, ancak doğal koşullarda 3-5 yıl azalarak sürer. Yüksek dozajlı betonlarda, çok fazla su ile üretilen betonlarda PÇ 42.5-PÇ 52.5 gibi yüksek dayanımlı çimentolu betonlarda agregası yeterince sert olmayan ve agregası düşük betonlarda bu rötre fazladır. Ayrıca hızlı dökülen kütle betonlarında, buharlaşmanın fazla olduğu kuru, rüzgarlı ve sıcak iklimlerde de rötre miktarı yüksek olur. Bu rötrenin serbestçe oluşması önlenirse beton bünyesinde çatlaklar meydana gelir.

Bu rötre türü dışında termik rötre ve erken rötre adını verdiğimiz rötrelere de mevcuttur. Termik rötre çimentonun hidratasyon ısısı açıklanırken ele alındı. Erken rötre ise son yıllarda daha sık rastlanan bir rötre türüdür ve priz sona ermesine yakın veya sona ermesinden hemen sonra ortaya çıkar. İki farklı nedenin birleşmesi sonucu meydana gelir ve genellikle üst yüzeye yakın donatıları izleyen çatlakların oluşmasına yol açar. Nedenlerden biri beton üst yüzeyinin büzülmesidir. Buna plastik rötre adı verilir. Diğer betonun oturmasıdır. Plastik rötre beton üstünde terleyen suyun buharlaşan sudan az olması sonucu meydana gelir. Buharlaşma rüzgar, ortam neminin azlığı, sıcaklığın yüksekliği ve beton iç sıcaklığının fazla olması sonucu büyük değerler alır. Öte yandan terlemenin az olması betonun suyunu bırakmamasına bağlıdır, fazla ince öğütülmüş çimentolar (Bazı TÇ'ler ve PÇ 52.5), hava sürükleyici katkı içeren betonlar ve yeterince su içermeyen betonlarda su tutuculuk fazla

olmaktadır. Betonun oturması ise akıcı betonlarda görülen segregasyon sonucu ortaya çıkmaktadır. Akıcı betonlarda vibratör uygulanmaması sonucu yerleştiği zannedilen fakat boşluklu kalan bu betonlarda kısa bir süre sonra oturma oluşmakta, çökelen beton, üst kısımda donatı üzerinde çatlamaktadır.

Betonun geçirimliliği üzerine etkiyen bir diğer faktör çimento dozajıdır. Çimento dozajı agrega boşluklarını tam dolduracak kadar olmalıdır. Deniz yapılarında dozajın daha yüksek tutulması istenir.

Su/çimento oranının yüksek olması da boşluklu bir beton elde edilmesine nedendir. Bu yüzden geçirimsizlik istenen yapılarda bu oranın 0,45'i aşmaması gerekir. Bu düşük oranı katkısız elde etmek hemen hemen imkansızdır. Akışkanlaştırıcı bir katkı kullanılması zorunluluk taşır.

İyonların geçirimliliği su moleküllerine oranla daha kolaydır. Buna iyonların difüzyonu diyoruz. Özellikle Cl^- iyonlarının difüzyonu betonarme çelik donatısının paslanması açısından önem taşır. Daha önce de belirtildiği gibi çimentonun silikatlarının hidratasyonu sırasında açığa çıkan sönmüş kireç $Ca(OH)_2$ bu difüzyonu durdurur. Ancak havada kalan yapılar da bu kireç, havadaki karbon dioksitle reaksiyona girerek nötr bir tuz olan kalsiyum karbonata (kireç taşı) dönüşür ve koruma yeteneğini yitirir. Bu olaya karbonatlaşma adı verilir.



Karbonatlaşma olayı betonarmenin servis ömrünü belirler. Bu etkinin daha uzun sürede devam etmesi için donatı daha derine gömülür. Çelik dışındaki beton kalınlığına paspayı denilmesinin sebebi budur. Bina içinde 1,5 cm. olan paspayı, dışında 2,5 cm deniz kenarında 5 cm olur. Cl^- iyon difüzyonunu önlemek üzere betona katkı maddeleri de ilave edilir, bunlar kalsiyum nitrit içeren katkılardır. Çimento dozajının yüksek tutulması difüzyonu azaltır. Filler içeren çimentolarda difüzyon fazla olmaktadır. Betonun dayanıklılığı üzerinde zarar oluşturan kimyasal ortamlar asitli, sülfatlı, nitrath, magnezyumlu ortamlar ve deniz suları olmaktadır. Kimyasal yapı itibarı ile bazik karaktere sahip olan betona tüm asitler zarar verir. Belirli endüstriyel yapılar dışında beton kuvvetli asitlerle pek karşılaşmaz. Kağıt üretimi, bakır üretimi yapan fabrikalarda asit sülfürik (H_2SO_4) petrokimya tesislerinde

asit klorhidrikle (HCl) karşılaşan betonlar vardır. Bu durumlarda betonun muhakkak bir kaplama malzemesiyle korunmaya alınması gerekir, bu malzeme asite dayanıklı bir polimer (epoksi reçinası, furan reçinası) olur. Doğada betona etki yapan asit, asit karboniktir. Doğadaki pek çok suda asit karbonik yani erimiş halde CO_2 gazı mevcuttur. Asit karbonik karbonatlaşmış $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'yi eriterek çözer. Ancak suda sertlik fazla olursa bu reaksiyon tersine dönebilir.

Sertleşmiş çimento üzerindeki sülfat etkisi iki aşamalıdır. Çimentonun sönmüş kireci ile reaksiyona giren sülfat anionları önce alçıtaşı oluştururlar, bu oluşum nispeten düşük bir hacim artması ile olur, daha sonra bu alçıtaşı çimentodaki trikalsiyum alüminat hidrate ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ile etrenjit tuzunu (yüksek sülfatlı sülfö alüminat tuzu) oluşturur. Çok büyük hacim artışı ile meydana gelen bu kristalleşme betonu patlatır. Bazı zeminlerde ve bu zeminlerden geçen sularda bu olaya rastlanır. Alçıtaşı dışındaki sülfatlarda da benzer etki oluşur, ancak önce bu sülfatların alçıtaşına dönüşmesi gerekir. Sülfat etkisinden korunma uygun çimento seçmekle mümkündür. Fabrikalarda üretilen sülfata dayanıklı portland çimentolarında $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ miktarı %5 ile sınırlıdır. Traslı çimentolar ve özellikle cürufu çimentolar nispeten sülfata dayanıklı olurlar. Diğer sülfatlar arasında bir gübre olan ammonium sülfat, sülfirik ve nitrik asite dönüşerek şiddetli bir asit etkisi meydana getirir. Bu madde ile temasta kalan yerleri de epoksi veya furan reçinası ile kaplamak gerekir. Bir başka yapay gübre olan ammonium nitrat da betonu çözererek hasar yapar. Etki bir tür nitrik asit etkisidir. TÇ'li betonlarda hasar daha alt düzeyde kalır.

Deniz suyu, içerdiği magnezyum sülfat nedeni ile sertleşmiş betonda hasar oluşturur. Mg^{2+} iyonları, silikatların bünyesindeki Ca ile yer değiştirerek, esas taşıyıcı öge olan silikat hidratelerin yapısını bozar ve betonu tahrip ederler. Mg sülfatın etkisi böylece klasik bir sülfat etkisinden farklıdır. Son zamanlara kadar bu etki de bir sülfat etkisi gibi düşünülür ve deniz yapılarında sülfata dayanıklı çimento ($\text{C}_3\text{A} < \%5$) şart koşulurdu. Bunun doğru olmadığı, hatta C_3A nın klor diffüzyonunu önlemesi yönünden yararlı olduğu görüldü ve deniz yapılarında sülfata dayanıklı çimento kullanımından vazgeçildi. Deniz suyundaki NaCl tuzunun betona büyük zararı olmamaktadır. Ancak bu tuz da buharlaşma sonucu kristalleşince büyük bir iç basınç meydana getiriyor, bir yüzü ıslanan, diğer yüzü buharlaşmayla kuruyan deniz yapılarında (iskeleler gibi) bu kristalleşmenin hasarları görülüyor.

Betona fiziksel yönden zarar veren etkenler arasında aşınma, türlü şekillerde karşımıza çıkar. Araçların yaptığı aşınmaya abrazyon, sıvı ortamda sürüntü maddelerin yaptığı aşınmaya erozyon, kanallarda hava kabarcıklarının yaptığı aşınmaya kavitasyon adı verilir. Şartnamelerde, abrazyona dayanıklı bir betonun 28 günlük basınç dayanımının en az 28 N/mm^2 , erozyona dayanıklı bir betonun 42 N/mm^2 olması önerilir. Bu yaklaşım dışında betonların agregalarının sert olmaları ve bu sertliğin tüm agregalarda eşit olması ve maksimum tane çapının 25 mm'yi aşmaması da tavsiye edilir.

Fiziksel etkenler arasında donma-çözülme, bu olayın çok tekrarlandığı iklim koşullarında daha tahrip edici olur. Örneğin Orta Anadolu iklimi, Doğu Anadolu ikliminden daha tehlikelidir. Sertleşmiş beton içinde çok ufak, bağımsız ve küresel hava boşlukları oluşturarak donma hasarı azaltılır, bunun hava sürükleyici katkılarla sağlandığı daha önce belirtildi. Fazla su emen ve kılcal boşluk içeren agregalar sakıncalıdır, bu sakınca büyük çaplı agregalarda daha belirgindir. Maksimum tane boyutunun kritik boy sayılan 12,5 mm'den büyük olmaları durumunda ve eğer agregalar boşluklu ve su emen türde ise donma hasarı büyük olmaktadır. Şartnameler donma-çözülmeye maruz kalacak betonlarda su/çimento oranını, yapı elemanının boyutuna ve iklim koşullarına göre sınırlar. İnce yapı elemanlarında bu oran 0,40 mertebesine düşer. Genelde 0,58 oranının aşılmaması önerilir. Betonun iç yapısından kaynaklanan ve dayanıklılığı önemli ölçüde bozan olay alkali agrega reaktivliğidir. Bu konu detaylı biçimde ele alındı. Buna benzer bir olayın dolomit agregalarında da olduğu öne sürülür. Ancak az rastlanan bu reaktivlik, tamamen ayrı bir süreçte gelişir ve daha ziyade kil damarları içeren dolomit agregalarında, kilin şişmesi sonucu meydana gelir.(Akman, 1990)

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Betonların en önemli parametresi basınç dayanımlarıdır. Bu nedenle standartlarda beton sınıflandırması üretilen betonların basınç dayanımlarına göre BS 15, 20, 25, 30, 35 gibi adlandırılırlar. Dünyada bütün beton sınıfları basınç dayanımlarına göre sınıflandırılırlar. Biz de uçucu kül kullanılarak üretilen betonların kıyaslamasını 3,7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına göre yaptık.

3.1 Deneylerin Yapılışı

3.1.1 Beton hazırlanması

Beton üretmek için;

- Çebeci firmasından I ve II no'lu kırma taş ve kırma kum temin edilmiştir.
- Podima deniz kumu kullanılmıştır.
- Akçansa firmasının PÇ 42,5 çimentosu kullanılmıştır.
- Kimyasal katkı olarak Onto Kimya firmasının Fluiment 200 süperakışkanlaştırıcısı kullanılmıştır.
- Denemde kullanılan uçucu kül Orhanelinden temin edilmiştir.

Çizelge 3.1 Çimento ve uçucu kül numunelerinin kimyasal bileşimleri

Bileşen (%)	PÇ 42.5	Uçucu Kül
Çözünmeyen Kalıntı	0.28	-
SiO ₂	20,31	48.70
Al ₂ O ₃	5.28	19,88
Fe ₂ O ₃	3.48	5,14
S+A+F	-	73,72
CaO	64,06	19,08
MgO	1,04	1,45
SO ₃	2,69	-
Na ₂ O	0,18	0,45
K ₂ O	0,83	1,78
TiO ₂	0,29	
Kızdırma Kaybı	1,55	1,87

Yapılan karışım yüzdeleri, kullanılan agregaların granülometreleri göz önüne alınarak, çimento dozajı da üretilecek beton sınıfı düşünülerekten hesaplanmıştır.

Çizelge 3.2 Üretilen betonların bileşimleri ve taze beton özellikleri

Toplam bağlayıcı miktarı (kg/m ³)	PÇ 42,5 400							PÇ 32,5 400
U. kül ikame yüzdesi (%)	0	5	15	25	35	24*	25*	0
	1	2	3	4	5	6	7	8
Çimento (kg/m ³)	400	380	340	300	260	349,6	327,6	400
Uçucu kül (kg/m ³)	0	20	60	100	140	110,4	109	0
Çimento + Uçucu Kül	400	400	400	400	400	460	436,6	400
Kırmataş II (kg/m ³)	549	549	549	549	549	549	549	549
Kırmataş I (kg/m ³)	400	400	400	400	400	400	400	400
K. Kum (kg/m ³)	358	358	358	358	358	358	358	358
D. Kum (kg/m ³)	479	479	479	479	479	418,6	442	479
Toplam Agrega	1786	1786	1786	1786	1786	1725,6	1749	1786
Katkı Fluiment 200	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Su (kg/m ³)	188	188	188	188	188	188	188	188
TOPLAM KATI MADDE	2186	2186	2186	2186	2186	2186	2186	2186
Su/(Çimento+U.Kül) oranı	0,47	0,47	0,50	0,52	0,57	0,52	0,56	0,46
Çökme (cm)	19	20	18	19	19	18	19	19

Yukarıda yapılan çalışmada ilk olarak 400 kg/m³ çimento dozajında şahit beton hazırlanmıştır.

İkinci üretilen betonda, yalnızca %5 oranında uçucu kül, çimentoyla yer değiştirilmiştir.

Üçüncü üretilen betonda %15 oranında uçucu kül çimentoyla yer değiştirilmiştir.

Dördüncü üretilen betonda %25 oranında uçucu kül çimentoyla yer değiştirilmiştir.

Beşinci üretilen betonda %35 oranında uçucu kül çimentoyla yer değiştirmiştir.

Üretilen beş beton üretiminde de agrega miktarlarında hiç bir değişiklik olmamıştır.

İkinci aşama altıncı beton üretiminde, toplam uçucu kül ve çimento miktarı 460 kg/m^3 olarak değiştirilmiş ve ayrıca deniz kumu miktarında bir azaltma yapılarak şahit betonla aynı dayanımı verebilecek beton üretilmeye çalışılmıştır.

Yedinci beton üretiminde toplam uçucu kül ve çimento miktarı $436,6 \text{ kg/m}^3$ olarak değiştirilmiştir. Ayrıca deniz kumu miktarında azaltma yapılmıştır.

Sekizinci beton üretiminde PÇ 42,5 çimentosu yerine PÇ 32,5 çimentosu kullanılarak bir deneme yapılmıştır.

3.1.2 Basınç dayanımlarının ölçülmesi

Üretilen betonlardan $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$ boyutlarında küp numuneler alınmıştır. Bu numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkartılmıştır. 20°C sıcaklığında kür havuzunda saklanmıştır. Kırımı yapılacak olan numuneler 3,7 ve 28. günlerin sonlarında kür havuzundan çıkartılmıştır. Deney presinin çelik yükleme plakaları ve bunlarla temas edecek numune yüzeyleri iyice temizlenmiştir. Küp numuneleri bu plakalar arasına yerleştirmiş ve bunların basınç dayanımları ölçülmüştür.

3.1.3 Deney Sonuçlarının Kendini Tekrarlaması

Yaptığım deney sonuçlarının daha doğru yorumlanabilmesi için, deneyin yapıldığı presin sonuçlarının kendini ne oranda tekrarladığının kontrol edilmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu sebeple presin kırım sonuçlarının kendini tekrarlaması saptanmıştır.

Bu çalışmada üretilmiş olan ilk betondan 3 gün sonar kırılmak üzere 6 adet numune alınmıştır. İkinci üretilen betondan da 7 günlük dayanımların kıyaslanması için, 6 adet numune alınmıştır. 28 günlük numunelerin dayanımlarını karşılaştırmak için ise 6 adet numune alınmıştır. Bu üretilen betonların hepsi kalıplarına aynı şekilde yerleştirilerek aynı ortam koşullarında saklanmışlardır.

Çizelge 3.3 Pres kalibrasyon çizelgesi

		NUM1	NUM2	NUM3	NUM4	NUM5	NUM6	ORT
DK1	3 günlük	333	332	326	337	322	331	331
DK2	7 günlük	472	468	471	453	481	480	470
DK3	28 günlük	519	556	548	543	553	531	541

Bu yapılan çalışmanın sonucunda, 3 günlük dayanımlar 6 numunenin ortalamaları ile karşılaştırıldığında en fazla %2,7'lik bir sapmanın olduğu görülmüştür. 7 günlük dayanımlar karşılaştırıldığında ise en fazla % 3,6' lık bir sapmanın olduğu görülmüştür. 28 günlük dayanımlar karşılaştırıldığında da en fazla % 4'lük bir sapmanın olduğu görülmüştür. Bu nedenle bölüm 3.2 de verilen değerlerin $\pm$ %4' lük belirsizliğe sahip olduğu düşünülmelidir. Bir örnek verirsek, bu nedenle çizelge 3.4' de 1 ve 6 no'lu betona ait 548 ± 22 ve 536 ± 21 kgf/cm² değerindeki 28. günlük dayanımların aynı olduğu kabul edilmiştir.

3.2 Deney Sonuçları

3 ve 7 günlük mukavemet, erken dayanıma ihtiyaç duyulan yerlerde önemlidir. Bu yerler korozyon veya zararlı madde etki riski olan, karbonatlaşmadan kaynaklanan korozyon, klorürden kaynaklanan korozyon, donma çözünme etkisi, kimyasal etkilerin olduğu durumlardır.

Üretilen beton numuneleri 3 günlük mukavemetler açısından kıyaslandığında, bütün beton karışımların PÇ 32,5 çimentosuyla hazırlanan betondan daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. PÇ 42,5 çimentosuyla üretilen betonlara göre kıyaslandığında ise çimento yerine %5 ve %15 uçucu kül karıştırılarak hazırlanmış betonlar, PÇ 42,5 çimentosu kullanılarak hazırlanmış şahit betondan daha iyi sonuç vermektedir. Çimento yerine %25 uçucu kül katılarak ve agrega veya çimento yerine uçucu kül katılarak üretilen betonlar PÇ 42,5 çimentosu kullanılarak üretilen şahit betonla aynı sonucu vermektedir.

Çizelge3.4 Üretilen betonların mukavemetleri

Çalışma Özelliği	400 kg/m ³ Dozajlı Serilerin Basınç Dayanımları (kgf/cm ²) PÇ42,5			400 kg/m ³ Dozajlı Serilerin Basınç Dayanımları (kgf/cm ²) PÇ32,5		
	3 gün	7 gün	28 gün	3 gün	7 gün	28 gün
1 No'lu Beton	315 ±13	345 ±14	548 ±22	-	-	-
2 No'lu Beton	328 ±13	348 ±14	533 ±21	-	-	-
3 No'lu Beton	331 ±13	340 ±14	501 ±20	-	-	-
4 No'lu Beton	312 ±12	320 ±13	491 ±20	-	-	-
5 No'lu Beton	214 ±9	296 ±12	438 ±18	-	-	-
6 No'lu Beton	314 ±13	417 ±17	536 ±21	-	-	-
7 No'lu Beton	279 ±11	376 ±15	520 ±21	-	-	-
8 No'lu Beton	-	-	-	137 ±5	217 ±9	440 ±18

Üretilen beton numuneleri 7 günlük mukavemetler açısından kıyaslandığında da, bütün beton karışımların PÇ 32,5 çimentosuyla hazırlanan betondan daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. PÇ 42,5 çimentosuyla üretilen betonlara göre kıyaslandığında ise çimento yerine %5 ve %15 uçucu kül karıştırılarak hazırlanmış betonlar, PÇ 42,5 çimentosu kullanılarak hazırlanmış şahit betonla aynı sonucu vermektedir. Çimento yerine % 25 uçucu kül ve agrega veya çimento yerine uçucu kül katılarak üretilen betonlar PÇ 42,5 çimentosu kullanılarak üretilen şahit betondan daha iyi sonuçlar vermektedir.

Üretilen beton numunelerinin 28 günlük mukavemetleri açısından kıyaslandığında, yine, bütün beton karışımlarının PÇ 32,5 çimentosuyla hazırlanan betondan daha iyi sonuçlar verdiği izlenmektedir. PÇ 42,5 çimentosuyla üretilen şahit betonla kıyaslandığında ise çimento yerine %5 uçucu kül karıştırılarak hazırlanmış betonlar, şahit betonla aynı sonucu vermektedir. Çimento yerine %25 uçucu kül katılarak ve agrega veya çimento yerine uçucu kül kullanılarak üretilen betonlar PÇ 42,5 çimentosu kullanılarak üretilen şahit betonla aynı sonuçları vermektedir.

4. UÇUCU KÜL KULLANILMASININ EKONOMİK BOYUTU

Yapılan çalışmayı kısa vadeli maliyetler açısından incelersek;

Öncelikle, üretilen betonların maliyet tablosu oluşturulmalıdır. Bu hesaplamalar yapılırken kullanılan malzemelerin fiyatları; PÇ 42,5 çimentosu 45 \$/ton, PÇ 32,5 çimentosu 40 \$/ton; Kırma taş II 5 \$/ton; Kırma taş I 6 \$/ton ; Kırma kum 6 \$/ton ; Deniz kumu 6 \$/ton olarak alınmıştır.

Çizelge 4.1 Üretilen betonların maliyet analizi ve karşılaştırılması

Deney Karışımı	Beton Maliyeti (\$/ton)	Maliyet Farkı % 42,5	Maliyet Farkı % 32,5
1 No' lu karışım	12,89	0	
2 No'lu karışım	12,52	2,9	
3 No'lu karışım	11,79	8,5	1,5
4 No'lu karışım	11,06	14,2	7,6
5 No'lu karışım	10,32	19,9	13,8
6 No'lu karışım	11,78	8,6	1,6
7 No'lu karışım	11,45	11,2	4,3
8 No'lu karışım	11,97	9,3	0

2 no'lu beton 1 no'lu betondan %2,9 ; 6 no'lu beton 1 no'lu betondan %8,6 daha ucuza, eşdeğer (hatta bazı açılardan daha nitelikli) bir beton elde etmemizi sağlamaktadır.

PÇ 32,5 çimentosu ile üretilen betondan daha nitelikli olan 3,4,6 ve 7 no' lu beton PÇ 32,5 'la yapılarına göre sırasıyla %1,5 , %7,6 , %1,6 ve %4,3'lük farklarla daha ucuza mal olmaktadır.

PÇ 32,5' la eşdeğer olan 5 no'lu beton ise %13,8 kadar daha ucuza mal olmaktadır.

Dolayısıyla, çimento yerine uygun uçucu küller kullanmak, çevresel, sosyal ve makro ekonomik yararların yanında, inşaatların kısa vadeli maliyetlerini de düşürebilir.

Uçucu kül birim ağırlığı başına ucuz bir malzeme olduğu için taşınmasının çok masraflı olacağından, bulunduğu yerin 150 km civarından daha uzağa taşınması düşünülemez.

Orhaneli termik santrali İzmit , Eskişehir, Bursa gibi önemli tüketim yerlerine yakındır. Ama Orhaneli'nden elde edilen uçucu külün ekonomik nedenlerle örneğin Adana'da kullanılması düşünülemez.



5. SONUÇ

a) Çimentonun içine belli oranlarda uçucu kül kullanılarak kullanılabilir nitelikte beton yapmanın mümkün olduğu görülmektedir. Yaptığımız kıyaslamada PÇ 42,5 yerine %35 oranında Orhaneli uçucu külü koyarak yaptığımız beton, PÇ 32,5'tan bazı yönleriyle ona eşit, bazı yönleriyle daha nitelikli beton üretmemizi sağlamaktadır. Elde ettiğimiz diğer bütün betonlar PÇ32,5 tan çok daha niteliklidir.

PÇ 42,5 çimentosu yerine %5 uçucu kül eklediğimiz yada çimentonun yerine 0,125 kadar uçucu kül , agrega yerine ise 0,035'i kadar uçucu kül eklediğimizde PÇ 42,5 çimentosu ile üretilen betonla aynı nitelikte ve bazı açılardan daha üstün beton elde etmemizi sağlamıştır.

b) Çimento yerine uçucu kül kullanmak, bizi denize dökülmek zorunda bırakılan uçucu kül atığından kurtarmaktır. Uçucu küller çok az miktarda da olsa ağır metaller içerdiğinden istenmeyen atıklardır. Böyle bir işlem çevre dostu işlemdir.

c) Çimento yerine uçucu kül kullanmak, termik santrallerdeki toz arıtma tesislerine hem atıklarını bertaraf edebilmeleri, hem de atıklarından az da olsa bir gelir sağlanabilmeleri açısından Türk linyitleri ile çalışan termik santrallerdeki çevre ile ilgili arıtmayı yapmalarına destek olacak bir işlemdir. Bilindiği gibi Türk linyitleri çok düşük kalorili, yüksek kül içerirler. Bunların baca gazı arıtma tesislerinde toplam kül miktarı, elde edilen birim kw/h elektrik başına çok yüksektir.

d) Çimento üretimi enerji yoğun bir üretimdir. Çimento ton başına 40-50 kW elektrik enerjisi tüketir. Çimentonun yerine uçucu kül gibi bir maddenin konması, hem Türkiye'de enerji tüketimini azaltmak, hem de çevre açısından yararlı bir iştir.

e) Çimento yerine uçucu kül kullanılarak üretilen betonlarla daha nitelikli ve ucuz beton üretmek mümkündür.

KAYNAKLAR

- Akman M. Süheyl, (1990),Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü Yayın No:1408, İstanbul .
- Akman M. Süheyl, (1992), Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İ.T.Ü Yayın No:1481, İstanbul .
- Kocataşkın Ferruh, (1966), Yapı Malzemesi Bilimi, İstanbul.
- Postacıoğlu Bekir, (1987), Beton , Bağlayıcı ve Agregası, Cilt I, Cilt 2, İstanbul .
- Cilason Necat, (1980), Beton, Sezai Türkeş Fevzi Akkaya İnşaat A.Ş. , Yayın No: 21, İstanbul .
- Neville A.M, (1975), Properties of Concrete, Pitman Publishing Ltd, London.
- Mehta Kumar, (1986), Concrete, Structure, Properties and Material, Prentice-Hall Ed, New Jersey.
- Dreux G., (1986) Nouveau Guide du Beton, Ed. Eyrolles, Paris.
- TS Portland Çimentoları.
- Öztekin E, (1996) Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar, 4.Ulusal Beton Kongresi, İ.T.Ü, İstanbul.
- Koç, Ö (1997), “ Bor Atıkların , Uçucu Kül ve Silis Dumanının İnşaat Tuğlası Üretiminde Değerlendirilmesi “, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	01.01.1976	
Doğum yeri	Tekirdağ	
Lise	1985 - 1993	Özel Kùltür Lisesi
Lisans	1993 – 1997	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998 - 2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Çalıştığı Kurumlar	1997- devam ediyor.	Sakret Ganto Yapı Malz. Tic. A.Ş.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİZEASYON MERKEZİ