

Uçucu kül ve kalker katkılı çimentonun teknik
özelliklerinin değişiminin incelenmesi

Yüksek Lisans Tezi

Alkan KİBİCİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ali KARTAL

Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2008

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

**Uçucu kül ve kalker katkı çimentonun teknik özelliklerinin
değişiminin incelenmesi**

Alkan KİBİCİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ali KARTAL

Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2008

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Ali KARTAL danışmanlığında,
Alkan KİBİCİ tarafından hazırlanan
“Uçucu kül ve kalker katkılı çimentonun teknik özelliklerinin değişiminin incelenmesi”
başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca
...../...../200.....
tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Doç. Dr. Ali KARTAL	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Atilla EVCİN	
Üye	Yrd. Doç. Dr. M. Galip İÇDUYGU	

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜRLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
RESİMLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1 Çimento	2
2.1.1 Çimentonun Tarihçesi	2
2.1.2 Çimentonun Tanımı	5
2.1.3 Çimentonun Yapısı	6
2.1.4 Çimento Hammaddeleri	7
2.1.4.1 Kalker	7
2.1.4.2 Kil	10
2.1.4.3 Marn	12
2.1.5 Çimento Hammadde Karışımı	13
2.1.6 Çimentonun Üretimi	14
2.1.7 Klinker Oluşumu ve Çimentonun Elde Edilmesi	15
2.1.8 Çimentonun Ana Karma Bileşenleri	17
2.1.9 Çimentonun Özelliklerine Ana Karma Bileşenlerin Etkileri	17
2.1.10 Çimentolarda Minör Bileşenler ve Bunların Etkileri	18

2.1.11 Çimento türleri	18
2.1.11.1 Portland Çimentosu	18
2.1.11.2 Yüksek Fırın Cüruf Çimentosu	20
2.1.11.3 Traslı Çimentolar	20
2.1.11.4 Uçucu Kül Çimentolar	20
2.1.11.5 Cüruf Çimentoları	20
2.1.12 Çimento Çeşitleri	21
2.1.13 Çimento Katkı Malzemesi Uçucu Kül Tanımı ve Özellikleri	24
3. MATERYAL METOT	27
3.1 Kullanılan Malzemeler	27
3.2 Numune Hazırlanması	29
3.3 Akışkanlık Testi	30
3.4 Vicat Testi	31
3.5 Mukavemet Testi	32
3.6 Özgül Ağırlığın Hesaplanması	33
3.7 Küçülme Testi	34
4. BULGULAR	35
4.1 Akışkanlık Testi	35
4.2 Vicat Testi	36
4.3 Mukavemet Testi	37
4.4 Özgül Ağırlığın Hesaplanması	39
4.5 Küçülme Testi	41
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	43
6. KAYNAKLAR	44

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Uçucu kül ve kalker katkılı çimentonun teknik özelliklerinin
değişiminin incelenmesi

Alkan KİBİCİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Seramik Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Ali KARTAL

Bu tezin amacı, uçucu kül ve kalker katkılı çimentonun teknik özelliklerinin değişiminin incelenmesidir. Bu doğrultuda, portland çimentosu CEM I 42,5 içine katkı malzemesi olarak Breslau/Polonya uçucu külü ile Medenbach kalkerini kullanılarak, karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımların, hazırlanmasında da değişik yüzde oranlarda su, uçucu kül ve kalker sahip olup, numuneler üzerinde akışkanlık, prizlenme, mukavemet ve küçülme deneyleri yapılarak değişimler tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda, aynı su oranına sahip, farklı oranlarda uçucu kül ve kalker eklenen numuneler de yapılan deney sonuçlarında, prizlenme zamanı, mukavemet değerleri, küçülme değerleri ve akışkanlık değerlerinde değişiklikler olmadığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber aynı oranlarda katı toz (uçucu kül, kalker + çimento) içerisinde değişik yüzde oranlarında ki su miktarının bu teknik değerlere etki ettiği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, portland çimentosu CEM I 42,5 'e katılan değişik yüzde oranında ki katkı malzemesi teknik özelliklerde ki değişikliklerin olmaması nedeni ile maliyet düşürücü olarak etki yapmaktadır.

Anahtar kelimeler: Çimento, uçucu kül, kalker, teknik özellikler

ABSTRACT

Master

Investigate how the technical properties of cement-based mixtures are changed such as add fly-ash and limestone

Alkan KİBİCİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Ceramic Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Ali KARTAL

The aim of this thesis is to investigate how the technical properties of cement-based mixtures changes with the addition of fly ash and limestone. Therefore, Breslau/Poland fly ash, Medenbach limestone which are the additive material and portland cement CEM I 42,5 were mixed together to have the samples in concern. The samples which have water, fly ash and limestone in various percentages have been tested to find out the workability, strength and shrinkage values.

The main result of this work showed that the experiments carried out with the same water ratio and different fly ash and limestone addition had no effect on freezing time, mechanical properties, shrinkage and viscosity values of the samples. However, various content of water with the same ratio of solid additives (fly ash, limestone + cement) have changed the technical properties in concern.

As a result, the additives at various ratios had no adverse effect on the technical features of the portland CEM I 42.5 causing a decrease on the production cost.

Keywords: Cement, fly ash, limestone, technical properties

TEŐEKKÜR

Çalışma sırasında bilimsel katkıları ile bana yardımcı olan, eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım Sayın Hocam Doç. Dr. Ali KARTAL'a,

Araőtırma süresince büyük yardımlarını gördüğüm, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım T.U Bergakademie Freiberg/ Almanya'daki hocalarım Prof. Dr.-Ing. A. BIER, Dr. Katja DOMBROWSKI ve Mr. M. NUKITA'ya,

Ayrıca tez projemi destekleyerek bana maddi olanak sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası İliőkiler birimindeki tüm persolenele,

Bana maddi ve manevi her türlü desteği veren babam Prof. Dr. Yaőar KİBİCİ'ye, anneme, kardeőlerime ve tüm arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi ve Őükranlarımı sunarım.

Alkan KİBİCİ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1 Akışkanlık Grafiği	35
Şekil 4.2 Vicat Grafiği	36
Şekil 4.3 Eğme mukavemetinin zamanla değişim grafiği	37
Şekil 4.4 Basma mukavemetinin zamanla değişim grafiği	38
Şekil 4.5 Eğme Mukavemeti – Yoğunluk grafiği	40
Şekil 4.6 Basma Mukavemeti – Yoğunluk grafiği	40
Şekil 4.7 Boyca değişimin zamana karşı grafiği (Kapalı kalıp içinde)	41
Şekil 4.6 Boyca değişimin zamana karşı grafiği (Açık kalıp içinde)	42

RESİMLER DİZİNİ

Resim 2.1 Oolitik kireçtaşı	8
Resim 2.2 Pizolitik kireçtaşı	8
Resim 2.3 Masif kireçtaşı	9
Resim 2.4 Kaolinit	11
Resim 2.5 Montmorillonit	11
Resim 2.6 Kıltaşı	12
Resim 2.7 Marn	13
Resim 2.8 Çimento + Uçucu kül (1 saat sonra)	25
Resim 2.9 Çimento + Uçucu kül (4 saat sonra)	25
Resim 2.10 Çimento + Uçucu kül (8 saat sonra)	26
Resim 2.11 Çimento tanesi uçucu kül içinde (8 saat sonra)	26
Resim 2.12 Çimento + Uçucu kül (12 saat sonra)	26
Resim 2.13 Büyük CH kristali (18 saat sonra)	26
Resim 3.1 Çimento karıştırıcısı	29
Resim 3.2 Akışkanlık Test Cihazı	31
Resim 3.3 Vicat Test Cihazı	32
Resim 3.4 Mukavemet Cihazı	33

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Karışımların Birleşme oranları	27
Çizelge 3.2 CEM I 42.5 Kimyasal Analiz Sonuçları	28
Çizelge 4.1 Karışımların Özgül Ağırlıkları	39

1. GİRİŞ

İnsanoğlu var oluşundan bu yana doğa olaylarından, tehlikelerden korunmak ve hayatını sürdürebilmek için güvenli bir barınağa ihtiyaç duymuştur. İlk çağlarda malzemeler doğada bulunduğu şekliyle kullanılmaktaydı. Daha sonraki süreçte malzeme bilimine paralel olarak insanlardaki becerinin de gelişimi ile bir nevi çimento ve ince agrega gibi doğadaki malzemeler işlenip şekillendirilerek kullanılmaya başlanmıştır.

Bu yüzden çimento yapı malzemeleri arasında, teknik özellikleri ve yapısal özellikleri açısından en önemlisidir. Çimento, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır.

Çimento üretimi, yüksek sıcaklıklarda yapıldığından dolayı yüksek maliyetlerde olmaktadır. Bu yüzden, mekaniksel gelişimler esnasında insanoğlu sürekli üretim maliyetinde düşürme amaçlı araştırmalarda bulunmuştur ve günümüzde bu araştırmalar devam etmektedir.

Bu projenin amacı, katkı malzemesi olan uçucu kül ve kalkerin çimento üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Bunun temel sebebi, daha düşük maliyette olan uçucu kül ve kalkerin çimento bünyesine katarak maliyetini daha aşağılara çekmektir. Fakat bu işlemler yapılırken, çimento belli teknik özelliklerinde değişiklikler olacağından bu özelliklerin incelenmesi ve bu teknik özellikleri sağlanması istemektedir.

Bu doğrultuda, bu projede değişik katkılı ve katkısız karışımlar hazırlanarak bu karışımların akışkanlık, mukavemet, Boyutsal değişim ve prizlenme zamanları gibi bazı teknik özelliklerine bakılarak değerlendirme yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Çimento

2.1.1 Çimentonun Tarihçesi

Çimento Latince'deki "COEMETUM" DAN, Fransızca' ya "CIMENT" Almanca' ya "ZEMENT", Türkçe' yede "ÇİMENTO" olarak girmiştir. Çimentonun, daha doğrusu su kırıcının ilk defa nerede ve nasıl bulunduğu ve üretildiği hakkında kesin bilgiler bulunmamakla birlikte kullanımının M.Ö. 2000' li yıllara kadar uzandığı tahmin edilmektedir. Anadolu' daki Hitit kentlerinde, magneziyen kireç ile karıştırılmış puzolanik aktif doğal malzemelerin harç yapımında kullanıldığı görülür. Dünya tarihinin en eski yapılarından olan piramitlerde ve Eski Romalılar tarafından inşa edilip günümüze kadar ayakta kalabilmiş eserlerin yapımında bir çeşit bağlayıcı özelliği olan harcın kullanıldığı tespit edilmiştir. Romalılar devrinde yapılan eselerin dayanıklılığı, Romalıların harcın karışımına gerekli özeni göstermelerine, kireç taşıyı iyi yakıp, tuf kullanarak en iyi harcı elde etmelerine bağlanmıştır [İnt. Kyn. 1.]

Ülkemizde Güneydoğu Anadolu' da Asurlulardan kalma tarihi kalıntılarda normal kireç ile bazaltik puzolanik maddenin kullanılmış olması vb. örnekler, Anadolu' da Romalılar ve Yunanlılardan önce çimento kullanıldığını göstermektedir. Teos-İzmir, Efes-İzmir, Afrodisias-Aydın, Kinidas-Muğla antik kentlerinde çimento ve harcın, eski Anadolu uygarlıkları ile geniş temas kurduktan sonra kalsine edilmiş kireçtaşlarını puzolan adı verilen volkanik küle öğüterek puzolanik çimentoyu üretmişlerdir. Puzolanik çimento Vezüv Yanardağı' nda sağlanan volkanik kül ve kireçten oluşturulmuş olup, Avrupa' da ilk defa İtalya' da kullanılmıştır. İtalya' nın Anadolu uygarlıkları ile olan yakın teması gözden kaçırılmamalıdır. Julius Sezar' ın imparatorluk döneminde, Caligula Wharf' ın yapımında puzalanik çimento kullanılmış olup, bu inşaat Pozzuli Limanının da su seviyesinden 4-4, 5m[İnt. Kyn. 2.].

Derinlikte-su altında yaklaşık 2000 yıldan beri durmaktadır. Harçların hazırlanmasında yeni bir döneme 18.yüzyılda girmiştir.

O tarihlerde Orta ve Küçük Asya' da Türkler ve Persler tarafından "Horasan Hancı" denilen ve Avrupalılarca bilinmeyen çok sağlam bir bağlayıcı kullanılıyordu. Tuğla ve

Kiremit tozu ile kireç ve su karışımından oluşan bu harcın suya dayanıklı yapılarda ve aynı zamanda kubbe yapılarında kullanılması ve yapıların bugüne kadar, ayakta kullanılması, bu harcın dayanımı konusunda da fikir vermektedir. Bu harç 11.yy' dan, 19.yy' a kadar Anadolu' da Türkler tarafından kullanılmıştır. 1756 yılında İngiliz mühendisi, John Smeaton' a, Manş Denizi' ndeki seferler için çok önemli olan, fırtınada yıkılmış Eddystone Feneri' nin yeniden inşası verilmiştir. Devamlı olarak dalgalar tarafından dövülen bu fenerin asırlarca dayanabilmesi için kullanılacak harcın çok iyi olması gerektiğini düşünen Smeaton, yaptığı denemeler sonucunda çok iyi kirecin yumuşak ve saf olmayan kalkerden elde edildiğini tespit etti [İnt. Kyn. 2.].

Bu arada hidrolik (suda sertleşen) kirecin yalnız killi kalkerlerden elde edilebileceğini buldu ve feneri bu malzeme ile inşa etti. Bu yıllarda Bryan Higgins, kirecin çok yüksek sıcaklıkta ısıtıldığı zaman camlaştığı ve bu camlaşmanın kireç içine konan alçıtaşı ve killi maddeler ölçüsünde kolay olduğunu ve camlaşan kirecin sönmez hale geldiğini tespit etti. 1796 yılında J. Parken, kentin sahilllerinde bulunan 3. zamana ait kalkerlerden pişirme suretiyle mükemmel bir hidrolik kireç elde etmiş ve buna "Roma çimentosu" adını vermiştir. Bu çimento 1830 yılına kadar önemini kaybetmemiştir. 1830 yılında Almanya' da J.M: Von Fuch "Harlem ilim birliği" tarafından ödüllendirilen "Kireç ve harç" etüdü ile su altında yavaş sertleşen su kireçlerinin üretiminde büyük başarı sağlanmış ve sertleşmenin esasen silis ve kireçten oluşan kimyasal bir bileşikten ileri geldiğini ispat etmiştir. Çimento tiplerinin en sonuncusu ve gelişmiş Portland Çimentosu' dur. Bu çimentonun bulucusu sayılan Joseph Aspdin 1824 yılında ilk defa "Portland Çimentosu" adını verdiği ürünün patentini almış, ancak yaptığı çimentodaki kalker ve kil oranlarını bildirmediği gibi kullandığı karışımın detaylarını da kaydetmiştir [İnt. Kyn. 3.].

20 yıl sonra I.C. Johnson, Portland Çimentosu' nu tekrar üretmeye çalıştığında, kayıtlı bilgi bulunmadığından pek çok deneme yapmak zorunda kalmıştır. Johnson, 1845 yılında, hammadde karışımını çok yüksek sıcaklıklarda camlaşmaya kadar kızdırmış ve denemeler de uygun oran ve ısıları tespit ederek bugünkü Portland Çimento fabrikasyonunun ilk esaslarını bulmuştur. Johnson'ın fikirleri tanınmış Alman kimyageri Michaelis tarafından da desteklenmiştir.

Michelis, çimento sanayine kimyasal kontrolü sokarak bu sanayinin gelişmesine büyük hizmette bulunmuştur. 1878 yılında Portland Çimentosu' nun aynı esaslar dahilinde üretime ve kontrolü için normlar tespit edilmiştir. Bundan önce 1871 yılında USA' de David O. Saylar tarafından Portland Çimentosu' nun ilk gerçek imalatı yapılmıştır. 1892 yılında A.F. Tornbohm, polarizasyon mikroskobu ile yaptığı denemler sonucunda klinker içindeki kristal cinsini ayırarak bunlara, *Alit*, *Belit* ve *Celit* adlarını verdi. Çimentonun sertleşmesi teorisinin gelişmesinde en önemli rolü oynayan bilim arasında H.Le Chatelier, W. Michaelis ve H.kühl bulunmaktadır. 1883 yılına kadar, Portland Çimentosu' na yabancı maddelerin ilavesi reddedilmiş ve bu konuda, "Alman Çimento Fabrikaları Birliği" sert tedbirler alınmıştır. Ancak 1862 yılında A.Langens, yüksek fırın curufunun hidrolik olduğunu bulmuş. Godhord Prussing ise belirli miktarlarda curuf ilavesi ile portland çimentosunun sertlik ve hacim sabitliğinin ayarlanabilir olduğunu görmüş ve ayrıca 1882 yılında "Bağlayıcı niteliği olan kum ilavesi ile ıslah edilmiş çimento"sunu piyasaya çıkardığında Alman Çimento Fabrikaları Birliği' nin tepkisi ile karşılaşmıştır. W.Michaelis, L.Tedmevor ve E.Deitrich, Prussing' in buluşuna hak vermelerine rağmen, Birliği kararından çevirememişlerdir.1883 yılında, Th. Narjes ve A.Bender, yüksek fırın curufunu klinker üretiminde hammadde olarak kullandılar. H.Passow da yaptığı çalışmalarla yüksek fırın cürufundan çimento üretimini desteklemişlerdir. İlk pişirme fırınları dikey olarak inşa edilmiştir [İnt. Kyn. 3].

Bu fırının çapı 1.65 metre, uzunluğu 7.25 m idi. Amerika' da 1881 yılından önce 6 çimento fabrikası kurulmuş olmakla beraber bunlardan sadece 2 tanesi başarılı olmuştur. 1890 yılında Amerika' da 17 fabrika, 1953 yılında ise 156 fabrika üretime geçmiştir. 1909 yılında Demirli Portlan Çimentosu normlara ithal olmuştur. 1919 yılında Portland Çimentosu' nun üstünlüğü kaldırılarak her iki çimentoya aynı haklar tanındı. Çimento sektörünün bu tarihlerden sonraki gelişmeleri hızlanmış ve döner fırınlarda çimento üretimi önem kazanmıştır. Çimento sahasında mevcut bilgilerle, sistematik çalışmaya 1913 yılında Fransa' da Vikat, İngiltere' de Frost ile başlamıştır. Vikat, kalkerde kil ve şist bulunmadığı zaman, kalkere killi maddelerin karıştırılmasıyla da hidrolik kirecin elde edilebileceğini yaptığı çalışmalarla buldu ve bu ürüne "Hidrolik Kireç" adını verdi. Frost da aynı prensiplerle, ağırlıkça 2 kısım tebeşire, 1 kısım kil karıştırarak Frost Çimentosu adını verdiği hidrolik kireci yapmıştır. I. ve II. Dünya savaşlarının getirdiği buhranlarla, zaman zaman düşen çimento üretimi, 1948 yılından sonra birden büyük ölçüde artış göstermiştir [İnt. Kyn. 4].

Betonda denilince ilk akla gelen şey çimentodur. Çimentonun sözlük anlamı bağlayıcı maddedir. Çimento, toz halinde su ile reaksiyona girerek sertleşen (hidrolik) anorganik bir bağlayıcıdır. Gün geçtikçe türleri artan çimentoların ilk olarak Portland çimentosudur. Değişik tip çimentoların farklı kullanım alanları vardır. Çimentonun ilkel maddeleri kalker (kireçtaşı) ve kildir. Kalkerli malzemeler olarak; kireçtaşı ve marn, killi malzemeler olarak bol silisli kil, şeyl, şist gibi hammadde kaynakları kullanılır. Çimento yapımında bu maddeler belirli oranlarda karıştırılır ve döner fırınlarda yüksek sıcaklıklarda pişirilir. Yüksek sıcaklıkta kalkerin ayrışması sonunda CaO, kilin ayrışması sonunda silis (SiO₂), alümin (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) oluşur. Bu maddeler yüksek sıcaklıkta yine aralarında birleşerek çimentonun esas bileşenleri olan ve çimentoya bağlayıcı özelliğini kazandıran silikat ve alüminatları oluşturur [İnt. Kyn. 4.].

Klinkere çimentonun priz süresini düzenlemek için, az oranda (% 3 - % 6) alçı taşı (CaSO₄.2H₂O) eklenir. Alçı taşının çimentonun hızla priz yapmasını geciktirici rolü vardır. Alçı taşı olmaması halinde çimento çok hızlı sertleşeceğinden betonu rahatça yerine yerleştirme olanağı kalmaz. Katkılı Portland çimentosu üretiminde ise, katkı olarak kullanılan hammadde bu aşamada klinkere katılır [İnt. Kyn. 4.].

2.1.2 Çimentonun Tanımı

Çimento, esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır.

Diğer bağlayıcı maddeler gibi çimentolar da, CaO, MgO gibi alkalın ögeler ve SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ gibi hidrolik ögelerden oluşur. Çimento bağlayıcılık görevini su ile tepkimeye girdikten sonra kazandığı için hidrolik bağlayıcı olarak adlandırılır. Alkalın ve hidrolik ögelerin oranları bağlayıcı maddenin niteliğini belirler.

Çimento, su ile karıştırılıp plastik hamur durumuna geldikten bir süre sonra havada ya da su içinde yavaş yavaş katılaşır. Bu katılaşma olayına priz adı verilir [İnt. Kyn. 5.].

Piriz süresi ortam koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Normal koşullar altında piriz işlemi 1–10 saat arasında tamamlanır. Aşırı olmamak koşulu ile artan sıcaklık altında katılaşma hızlanır. Katılaşma ile birlikte sertleşme olarak tanımlanan hamurun dayanım kazanma olayı başlar. Örneğin betonun dayanımı zamanla artar ve çimento hamurunun tam dayanıma ulaşması uzun bir süre alır [İnt. Kyn. 5.]. Uygulamada rastlanan en sakıncalı durumlar, prizinin beklenenin dışında çok ani olarak meydana gelmesidir. Ani priz iki şekilde oluşur. Bunlar şimşek priz ve yalancı prizdir.

- a. *Şimşek priz*: C3A bileşeninin alçıtaşı ile denetime alınmamasından kaynaklanır. C3A priz olayını başlatan ögedir, ancak başlamadan sonra işlevi durdurulmazsa ortamdaki bütün suyu çekerek silikatların hidratasyonlarını tamamen önler. ertleşen çimento düşük dayanımlı, kırılğan, işe yaramayan bir madde olur. Şimşek prizi önlemeye ve meydana gelen kötü durumu gidermeye imkan yoktur. Buna karşılık, yalancı priz bazı önlemlerle geçiştirilir.
- b. *Yalancı priz*: sıcak klinkere katılan alçıtaşının istenmeyerek alçıya dönüşmesi sonucu oluşur. Islatılan çimentoda miktarı çok düşük olan bu alçı, tekrar alçıtaşına dönüşür; sertleşen alçıdır, çimento değildir. Betonyerde karıştırma işlemi uzatılarak bu geçici etkiden kurtulur [İnt. Kyn. 5.].

2.1.3 Çimentonun Yapısı

Çimento su ile reaksiyona girerek hidrolik bağlayıcılık özelliği gösteren bir yapı malzemesidir.

İlk çağlardan beri değişik metotlar uygulayarak çimentoya benzer yapı malzemeleri kullanıla gelmiştir. Örneğin Romalılar zamanında sönmüş kireç ve puzolan (tras+volkanik tüf) karıştırılarak elde edilmiştir. Bugün ise kalsiyum (Ca), silisyum (Si), Alüminyum (Al) ve demir oksitlerin bulunduğu hammaddelerin teknolojik metotlarla sinterleşme sıcaklığına kadar pişirilmesi ile elde edilen klinkerin ilave katkı maddeleri ile öğütülmesi ile elde edilir. Klinkerin elde ettiği öğütülmüş pişirilmeye hazır hammaddeye farin denir. Farin kalsiyum karbonat miktarı yüksek kalker, mermer veya marn minerallerin CaCO_3 miktarı düşük Si, Al, Fe oksitleri miktarı yüksek kil minerallerin belli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilmektedir [HEWLETT P.C, 2002].

Çimento klinkerindeki ana hammaddeler kalkerli ve silisli maddelerdir. Bu maddeler belirli oranlarda karıştırılmak sureti ile uygun bir kimyasal kompozisyon elde edilir [HEWLETT P.C. 2002].

2.1.4 Çimento Hammaddeleri

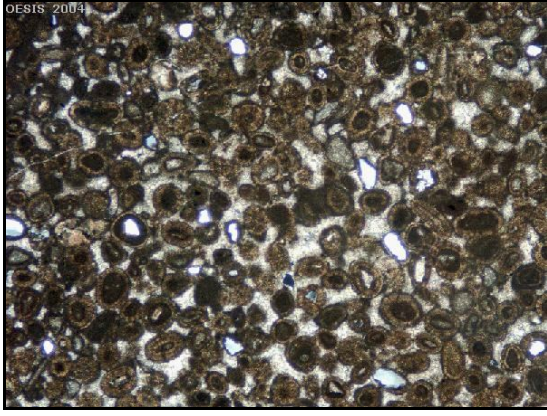
Çimento üretiminde esas olarak kalker, kil veya marn kullanılmaktadır. Bunun yanında hammadde karışımının demir oksit miktarı yetersiz olduğunda, bunu telacı etmek gayesi ile demir cevheri veya pirit külü de hammadde karışımının bir bileşeni olarak kullanılmaktadır. Aynı şekilde, silisyum dioksit miktarı yetersiz kaldığında bunu karşılamak amacı ile yüksek silisli kum hammadde karışımının bir bileşeni olarak kullanılmaktadır [AKMAN, 1998].

2.1.4.1 Kalker (Kireçtaşı)

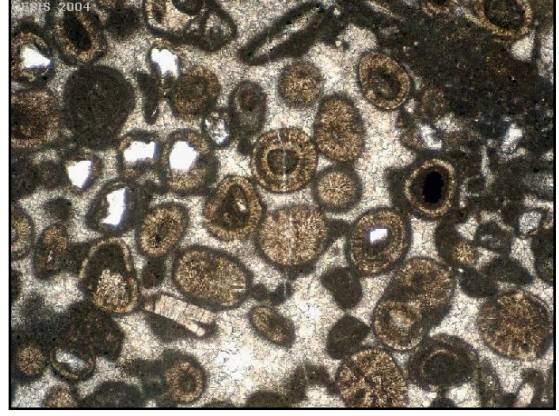
Kireçtaşları her zaman saf CaCO_3 tan oluşmazlar. Bileşiminde değişen oranlarda MgCO_3 , kil mineralleri, kuvars ve feldspat parçaları, organik maddeler vb. bulunabilir. Yer kabuğunda çok çeşitli kireçtaşları vardır. Bu kireçtaşları;

- . Yapı ve dokularına göre kireçtaşları,
- . İçerdikleri organizmalara göre kireçtaşları,
- . İçerdikleri diğer mineral ve maddelere göre kireçtaşları şeklinde sınıflanır.

Bazı kireçtaşı tiplerini sıralamak olasıdır. *Anorganik kireçtaşı, oolitik kireçtaşı, pizolitik kireçtaşı, killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, Nummulitesli kireçtaşı* vb. Genel anlamda belirli bir devre veya devire göre de isimlendirilebilirler. Anorganik kireçtaşları masif yapıdadır. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ın ısı ve basıncın düşük olması gibi etkenlerle CaCO_3 , H_2O , CO_2 şeklinde ayrılmasıyla çökeler. Oolitik kireçtaşı ise, denizin sığ ve dalgalı olan yerlerinde oluşur. Bu tip kayacın oluşabilmesi için suyun CaCO_3 ının bol olması gerekir [KİBİCİ, 2007].



Resim 2.1 Oolitik kireçtaşı [KİBİCİ, 2007]



Resim 2.2 Pizolitik kireçtaşı [KİBİCİ, 2007]

Oolitik kireçtaşları özellikle sıcak denizlerde oluşur. Basit tek bir oolit halinde oluşabileceği gibi CaCO_3 halkaları şeklinde bileşik oolitte oluşabilir. **Pizolitik kireçtaşları**, 2 mm.den büyük oolit şeklindedir. Bu kayalara sıcak ve volkanik yerlerde rastlanır. Kireçtaşı tüfü CaCO_3 lı sıcak su kaynaklarının çökelleridir. Bol miktarda CaCO_3 ı eriyik halinde içeren genellikle gazlı, ılık ve basınçlı suların yeryüzüne çıkınca uçması, basıncın kalkması ve soğuması ile oluşurlar (Pamukkale - Denizli vb.). Sünger gibi delikli yapıda olanlarına rastlanır. Çok delikli ve hafif olanlarına **kireçtaşı tüfü** adı verilir [KİBİCİ, 2007].

Anorganik kireçtaşı “ *Masif kireçtaşı* “, eriyiklerden CaCO_3 maddesinin birikmesiyle oluşur.

CaCO_3 sular içinde $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ halinde erir. Isı, basıncın düşmesi gibi etkenlerle kalsiyum bikarbonat içinde CO_2 ve H_2O ayrılarak CaCO_3 çöker. Kristalin kalsit kristalleri (*spar*) depolanma (*sedimentasyon*) sonrası zemin suyu vasıtasıyla fosiller arasındaki boşlukları doldurur. Kireçtaşı kalsiyum karbonatça zengindir. Kalsiyum karbonat, biyokimyasal kireçtaşlarının içindeki fosil kabukları ve denizde yaşayan canlıların iskelet yapılarının içine kenetlenir. Fosilli kireçtaşını oluşturan mineral ve fosil parçaları kayacın yüzey ayrışması ve aşınmasıyla yüzey de görülür [KİBİCİ, 2007].



Resim 2.3 Masif kireçtaşı [KİBİCİ, 2007]

Mikrit = kireç çamuru; CaCO_3 ise, kalsit mineralidir. Mikrit, klastik olan killere eş anlamlıdır. Oluşumun başında, kristalli mikroskobik aragonit iğnecikleri zamanla kalsite dönüşür ve bu oluşan kalsit kayacın oluşumunda çimento görevi görür. Mikritik kireçtaşları yoğunluğu fazla, üniform, konkoidal kırıklı ufak taneli bir kayaktır [KİBİCİ, 2007].

Dolomitik kireçtaşı, sert dayanıklı, masif bir kayaktır. Mg - Ca içeren karbonattır. Çoğun fosil içerirler. Geçmişte, dolomit terimi hem mineral hem de kayaç için kullanılırdı. Dolomit bir minerali, dolomitik kireçtaşı (*dolostone*) ise bir kayacı temsil eder. Dolomit, hem bir karbonatlı kayacı hem de kristalleri içinde kalsiyum-magnezyum karbonatı bulunduran isimdir. Dolomitik kayaç (*dolostone*) öncelikli dominant mineral olarak dolomitten oluşur. Kireçtaşı kısmen dolomit ile yer değiştirir ise *dolomitik kireçtaşı* olarak ifade edilir. [KİBİCİ, 2007].

Dolomit minerali trigonal sistemde kristalize olmuştur. Beyaz, gri – pembe renklidir. Kristalleri genellikle masif olduğu halde yaygın olarakta kavislidir. Fiziksel özellikleri itibarıyla kalsite benzer. Fakat, üzerlerine sulandırılmış hidroklorik asit (*HCl*) damlatıldığı zaman kalsit kadar hızlı çözünmez veya köpürmez. Sertliği, Mohs Sertlik Dizisini göre, 3,5 – 4,0 arasında ve yoğunluğu da 2.85 gr/cm^3 tür. İlave olarak, dolomitik kayaç sulandırılmış HCl içinde çok yavaş köpürür. Bu kayaç, kireçtaşından biraz daha yoğun (ağır) ve serttir [KİBİCİ, 2007].

Dolomitik kayaçlar esas olarak $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ bileşimli dolomit mineralinden meydana gelir. Hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri içerdiği kireçtaşına bağlıdır. Gerçekte, dolomitik kayaçta magnezyum miktarı azalır, kayaç dolomitik kireçtaşı olarak ifade edilir. Dolomitik kayaçlar, şekerimsi (*sakkaroidal*) bir doku sergiler ve demir karbonatların kayaç içinde yer almasıyla da kayacın kahverengimsi sarı ve kahverengi renk almasına neden olur. Taneli yapıdan ince (ufak) taneli yapıya, krem beyazdan soluk kahverengiye kadar değişen renklerde dir. Genelde, bileşiminde içerdiği magnezyum karbonatın yanı sıra, az oranlarda SiO_2 ve diğer türemiş mineralleri bileşimde bulundurur. Bazen, *jips* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve *kayatuzu* “ halit “ (NaCl) ile beraber bulunur. Dolomitik kayaçlar, çimento üretiminde hammadde olarak kullanılır. Ayrıca, magnezyum oksit (MgO) ham maddesidir. Bazen, çelik ve demir üretiminde akışkan olarak cevher içindeki safsızlıkları yok etmek ve demir cevherini çabuk eriterek cevherin azaltılmasına yardımcı olmak üzere kalsitin yerine kullanılır [KİBİCİ, 2007].

2.1.4.2 Kil

Çimento üretiminde ikinci önemli hammadde kildir. Killeri oluşturan ana bileşen sulu alüminyum silikat bileşikleridir. Killer; kaolin, montmorillonit ve illit gibi kil minerallerinin yanında önemli ölçüde demir oksit, demir sülfür, kum ve kalsit gibi kil dışı mineraller ve az miktarda organik madde içermektedirler. Demir killeri renklendiren esas maddedir. Bunun yanında organik maddeler de killerin renklenmesine katkıda bulunurlar. Bu şekilde safsızlık içermeyen killerin rengi beyazdır.

Killer esas olarak kütlece en çok SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içeren maddelerdir. Bunlar az miktarda MgO , CaO , K_2O ve Na_2O içerirler (Bucci 1980). Killerin özellikleri içerdikleri kil minerallerine göre farklılık göstermektedir [DUADA, 1976].

Killer genellikle bir veya birkaç kil mineralini birlikte içermektedirler. Kil minerallerinin yanında genellikle feldspat ve kuvars gibi mineraller de bulunmaktadır. Kil örneklerinin içerdiği kil mineralleri çok çeşitlidir ve aşağıdaki gibi gruplandırılmışlardır [TEMUR, 1998].

- a. Kaolinit (Resim 4)
- b. Mika
- c. Montmorillonit (Resim 5)
- d. Klorit
- e. Karışık tabakalı



Resim 2.4 Kaolinit [KİBİCİ, 2007]



Resim 2.5 Montmorillonit [KİBİCİ, 2007]

Kil taşı, killerin sertleşerek kayaç haline gelmesiyle oluşur. Tane boyutları 0,05 mm - 0,005 mm. arasındadır. Çok ince taneli kayaçlardır. Kil taşı (*çamur taşı*) ince kumtaşı ve fazla miktarda kireç içerenleri de killi kireç olarak sınıflandırılabilir. Kil taneli çok ince olduğu için derin veya sakin sulara doğru sürüklenirler ve buralarda ince tabakalar veya yataklar halinde tortulanır. Oldukça yeknesak bir dokuya sahiptirler. Renkleri genellikle gridir. Fakat siyah ile donuk kırmızı arasında da değişir [KİBİCİ, 2007].

Kil içinde kil mineral gruplarından hangisi daha çok miktarda bulunuyorsa ona uygun isimler verilir. Örneğin; kaolinitli kil, montmorillonitli kil (*bentonitik kil*) gibi. Kil ve kiltaşları çok ince taneli olduklarından su geçirmezler. Göllerde biriken kil ve kumlar koyu ve açık tabakalar oluşturur [KİBİCİ, 2007].

Kil mineralleri granit, siyenit, andezit gibi feldspat içeren kayalardaki feldspatların kaolenleşmesiyle ayrışımı sonucu oluşurlar. Bu ayrışım sonucu önce kaolen, bentonit ortaya çıkar. Daha sonra bunların erozyonla göl ve deniz diplerine çökmesiyle killer oluşur. Bu killer sonraları diyajenez, litojenez olayları sonucu kiltaşına dönüşür. Killerin üzerlerini örten tabakaları ağırlığı ile sıkışarak gözenekleri azalır ve sularını kaybederler. Böylece yüksek basınçlar altında ilk hacimlerinin % 60'ına inebilirler.



Resim 2.6 Kiltaş [KİBİCİ, 2007]

2.1.4.3 Marn

İçinde değişik oranlarda SiO₂, kil mineralleri ve demir oksit gibi safsızlıklar bulunan kireç taşına "marn" denir. Hem kalker hem kil bileşenlerini yan yana içermesi nedeniyle marn da çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır.

Jeolojik olarak sedimanter kayalar grubuna giren marn, kalsiyum karbonat ve kilin aynı zamanda sedimantasyonu ile oluşur. Marn, kalkere nazaran daha yumuşaktır. Marnlar kalker (kireçtaşı) ve kil bileşenlerinin her ikisini de homojene olmuş bir şekilde

ihativa ettiğinden çimento için çok elverişli hammaddelerdir. Örneğın, kalkersi marnın kimyasal bileşimi portland çimentosunun hammadde karışımına çok yakındır [TEMUR,1998].

Mineralojik bileşimi ⇒ kıltaşı + kireçtaşı + / - organik materyal + / - fosil

Yaklaşık % 50 kıltaşı, % 50 kireçtaşı içerir. *Marn*, kıltaşından kireçtaşına doğru dereceli geçiş gösterir. *Marn*, değişik oranlarda *kil*, *kalsit* veya *aragonit* ve organik madde ihtiva eden kalsiyum karbonat veya çamurca zengin kireç yada çamur taşlarıdır. Bu terim, çok sık olarak lakustrin (göl) sedimanlarını tanımlamak için kullanılır. Fakat, deniz depolanmaları içinde kullanılır [KİBİCİ, 2007].



Resim 2.7 Marn [KİBİCİ, 2007]

2.1.5 Çimento Hammadde Karışımı

Fırına verilmek üzere hazırlanmış olan çimento hammadde karışımına "Fahrin" denilmektedir. Bilindiği gibi çimentoyu oluşturan ana bileşenler kütle yüzdelerine göre CaO, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ şeklinde sıralanır. Dolayısıyla, hammadde karışımı hazırlanırken karışımın kütlece bu bileşenleri ihtiva etmesine dikkat etmek gerekmektedir. Bu nedenle, çimento için hammadde hazırlanırken yaklaşık %75 kalker ve %25 kil karıştırılarak Fahrin oluşturulur. Bu oranlar kullanılacak olan kalker ve kilin kimyasal bileşimine göre değişmektedir.

Bu nedenle, çimento üretimine uygun bir hammadde karışımını hazırlamak için, kullanılan kil ve kalkerin karışım oranları bir takım kimyasal modüllere bağlı olarak belirlenmektedir [BERGER G., GILDENHAAR R., PLOSKA U, 1997].

Bunlar, kireç doygunluk faktörü, silikat modülü ve alüminyum modülüdür. Bu modüller aşağıdaki formüllerle tanımlanır.

$$\text{CaO} \times 100 \text{ Kireç doygunluk faktörü} = 2,8 \times \text{SiO}_2 + 1,18 \times \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$$

$$\text{SiO}_2 \text{ Silikat modülü} = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ Alüminyum modülü} = \text{Fe}_2\text{O}_3$$

Portland çimentosu için kireç doygunluk faktörü 90 -95, silikat modülü 2,2 -2,6 değerleri arasında, alüminyum modülü ise 1,63 değeri civarında olmalıdır (Duda 1976). Kireç doygunluk faktörü arttığında pişme için daha çok yakıt sarfiyatına gerek göstermektedir. Artan silikat modülü; pişme zorluğuna, yavaş priz almaya ve geç donmaya neden olmaktadır. Silikat modülünün yüksekliği ortamdaki sıvı fazın yetersiz olduğunu gösterir. Klinkerleşmede çok önemli rol oynayan sıvı fazın eksikliği ile pişme ve trikalsiyum silikat oluşumu güçleşir. Alüminyum modülü ise klinkerde granül oluşumu üzerinde etkilidir, yukarıda belirtilen 1,63 değerinden uzaklaştıkça granülleşme zorlaşır. Bu modüllere ait değerlerin ayarlanması ile hammadde karışımının pişebilirliği etkilenmektedir. Hammadde karışımının pişebilirliği kullanılan kilin ihtiva ettiği kil mineralinin pişme özelliklerine göre de değişmektedir [BERGER G., GILDENHAAR R., PLOSKA U, 1997].

2.1.6 Çimentonun Üretimi

Ülkemizde çimento üretim sistemi genel olarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Türkiye Çimento Sanayii T.A.Ş. yayını 1973, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı yayını 1973);

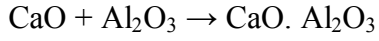
1. Çimento hammaddesi olan kalker, kil (veya mam) hammadde ocağından alınarak kırıcıya gönderilir.
2. Kırıcıdan geçen hammadde stoklanır.
3. Stoktan alınan hammadde değirmene gönderilerek öğütülür. Belli oranlarda kil ve kalker karışımından ibaret öğütülmüş hammadde karışımına "Fahrin" adı verilir.
4. Fahrin silolarda depolanır.
5. Sonra ısı değıştiricilerden geçicidir.
6. Döner fırına verilen Farin 1400°C -1450°C sıcaklıkta pişirilir. Fahrinin pişmesi sonucunda elde edilen ürüne "Klinker" adı verilir.
7. Fırından çıkan klinker soğutuculardan geçirilir.
8. Soğutulan klinker depolanır.
9. Klinkere alçı taşı eklenerek çimento değirmeninde öğütülür. Öğütülmüş klinker ve alçı taşı karışımına "Çimento" adı verilir.
10. Çimento pompalanarak silolara doldurulur.
11. Torbalanarak pazarlanır.

2.1.7 Klinker Oluşumu ve Çimentonun Elde Edilmesi

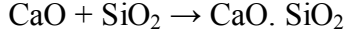
Hammadde karışımının fırında pişmesi sırasında, çimentonun %95'ini teşkil eden klinker'in oluşum tepkimeleri ve sıcaklık dereceleri özet olarak aşağıda verilmiştir [TAYLOR 1992, LEA 1970].

Sıcaklık Proses Termik değışim 100°C 'de Hammaddenin serbest suyunun buharlaşması. Endotermik 500°C ve üstü Kil minerallerinin bağılı suyunun buharlaşması. Endotermik 800° -900°C Kalsinasyon yani CaCO₃'ün bozunması başlar. Endotermik CaCO₃ → CaO + CO₂ 900°C ve üstü Kil minerallerine ait ürünlerin kristalleşmesi. Ekzotermik 900° -1200°C Kalsiyum oksitle alüminasilikatlar arasında oluşan tepkimeler [TAYLOR 1992, LEA 1970].

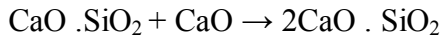
Alüminyum oksitin hepsi aşağıda görüldüğü gibi CaO ile tepkimeye girerek mono kalsiyum alüminat oluşturur.[ERGİN, 1998].



Bu basamakta silisyum dioksit de bir miktar kalsiyum oksitle tepkimeye girerek mono kalsiyum silikat oluşturur.



Oluşan bu mono kalsiyum silikat hemen daha fazla kalsiyum oksitle tepkimeye girerek, aşağıda görüldüğü gibi dikalsiyum silikat oluşturur. Fakat bu basamakta oluşan dikalsiyum silikat'ın derişimi düşüktür. [Taylor 1992, Lea 1970].



1185° -1285°C Trikalsiyum alüminat (3CaO . Al₂O₃)

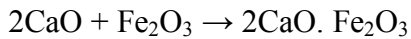
ve tetra kalsiyum alümina ferrit

(4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃) oluşumu.

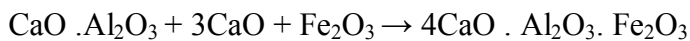
Dikalsiyum silikat oluşumunun tamamlanması. Bu sıcaklık aralığında mono kalsiyum alüminat daha fazla kalsiyum oksitle tepkimeye girerek, trikalsiyum alüminat oluşturur .



Aynı safhada bir miktar kalsiyum oksit, demir oksitle tepkimeye girerek dikalsiyum ferrit oluşturur [TAYLOR 1992, LEA 1970].



Bundan sonra daha kompleks bir tepkime ile tetrakalsiyum alümina ferrit oluşur.



1250° -1280 °C Sıvı faz oluşumu başlar. Endotermik 1280 °C' nin üstü Daha fazla sıvı faz oluşur.

Bunu müteakip trikalsiyum silikat'ın aşağıda görüldüğü gibi oluşumu ile klinker veya çimento bileşiklerinin oluşumu tamamlanır.

$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{CaO} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ Muhtemelen endotermik Yukarıda belirtilen tepkimeler sonucunda oluşan klinkere yaklaşık %4-5 oranında alçı taşı katılıp öğütülerek çimento elde edilir.

Bu safhada puzolanik maddeler veya cüruf katılarak öğütülürse değişik katkı çimentolar elde edilir.

2.1.8 Çimentonun Ana Karma Bileşenleri

Çimentolarda dört ana bileşen vardır. Bunlar karma oksitlerdir.

1. C2S olarak kısaltılan $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ (bikalsiyum silikat)
2. C3S olarak kısaltılan $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ (trikalsiyum silikat)
3. C3A olarak kısaltılan $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$ (trikalsiyum alüminat)
4. C4AF olarak kısaltılan $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ (tetrakalsiyum alümino ferrit)

Bunların dışında alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve minör oksitler dediğimiz birleşmemiş CaO MgO, bazı durumlarda Na_2O , K_2O ve erimeyen maddeler (çoğunlukla SiO_2) de bulunur. [AKMAN, 1998]

2.1.9 Çimentonun Özelliklerine Ana Karma Bileşenlerin Etkileri

Doğal olarak bu maddelerin taze ve sertleşmiş betonun özelliklerinde, davranışlarında farklı etkileri mevcuttur.

C2S ve C3S, yani kısaca silikatlar sertleşmiş çimentonun taşıyıcı iskeletini meydana getirirler.C3S 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. C2S ve C3S'in hidratasyonu sırasında kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

açığa çıkar. Bu sönmüş kireç miktarı C3S’de daha fazla olur. Bu kireç, çelik donatının paslanmasını geciktirir, yararlıdır, ancak zamanla yıkanır, yeri boş kalır ve beton geçirimli olur [İnt. Kyn. 6.].

C3A, 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 C3A durumunda da oluşur ve asıl kötüsü de budur. Zira bu yüksek dereceli genleşme betonu patlatır, tahrip eder. Sülfatlı ortamlarda kalacak çimentolarda, C3A miktarı düşük çimento seçmek zorunludur [İnt. Kyn. 6.].

C4AF’in etkisi C3A’nınkilere benzer, fakat etki daha düşük düzeydedir.

2.1.10 Çimentolarda Minör Bileşenler ve Bunların Etkileri

Minör bileşenlerden CaO ve MgO, zamanla su alıp hidroksit haline gelirler, bu dönüşüm hacim artması ile olur ve zararlıdır. Na₂O ve K₂O ise, beton agregalarının opal, kalseduvan, tiyplit 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 alçıtaşında puzolan veya tras adını verdiğimiz doğal aktif silis içeren maddeler vardır. Bunlar çimento fırınında pişirilmeden katıldığından çimento üretiminde büyük ekonomi sağlarlar. Ülkemiz doğal puzolan yönünden zengindir. Çimento sanayinde bu maddelerden yararlanılması kaçınılmaz ve akılcı bir yaklaşımdır. Bu maddeler, silikatların hidratasyon ürünü olan kireçle birleşerek sertleşir ve dayanım kazanır. Bu özellikleri betonun geçirimliliği 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 puzolanlar çok farklı kökenli olabilirler. Bazaltik, riyolitik vb.. gibi. Bu farklılık, tüm

KÇ ve TÇ çimentolarının aynı dayanıklılığa sahip olmayacaklarını, en azından farklı zararlı ortamlarda farklı davranış gösterebileceklerini açıklar.

2.1.11 Çimento türleri

2.1.11.1 Portland Çimentosu: Betonarme yapılarda kullanımı en yaygın çimento türüdür. Portland çimentosu belirli oranda kalkertaşı (CaCO_3) ve kilin (SiO_2 ve Al_2O_3) karıştırılıp klinkerde pişirilmesinden sonra bilyali degirmende öğütülmesiyle elde edilir. Çimentonun sertleşmesini geciktirmek üzere klinkere bir miktar alçı taşı da eklenir [İnt. Kyn. 7.] .

Portland çimentosu çoğunlukla gri renklidir. Sanayide büyük çapta organik maddelerden (kil, kum ve demir cevheri) üretilir.

Çimento'nun ismi ve kullanma tarihçesi Romalılara kadar geriye gider ve *opus ceamentitium* diye adlandırılmıştır. Bu harç tozu yanardağ külü, kireç ve kiremittozu katılması ile elde etmişlerdir.

Genelde sıva ve beton yapımında kullanılır. Tabiati aşılımlara (su, buz, soğuk ve sıcak) karşı en iyi harçtır. Bu yüzden küresel kullanımdadır.

Portland çimentosu kuru veya nemli düzende elde edilir. Nemli veya yarı ıslak tabirli ham çimento döner fırınlarda yüksek enerji kullanımı ile edilen muazzam hararetle kurutulup toz haline getirilir. 200 °C ye soğutulup toz hale getirilip alçı ve anhydrit katılarak elde edilir. Bu üretim 1824 de ingiliz Joseph Aspdin tarafından patentlenmiştir [İnt. Kyn. 7.] .

Portland çimento adını, Britanya adasının Manş kanal kıyısının Portland yarımadasında bulunan kireçtaşının renk benzerliğinden alıyor.

Çeşitli organik maddelerin; ince kum, puzzolan taşı, kül katılımı ile çeşitli fiziksel özellikleri öne alınabilmektedir.

Klinker, çimento üretimi sırasında pişmiş kil ve kalkerlerin birleşiminden oluşan iri taneli malzemedir. Çimentonun bir önceki safhası olarak adlandırılabilir. Yapısında pişirilmiş biçimde %20 kil ve %80 oranında kalker içerir. Çimento haline getirilmeden önce ağırlıkça %3-6 oranında alçıtaşı ile karıştırılır ve iyice öğütülür [İnt. Kyn. 7.] .

Klinker kendi başına bir bağlayıcı özellik göstermemekte ve su ile reaksiyona girmemektedir [İnt. Kyn. 7.]

2.1.11.2 Yüksek Fırın Cüruf Çimentosu: Granüle yakın fırın cürufu ile Portland çimentosu klinkeri karışımının az miktarda alçıtışı ile öğütülmesi ile elde edilir. Genelde, bu tür çimentolar deniz suyu ve diğer sülfatlı ortamlarda portland çimento suna kıyasla daha yavaş dayanım kazanırlar ve daha yüksek bir dayanıma sahip olurlar. Ancak geçirimsizlikleri daha düşüktür [LAFARGE EKMEL BETON].

2.1.11.3 Traslı Çimentolar: Aktif volkanik tüfler veya benzeri traslarla normal iki portland çimento klinkerinin belli oranda bir miktar alçıtışı ile karıştırılarak ince öğütülmek suretiyle elde edilir.

Türk standartlarında traslı çimentolar iki grupta toplanır.

a. TÇ 30–70

b. TÇ 40–60

30–40 rakamları tras yüzdesini 60–70 rakamları ise karışımdaki normal portland çimento yüzdelelerini ifade eder.

Traslı çimentolar su altı betonlarında tünellerin iç kısımlarında temel inşaatlarında baraj inşaatı gibi kütle betonu gerektiren terlerde kullanılır [LAFARGE EKMEL BETON].

2.1.11.4 Uçucu Kül Çimentolar: Ağırlıkça %15 oranında TS 639 a göre uygun uçucu kül ile ağırlıkça %85 oranında TS 19 a göre uygun portland çimentosunun karıştırılarak meydana gelen bir hidrolik bağlayıcıdır.

2.1.11.5 Cüruf Çimentoları:

a. *Sülfatlı cüruf çimento:* Simgesi SCC, ani soğutulmuş granüle haline getirilmiş yüksek fırın cürufu ile içinde en az %5 SO₃ bulunan CaSO₄ ve katalizatör olarak da portland çimentosu ile öğütülerek homojen olarak karıştırılması oluşan hidrolik bağlayıcıdır.[İnt. Kyn. 7.]

b. *Demir portland çimentosu*: Simgesi NDPÇ350; minimum %70 portland çimentosu ile %30 ani soğutulmuş yüksek fırın cürufunun birlikte öğütülmesiyle elde edilir. [İnt. Kyn. 7.]

Simgesi NYÇ olan normal yüksek fırın portland çimentosu %15–69 portland çimentosu ile %85–31 ani soğutulmuş yüksek fırın cürufunun birlikte öğütülmesi ile elde edilir.

Bu çimentolar mukavemetin ikinci derecede rol oynadığı inşaatlarda az sülfatlı yapılarda deniz suyu inşaatlarında kullanılabilir.

Sorel Çimentosu; Soler çimentosu klinkeri ile $MgCl_2$ çözeltisinin hazır tozu veya herhangi bir mineral agregayla karışılması ile elde edilir.

Beyaz Portland Çimentoları: Simgesi BPÇ dir. Genellikle beyaz kireç taşı ve temiz kilden oluşur. Bu çimento ana hatlarıyla portland çimentonun aynıdır. Ancak hammadde olarak demir ve mangan oksitlerini içermemelidir.

Alüminli Çimentolar: Boksit ile kalkerin beraberce pişirilmesi ile elde edilir bu çimentoda Al_2O_3 % 30'dan fazladır. Bu çimentoların portland çimentosuna nazaran ilk dayanımları çok yüksektir [İnt. Kyn. 7.].

2.1.12 Çimento çeşitleri:

Avrupa'da Genel Çimentolar için hazırlanmış olan EN 197 standardı, ülkemizde de Türk Standardı TS EN 197 olarak aynen uygulanmaktadır. Bu standarda göre aşağıdaki ana gruplar içinde "CEM çimentosu" nun üretimi mümkündür [İnt. Kyn. 8.].

CEM I Grubunda klinkerin sadece kalsiyum sülfat ve minör bileşen olarak ağırlıkça en fazla %0–5 arası mineral katkı ile öğütülmesi sonucu elde edilen Portland Çimentoları bulunur. CEM II, III, IV, V Gruplarında minör bileşene ilaveten daha fazla miktarlarda mineral katkılar kullanılır [İnt. Kyn. 8.].

CEM II Grubunda mineral katkı miktarı % 6-35 arasındadır. Katkı türüne bağlı olarak bu gruptaki çimentolar Portland Cürüflü, Portland Uçucu küllü, Portland Puzolanlı, Portland Kalkerli gibi isimler almakta, Portland Kompoze Çimentoda ise birden fazla katkı birlikte kullanılabilir [İnt. Kyn. 8.].

CEM III Grubunda Yüksek Fırın Cürüflü Çimentolar bulunur. Cüruf katkısı %36 – 95 arası değişir [İnt. Kyn. 8.].

CEM IV Grubunda Puzolanik Çimentolar yer alır. Bunlarda cüruf veya kalker kullanılmaz. Puzolan ve uçucu kül katkıları birlikte %11-55 arası değişir [İnt. Kyn. 8.].

CEM V Grubunda Kompoze Çimentolar bulunur. Bunlara hem cüruf (%18-50) ve hem de puzolan ve uçucu kül (%18-50) sınırları arasında değiştirilerek birlikte katılır, miktarları klinker oranı %20- 64 arasında kalacak şekilde ayarlanır [İnt. Kyn. 8.].

CEM I Grubu dışındaki CEM çimentoları katkı miktarlarına göre alt gruplara ayrılmıştır. Grup standartları içinde göreceli olarak az katkı içerenler A harfi, çok katkı içerenler ise B harfi ile belirlenmektedir. CEM III çimentosunun bir de en yüksek katkılı C alt grubu vardır. Böylece ortaya başlıca 27 tip CEM çimentosu çıkmaktadır [İnt. Kyn. 8.].

CEM çimentolarının üretiminde ülkemizde mineral katkı olarak en çok kullanılan maddeler, standarddaki sembolleri ile birlikte, şunlardır: kalker L veya LL, doğal puzolan (tras) P , uçucu kül V veya W ve yüksek fırın cürufu S. Uçucu kül, kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde ortaya çıkan baca tozudur. Yüksek fırın cürufu da demir-çelik endüstrisinde elde edilen bir yan üründür. Endüstriyel atık sayılabilecek her iki ürün çimento üretiminde kullanılarak değerlendirilmektedir [İnt. Kyn. 8.].

Özellikle CEM I dışındaki CEM çimentoları yüksek mineral katkı içerikleri dolayısı ile daha ekonomik ve çevre dostudurlar. Çimento üretiminde kullanılan doğal hammaddelerden, yakıt ve elektrik enerjisinden tasarruf sağlarlar ve atık malzeme kullanımına imkan tanırırlar. Ayrıca, uygun şekilde kullanıldıklarında mineral katkıların teknik yararları da vardır ve betonda zararlı çevresel etkilere karşı dayanıklılığı arttırırlar [İnt. Kyn. 8.].

Genel CEM çimentolarının dışında bazı özel çimentolar da üretilmektedir. Evvelce değinildiği gibi, portland çimentosundaki ham madde karışım oranlarını ayarlayarak kimyasal bileşimde bulunan dört ana bileşenin göreceli miktarlarını ve dolayısı ile çimentonun bazı özelliklerini istenilen yönde değiştirmek mümkün

olmaktadır. Örneğin, C3A içeriğinin en fazla %5 olacak şekilde azaltılması ve C3S içeriğinin C2S 'inkine yakın değere indirilmesi ile "Sülfatlara Dayanıklı Çimento" elde edilmiş olur [İnt. Kyn. 8.].

Ham maddelerin özel olarak seçimi, beyaz kil ve bazı katkıları kullanılması ile çimentonun diğer özellikleri değiştirilmeden gri rengi beyazlaştırılmakta ve "Beyaz Portland Çimentosu" elde edilmektedir. " Harç Çimentosu" yüksek kireç ve puzolan katkılı dayanımı düşük, işlenebilmesi yüksek bir çimentodur. Ülkemizde ayrıca, Kalsiyum Aluminat ve Sorel çimentoları gibi daha bir kaç özel çimento istek durumuna bağlı olarak az miktarlarda da olsa üretilmektedir [İnt. Kyn. 8.].

Çimento tipleri dayanım sınıflarına göre de alt gruplara ayrılırlar. Çimentonun dayanımı 32.5, 42.5 ve 52.5 sayılarından birisi ile belirtilir. Bu sayı, standart deneyde çimento numunesinin 28 gün içerisinde ulaşması gereken basınç dayanımının N / mm² veya MPa olarak değeridir [İnt. Kyn. 8.].

İkinci bir sınıflandırma erken dayanıma göredir. N harfi normal, R harfi ise yüksek erken dayanımı ifade eder. Yüksek erken dayanımlı çimentonun 2 gün içinde standart da belirtilen dayanıma ulaşması gerekmektedir. Bazı örnekler şöyledir: [İnt. Kyn. 8.].

CEM I 42.5 R: Dayanım sınıfı 42.5 olan yüksek erken dayanımlı portland çimentosu.

CEM II / A - P 32.5 N: Kütlece %6-20 arasında tras içeren, dayanım sınıfı 32.5 olan normal erken dayanımlı portland puzolanlı çimento.

CEM III / B 32.5 N: Kütlece %66-80 arasında granüle yüksek fırın cürufu içeren, 32.5 dayanım sınıfında normal erken dayanımlı yüksek fırın cürufu çimento [İnt. Kyn. 8.].

2.1.13 Çimento Katkı Malzemesi Uçucu Kül Tanımı ve Özellikleri

Termik santrallerde kömür üretimi sonucu ortaya çıkan, baca gazlarıyla dahi taşınabilecek incelikte olduğu için elektrofiltreler yardımıyla toplanıp santrallerde depolanan bir endüstriyel atıktır. Puzolanik madde olma ve çimentoya benzer özellikler göstermesi sebebiyle inşaat sektöründe geniş bir kullanım alanına sahiptir [İnt. Kay. 9].

Uçucu kül rutubetli ortamlarda kalsiyum iyonları ile reaksiyona girerek silikat hidrate oluşturan yarı kararlı alümin silikatlar içerir. Dünyadaki uçucu kül üretimi yılda yaklaşık 450 milyon tondur ancak toplam uçucu kül miktarının sadece %6 sı çimento ve beton karışımlarında puzolan olarak kullanılmaktadır. Türkiye' de kömür yakan 11 enerji santrali bulunmaktadır. Ülkemizde yıllık uçucu kül üretimi yaklaşık 15 milyon ton civarındadır [İnt. Kyn. 10.].

Betonda uçucu kül kullanımının iki ana nedeni vardır:

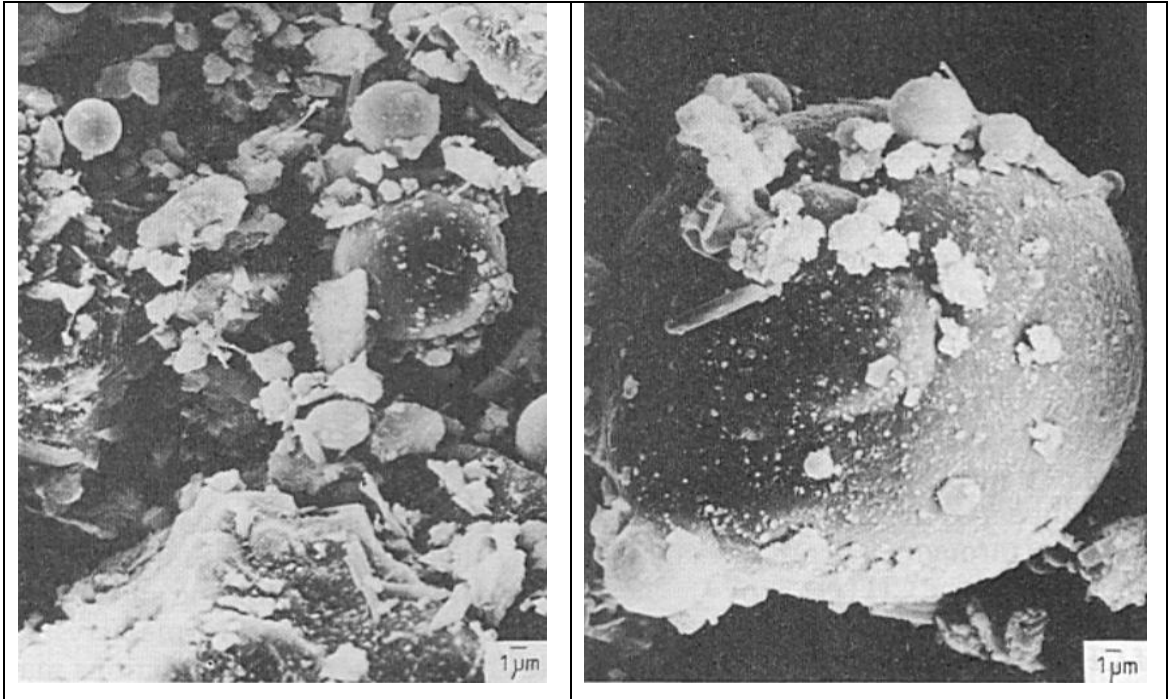
- 1-Beton maliyetlerini düşürmek,
- 2-Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştirmek [İnt. Kyn. 10.].

Uçucu küller içerdikleri SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 miktarına bağlı olarak ASTM C618 standardına göre F ve C olarak iki genel sınıfa ayrılmaktadır. Üç temel bileşen olan SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'in toplamları %70 veya daha fazla ise uçucu kül teknik olarak F sınıfı kül olarak adlandırılır. C sınıfı uçucu küllerde önemli oranda CaO bileşeni bulunduğundan SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 bileşenleri toplamı %50'den büyük olması gerekmektedir. F sınıfı küllerin esas aktif bileşeni silisli veya alümina silikatlı cam olup bitümlü kömürden elde edilmektedir. C sınıfı küllerde ise aktif bileşen kalsiyum alümino silikattır ve linyit kömürünün yanması ile elde edilmektedir [SCHOLZ 1979].

Yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, uçucu kül ve çimento etkileşimi, yapılan karakterizasyon çalışmaları (optik mikroskop, SEM görüntüleri) yardımı ile belirlenebilir. Uçucu kül ve çimento karışımı numunelere optik mikroskop ile incelendiğinde, optik mikroskop yardımı ile numunelere içerisinde sadece macrohomojenitesine belirlenebilir, yani sadece tane sınırları ve tane dağılımları ve boşluk oranları incelenebilir. Bununla beraber, numune hazırlandıktan sonra, uçucu külün çimento içerisindeki homojen dağılımı kontrol edilebilir.

Optik mikroskop altında uçucu kül taneleri çimento içerisinde de kolayca görüntülenebilir. Fakat bu görüntüler, uçucu kül ve çimento arasındaki reaksiyonik etkileşimler hakkında bilgi vermez, bu yüzden daha mikro boyutta incelemek, çimento uçucu kül etkileşimini incelemek için daha etkili olacaktır.

Çimento ile uçucu kül arasındaki reaksiyonlar her zaman devam etmektedir. Bunun için SEM görüntüleri belli zaman periyotlarında çekilerek belirlenmiştir. Önceden yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde resim 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, ve 2.13'deki görüntüler belirlenmiştir. Bu görüntülerin verdiği bilgiler ışığında, karışım hazırlandıktan 1 saat küçük tane boyutuna sahip çimento taneleri daha hızlı hidratasyona uğrayarak kendi boyutlarından daha büyük çimento tanelerine dönüşürler, bununla beraber, bazı uçucu kül taneleri hidratasyona uğrayabilir. (Resim 2.8) Karışım hazırlandıktan 4 saat sonra, uçucu kül taneleri hemen hemen hepsi hidratasyona uğramış ve boşluklara yerleşerek hidratasyona uğramış olan taneler ile boşluklara yerleşirler. (Resim 2.9) Ayrıca, 8. saatte doğru giderken CH ve Aft yüzey üzerinde görüntülenmektedir. Bu zamanlar da, çimento taneleri içerisinde büyük CH kristallerinin yanı sıra C-S-H ve Aft ihtiva etmektedir. (Resim 2.10, Resim 2.11) 12 saat sonra iğneli bir şekilde uçucu kül taneleri çimento tanesini etrafını kaplamaktadır.(Resim 2.12) 18. saatte geldiğinde Aft fazları daha iyi kristallendiği ve daha büyük CH kristalleri oluştuğu gözlenmiştir.(Resim 2.13)

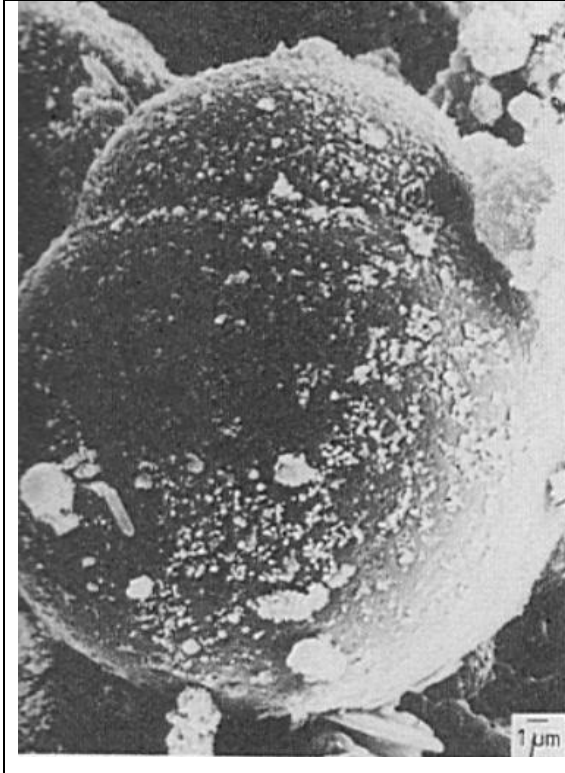


Resim 2. 8 Çimento + Uçucu kül

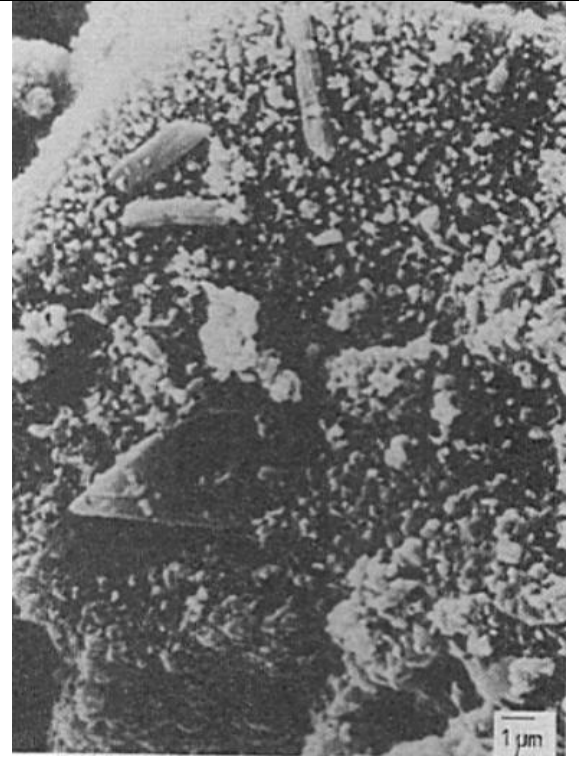
1 saat sonra [İnt. Kyn. 11.]

Resim 2. 9 Çimento + Uçucu kül

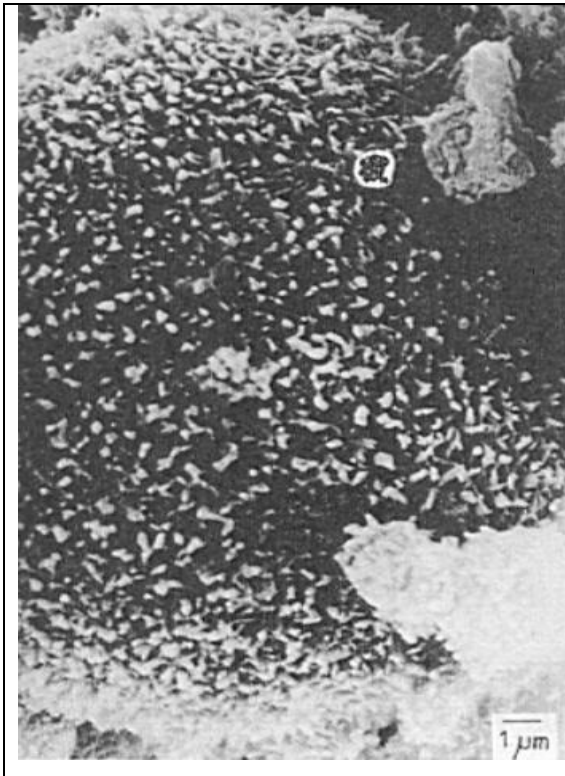
4 saat sonra [İnt. Kyn. 11.]



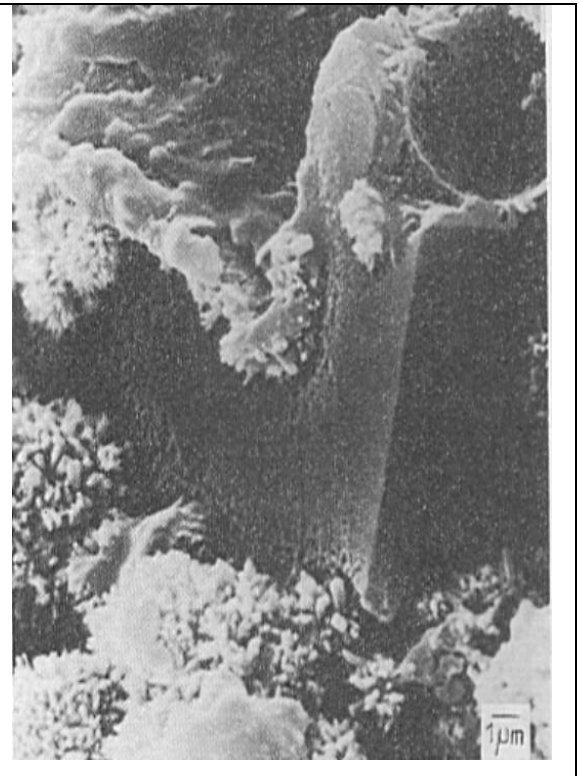
Resim 2. 10 Çimento + Uçucu kül
8 saat sonra [İnt. Kyn. 11]



Resim 2. 11 Çimento tanesi
Uçucu kül içerisinde 8 saat sonra
[İnt. Kyn. 11]



Resim 2. 12 Çimento + Uçucu kül
12 saat sonra [İnt. Kyn. 11]



Resim 2. 13 Büyük CH Kristali
18 saat sonra [İnt. Kyn. 11]

3. MATERYAL METOT

3.1 Kullanılan Malzemeler

TU Bergakademie Freiberg/Almanya'da yapılmış olan deneysel çalışmalar da, Lafarge'de üretilen Portland çimentosu CEM I 42,5 içine katkı malzemesi olarak Breslau uçucu külü ile Medenbach kalkerini kullanılmıştır. Bu katkı malzemelerinin çimentonun teknik özelliklerinin değişiminin incelemek için, değişik oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar, DIN EN 196/3 standartları uygulanarak hazırlanmıştır. Karışımları hazırlanırken öncelikli olarak aynı oranlarda Medenbach kalkerini ve Breslau uçucu külü kullanılmış, farklı oranlarda su kullanılmıştır. Katkı malzemeleri olan, uçucu kül ve kalker de aynı su oranlarında farklı katkı malzemesi oranlarında kullanılmıştır. Böylelikle değişik oranlar da teknik özelliklerin değişimi gözlenmiştir. Bu karışımların oranları ve karışım miktarları ağırlık olarak Çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Karışımların Birleşme oranları

Karışım	Portland Çimentosu CEM I 42.5 (gr)	Breslau Uçucu Külü (gr)	Medenbach Kalkerini (gr)	Su (gr)
1	100	-	-	40
2	100	-	-	60
3	80	20	-	40
4	80	20	-	60
5	100	20	-	60
6	80	-	20	40
7	80	-	20	60
8	100	-	20	60
9	100	-	-	30
10	80	20	-	30
11	80	-	20	30

Bu çizelgeye göre karışım oranları yüzde oranında şöyledir;

- 1) Su : CEM I = $s/c = 0.4$; ($s = 40$ g; $c = 100$ g)
- 2) Su : CEM I = $s/c = 0.6$; ($s = 60$ g; $c = 100$ g)
- 3) Su : (CEM I + uçucu kül) = 0.4 ; (yerine konan 20 % uçucu kül katkıli çimento)
($s = 40$ g; $c = 80$ g; uçucu kül = 20 g)
- 4) Su : (CEM I + uçucu kül) = 0.6 ; (yerine konan 20 % uçucu kül katkıli çimento)
($s = 60$ g; $c = 80$ g; uçucu kül = 20 g)
- 5) Su : CEM I = 0.6 (çimentonun kütlesine eklenen % 20 uçucu kül)
($s = 60$ g; $c = 100$ g; uçucu kül = 20 g)
- 6) Su : (CEM I + Kalker) = 0.4 ; (yerine konan 20 % kalker katkıli çimento)
($s = 40$ g; $c = 80$ g; kalker = 20 g)
- 7) Su : (CEM I + Kalker) = 0.6 ; (yerine konan 20 % kalker katkıli çimento)
($s = 60$ g; $c = 80$ g; kalker = 20 g)
- 8) Su: CEM I = 0.6 (çimentonun kütlesine eklenen %20 kalker)
($s = 60$ g; $c = 100$ g; kalker = 20 g)
- 9) Su : CEM I = $s/c = 0.3$; (e.g.: $s = 30$ g; $c = 100$ g)
- 10) Su : (CEM I + uçucu kül) = 0.3 ; (yerine konan 20 % uçucu kül katkıli çimento)
($s = 30$ g; $c = 80$ g; uçucu kül = 20 g)
- 11) Su : (CEM I + Kalker) = 0.3 ; (yerine konan 20 % kalker katkıli çimento)
($s = 30$ g; $c = 80$ g; kalker = 20 g)

Portland çimentosu CEM I +2.5 in Kimyasal analiz sonuçları çizelge 3.2’de verilmiştir;

Çizelge 3.2 CEM I Kimyasal Analizi

Kimyasal Bileşim, %		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	20.90	Özgül Ağırlık	3150
Al ₂ O ₃	5.52	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3315
Fe ₂ O ₃	3.63	Basınç Dayanımı, MPa	
CaO	63.90	2 Günlük	21.9
MgO	1.62	7 Günlük	38.3
SO ₃	2.78	28 Günlük	45.1
Kızdırma Kaybı	1.15		
Tayin Edilemeyen	0.50		

3.2 Numune Hazırlanması

Numunelerin hazırlanması belli standartlar doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan bu numuneler önceden belirlenmiş bazı deneyleri uygulamak için uygun koşullarda hazırlanırlar. Bu yüzden bazı numuneler katılaşmadan önce deney uygulanır, uygulanacak olan deneyin işleyişine göre 3, 7 veya 28 gün bekletildikten sonra uygulanır. Genel olarak numune hazırlanışı standartlara göre şu şekildedir;

İlk olarak, önceden belirli oranlarda tartılmış su karıştırıcının kabına konulur, arkasından önceden belirlenmiş oranda tartılan katkılı çimento, karıştırıcının içerisine yavaşça dökülür. (Resim 3.1) 90 saniye karıştırıcı ile yavaş hız ile karıştırılan karışım el yardımı ile başka bir karıştırıcı alet yardımı ile karıştırıcının kabının ortasına toplanır. Daha sonra karışım işlemi daha yüksek bir hız ile 90 saniye daha devam eder. Bu karıştırma işlemi bittikten sonra karışım uygulanacak olan testin numunesine göre kalıplara dökülür.



Resim 3.1 Çimento karıştırıcısı

a. *Akışkanlık Testi*

Akışkanlık testi için öncelikle, karıştırıldıktan hemen sonra, katılaşmasını beklemeden cam bir zemin üzerinde ki yuvarlak şeklindeki kalıba ortasından dökülür. Sonra bir spatül

yardımı ile testin yapılacağı metal kalıbın içinin tamamen dolması sağlanır. Böylelikle akışkanlık deneyi için numune hazırlanmış olur.

b. Vicat testi

Vicat testi için, tartılıp, standartlara göre karıştırılan numune önceden temizlenmiş ve yağlanmış olan, vicat numune kabının içine, tam ortasında boşaltılır.

c. Mukavemet testi

Mukavemet testi için numune hazırlama, karıştırılan ve hazırlanan numune, önceden temizlenmiş ve çıkartılması kolay olması için yağlanmış metal kalıpların içerisine dökülür. Daha sonra karışımın metal kalıpların içerisine tam olarak yerleşmesi için titreşimli masa üzerine yaklaşık 30 saniye titreşime tabii tutulur. Numune metal kalıplarına tam olarak doldurulduktan sonra önceden yağlanmış ve temizlenmiş cam bir parça ile üstü kapatılarak yaklaşık 24 saat beklenir. Bu süre karışımın sertleşmesi için yeterli bir süredir. 24 saat geçtikten sonra kalıp açılarak katılaşmış olan karışım test zamanına kadar oda sıcaklığının muhafaza edildiği özel kapların içerisinde saklanır.

d. Küçülme testi

Küçülme testi için numune hazırlarken dikkat edilmesi gereken en önemli husus küçülme testinin yapılacağı cihazların temizliği ve küçülme cihazındaki hareketli parçaların yağlanmış olması ve rahat hareket ediyor olmasıdır. Bu kontroller yapıldıktan sonra, çimento karıştırıcısında standartlara göre karıştırılan karışım, hemen küçülme cihazı kalıplarına boşaltılır. Bu kalıplardan, içerisine hiç hava girmeyecek yani hava ile temasını kesecek şekilde poşetlenir. Daha sonra bilgisayarda ki program başlatılarak test başlatılır.

3.3 Akışkanlık Testi

Akışkanlık testi, hazırlanan çimentonun işlenebilirliğini ve uygulanabilirliğini ölçmek için yapılan bir testtir. Bu testte, önceden belirlenmiş olan karışım tartılıp hazırlandıktan sonra akışkanlık cihazına konulur. (Resim 3.2) Numune konulduktan sonra akışkanlık cihazı başlangıç yani sıfır moduna ayarlandıktan sonra başlatılır. Akışkanlık test cihazı

15 tur vurgudan sonra cihaz durdurularak cam zemin üzerinde ki numunenin yayılımına ölçülür. Bu ölçümler yayılımın olduğu dairenin 3 farklı çap uzunluğundan ölçülerek ortalaması alınır ve değerlendirilmesi yapılır.



Resim 3.2 Akışkanlık Test Cihazı

3.4 Vicat Testi

Priz deneyi, çimento hamurunun ne kadar süre sonra sertleşmeye başladığını ve bu sertleşmenin ne kadar süre sonra tamamlandığını tespit etmek için yapılır. Priz deneyi vicat aleti kullanılarak yapılır.

Önceden belirlenmiş olan karışımlar, tartılarak standartlar doğrultusunda hazırlanır. Hazırlama işleminde karıştırma işlemi bittikten sonra numune 1 dakika içerisinde vicat aletinin kabına yerleştirilir ve üzeri mala ile düzeltilir. Vicat aletinin iğnesi numunenin üst yüzeyinde serbest bırakılarak batması sağlanarak, vicat tes aletinin kalibrasyon ayarları yapılır. (Resim 3.3) Bu vaziyette 5 dk. beklenir. 5 dk.'nın sonunda iğnenin numuneye kaç mm. battığı alet üzerinden okunur, saat ve batma miktarı bir yere kaydedilir. Vakit geçirilmeden iğne numuneden çıkartılarak başka bir yere batması sağlanır. Yine 5 dk. beklenir; batma miktarı okunur. Saat ve batma miktarı yine kaydedilir. İlk sertleşme gözlemlendikten sonra yani vicat iğnesinde 4 mm ilk bir batma oluştuğundan sonra zaman kaydedilir ve ilk prizlenme zamanı olarak kayıt edilir. Bundan

sonra iğne numuneye batırıldıktan sonra 15 dk. beklenir. 15 dk. sonunda yine saat ve batma miktarı kaydedilir. İğne çıkartılıp başka bir yere batırılıp yine 15 dk. beklenir. Vicat testin de en önemli hususlardan bir tanesi iğne bir defa batırılan yere bir daha batırılmaması gerekmektedir. Bu işleme batma miktarı 1 mm. oluncaya kadar devam edilir. Batma miktarı 1 mm. olduğunda zaman bize son priz zamanını gösterir. Süre kayıt edilerek, her zaman dilimi ile birlikte süreler grafiğe aktarılır.



Resim 3.3 Vicat Test Cihazı

3.5 Mukavemet Testi

Mukavemet testi, çimento üzerinde basma ve eğme mukavemeti olarak iki çeşitte uygulanır. Bu testte, procedure göre hazırlanmış olan çimento ve katkı malzeme karışımı olan hamur öncelikle 4x4x16'lık metal kalıplarda şekillendirilir. Oda sıcaklığındaki özel kaplarda, test zamanına kadar yani 3, 7 ve 28 gün bekletildikten sonra mukavemet testi için hazır olur. Bekleme süresi 3 gün için +/- 30 dakika, 7 gün için +/- 1 saat, 28 gün için +/- 3 saattir. Bu hazırlanan numunelerin, basma ve eğme mukavemetleri ölçmek üzere mukavemet cihazına yerleştirilir. (Resim 3.4)



Resim 3.4 Mukavemet Cihazı

Mukavemet cihazında eğme mukavemeti, mesnetler arası 15 cm olan 3 nokta eğme aparatı yardımı ile yapılmıştır. Her karışımın eğme mukavemetini ölçmek için 3 ayrı numune hazırlanıp testte tabii tutulmuştur. Basma mukavemeti için 4x4 basma aparatları kullanılmış ve eğme mukavemeti sonucu kırılan numuneler yani 6 numune basma mukavemeti testine tabii tutulmuştur. Alınan sonuçların ortalamaları alınıp kayıt yapılmıştır.

3.6 Özgül Ağırlığın Ölçülmesi

Önceden hazırlanan karışımlar, mukavemet testi için kalıplara dökülüp sertleştikten ve mukavemet test zamanına kadar oda sıcaklığında ki özel kaplarda bekletilen numuneler, mukavemet test zamanında, bu testten önce özgül ağırlıkları hesaplanır. Bunun için öncelikle numunenin ağırlığı tartılır daha sonra 4x4x16'lık metal kalıplardan çıkan numunelerin tekrardan boyutları ölçülerek, hacim hesaplanır. Daha sonra;

$$d = \frac{m}{v}$$

d: Özgöl yoğunluk
m: Kütle
v: Hacim

Formülü kullanılarak numunenin özgül ağırlığı hesaplanır. Her bir karışım için 3 ayrı numunenin özgül ağırlıkları hesaplanır ve ortalamaları alınır.

3.7 Küçülme Testi

Küçülme testi, çimento karışımının su ile karışımından sonra tek boyutta, boyca olan değişimini gözlemlemek amacı ile yapılmaktadır. Bu doğrultuda, yapılmış olan küçülme deneyi tek ucu hareketli metal kalıplar yardımı ile yapılmıştır. Küçülme testinde en önemli hususlar, kalıpların temiz olması ve hareketli olan kısmın yeterli miktarda yağlanmış olması lazım ki, daha kolay hareket ederek, doğru sonuçlara elde edilsin.

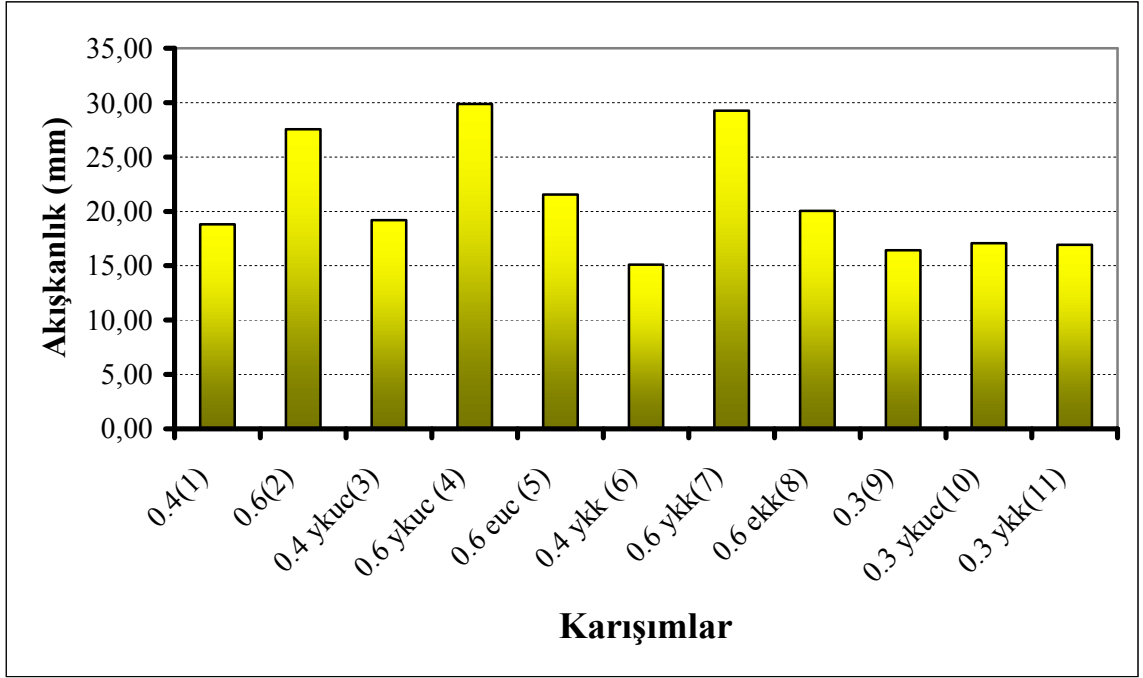
Bu kontroller yapıldıktan sonra, hazırlanan karışımlar metal küçültme testi cihazının kalıplara dökülür. Kalıba tamamen karışımı yerleştirdikten sonra, bilgisayar yardımı ile cihazın kalibrasyonu yapılır, yani referans noktası olan hareketli uç sıfıra ayarlanır. Hareketli uçtaki değişimler bilgisayar yardımı ile kayıt edilmiştir.

Bu test, aynı karışım için hem açık ortamda hem de kalıbın etrafı poşetlenmiş şekilde yapılmıştır. Poşetlemenin amacı karışımın hava ile temasını keserek su kaybını önleyerek küçülmeyi saptamaktır.

4. BULGULAR

Akışkanlık Testi

Akışkanlık testi sonucunda, yayılan karışımın 3 ayrı çap bölgesinden ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerin ortalamaları alınarak şekil 4.1’de belirtilmiştir.



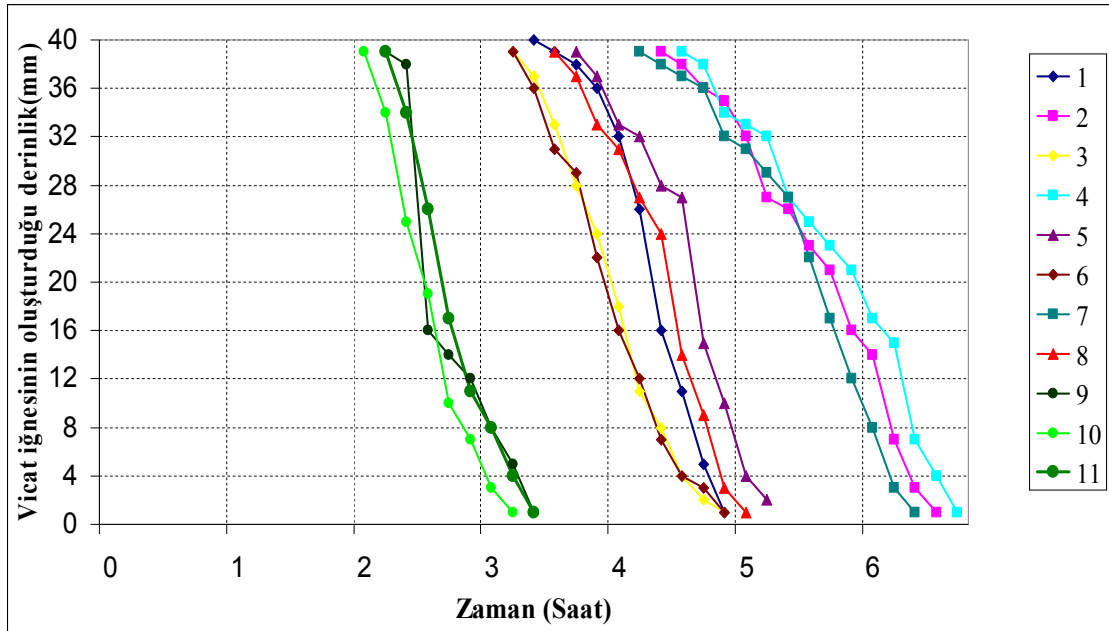
Şekil 4.1 Akışkanlık Grafiği

Şekil 4.1’deki bilgiler ışığında, eğer karışım içindeki yüzde su miktarı arttıkça cam zemin üzerindeki yayılım yani akışkanlık o derece artmaktadır. Bu grafikte de görüldüğü üzere su ve toz karışım arasında ki oran eğer %60 ise yayılım o derece büyük gözlemleniyor.

Karışım (2), (4) ve (7) de olduğu gibi, yerine konularak değil de eklenerek hazırlanan numunelerin su ve toz karışım arasında ki oran biraz daha düştüğünden yayılımlarında doğru orantılı bir şekilde düşmektedir. Cam zemin üzerindeki yayılımın en düşük olarak gözlemlendiği oran, hazırlamış olduğumuz numuneler içerisinde su ve toz karışım oranı en düşük olan yani (6), (9), (10) ve (11) nolu karışımlardır.

4.2 Vicat Testi

Vicat testi, hazırladığımız karışımların ilk prizlenme ve son prizlenme zamanlarını bulabilmek için yapılır. Hazırlanan numune her 5 dakika da bir teste tabii tutulmuştur. İlk prizlenme gözlemlendikten sonra her 15 dk ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları şekil 4.2 de belirtilmiştir.



Şekil 4.2 Vicat grafiği

Bu veriler ışığında, ilk prizlenme zamanı yaklaşık değerler ile; 1. karışım için 3 s 50 dk, 2. karışım için 4 s 40 dk, 3. karışım için 3 s 30 dk, 4. karışım için 4 s 50 dk, 5. karışım için 3 s 57 dk, 6. karışım için 3 s 20 dk, 7. karışım için 4 s 40 dk, 8. karışım için 3 s 44 dk, 9. karışım için 2 s 30 dk, 10. karışım için 2 s 10 dk, 11. karışım için 2 s 20 dk olarak belirlenmiştir.

Son prizlenme zamanı yaklaşık değerler ile ; 1. karışım için 4 s 50 dk, 2. karışım için 6 s 30 dk, 3. karışım için 4 s 50 dk, 4. karışım için 6 s 40 dk, 5. karışım için 5 s 10 dk, 6. karışım için 4 s 50 dk, 7. karışım için 6 s 20 dk, 8. karışım için 5 s 6 dk, 9. karışım için 3 s 20 dk, 10. karışım için 3 s 10 dk, 11. karışım için 3 s 20 dk olarak belirlenmiştir.

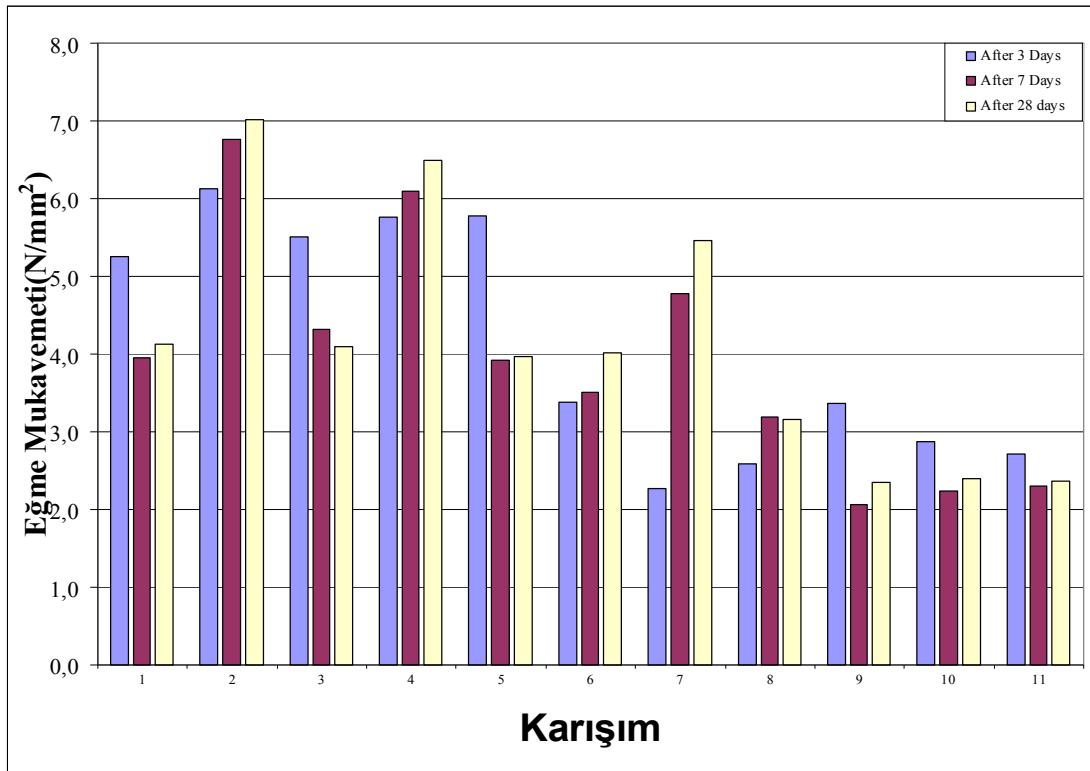
Bu bilgiler ışığı altında su ve toz karışım arasındaki oran ne kadar fazla olursa, 2, 4 ve 7. karışımlarda olduğu gibi ilk prizlenme geç, son prizlenme o kadar yavaş oluyor. Eğer bu

oran daha küçük ise, 9, 10 ve 11. karışımlar da olduğu gibi, doğru orantılı olarak ilk ve son prizlenme daha erken zamanda gözlemleniyor.

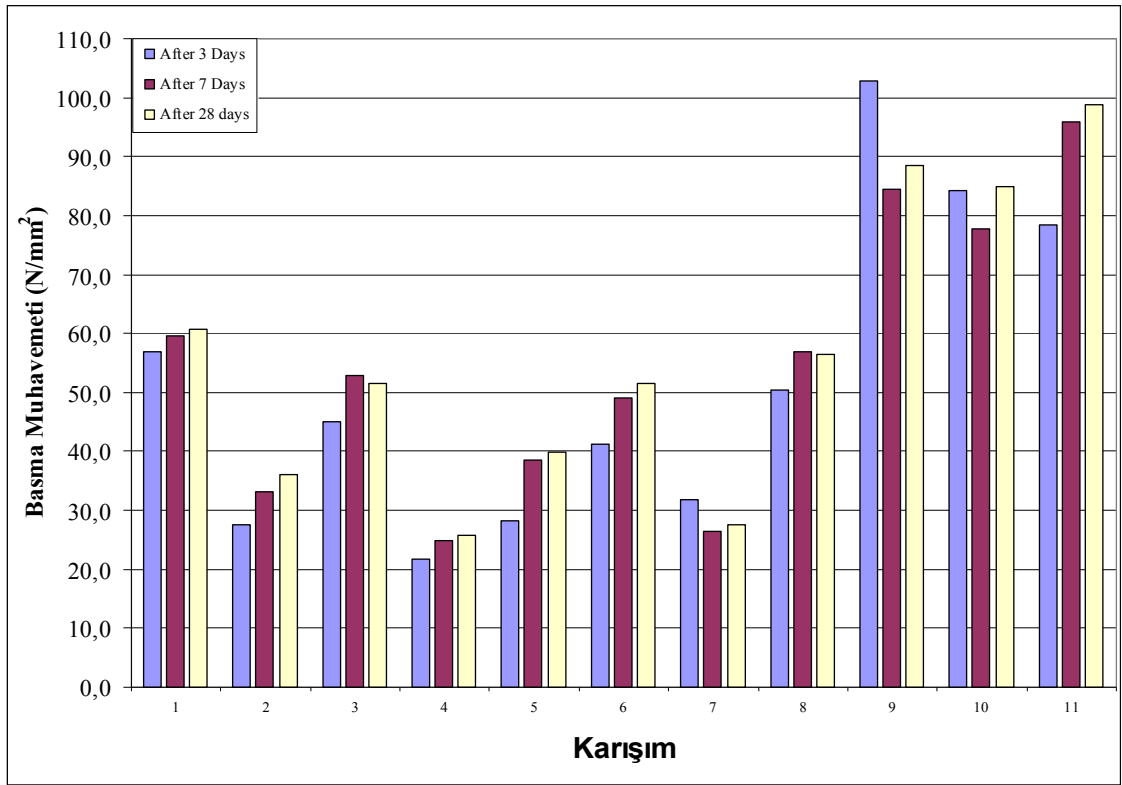
4.3 Mukavemet Testi

Mukavemet testi, çimentonu zamanla sertleştikten sonra dayanımındaki değişimi gözlemlenmek ve katılan katkı malzemelerinin uçucu kül ve kalkerin çimentonun dayanımına olan etkisini belirlemek amacı ile yapılmıştır.

Yapılan mukavemet testi sonuçları, eğme mukavemeti ve basma mukavemeti değerleri her karışım için 3'er tane numune üzerinde yapılmış ve ortalama değerleri alınarak sırasıyla şekil 4.3 – şekil 4.4 'te belirtilmiştir.



Şekil 4.3 Eğme mukavemetinin zamanla değişim grafiği



Şekil 4.4 Basma mukavemetinin zamanla değişim grafiği

Şekil 4.3 – Şekil 4.4 deki değerler ışığında, su ve toz karışımın aralarında ki orantı karışımların mukavemet değerlerine etkimektedir. Eğer ki, su ve toz karışım oranı düşük ise eğme mukavemeti azalmakta, basma mukavemeti ise artmaktadır, diğer bir yandan bu oran azaldıkça eğme mukavemeti artmakta bununla orantılı olarak da basma mukavemeti azalmaktadır.

Bu olay yoğunluk ile doğru orantılı şekilde devam eder. Bir karışım ne kadar yoğun olur ise tanecikler arası mesafe o kadar azalacak, taneler arası boşluk olmayacaktır. Eğer ki, bir karışımın yoğunluğu yüksek ise basma mukavemeti yüksek, eğme mukavemeti de düşük olur.

Su ve toz karışım oranı % 30 olan karışım 9, 10 ve 11 inci numunelerde bu olayı gözlemleyebiliyoruz. Fakat diğer karışımlarda su oranı yüksek olduğundan dolayı bunun tam tersi bir olay gerçekleşir. Karışım 2, 4 ve 7 de bu gözlemlenir. Bu karışımlarda yüksek eğme mukavemeti, düşük basma mukavemeti gözlemlenir.

4.4 Özgül Ağırlığın Ölçülmesi

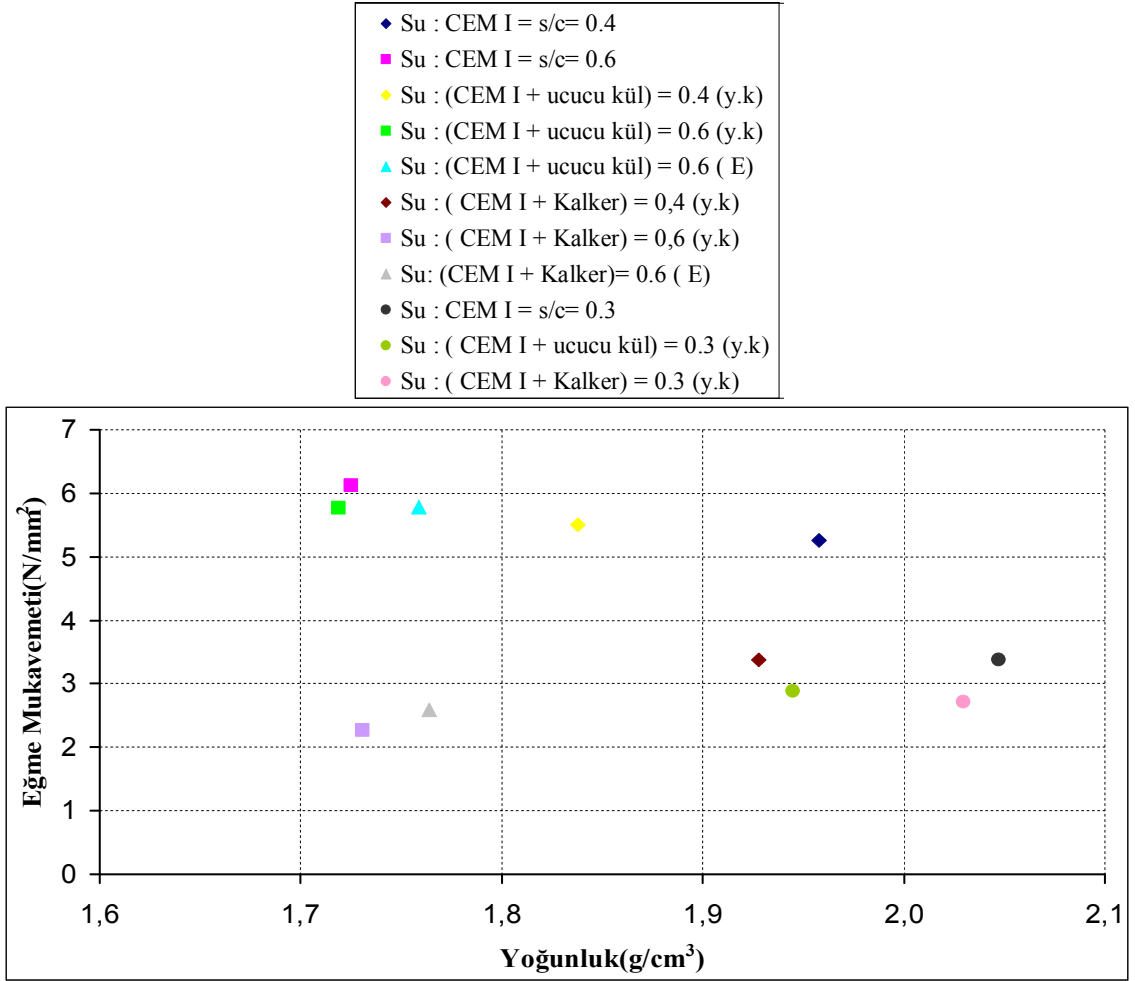
Yapılan ölçümler sonucunda karışımların özgül ağırlıkları çizelge 2’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır;

Çizelge 4.1 Karışımların Özgül Ağırlıkları

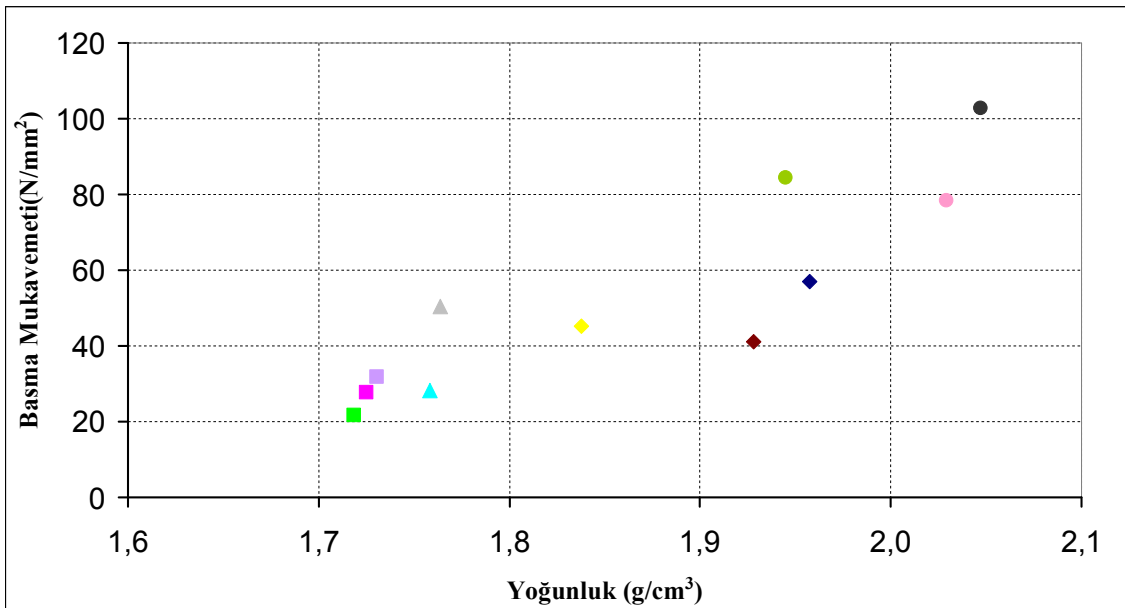
No	Karışımın Adı	Kütle (gr)	Hacim (cm ³)	Özgül ağırlık (gr/cm ³)
1	Su : CEM I = s/c= 0.4	509.31	260.32	1.96
2	Su : CEM I = s/c= 0.6	446.12	258.67	1.73
3	Su : (CEM I + uçucu kül) = 0.4 (y.k)	488.10	266.29	1.84
4	Su : (CEM I + uçucu kül) = 0.6 (y.k)	421.27	245.37	1.72
5	Su : (CEM I + uçucu kül) = 0.6 (E)	452.05	257.07	1.76
6	Su : (CEM I + Kalker) = 0,4 (y.k)	509.08	264.04	1.93
7	Su : (CEM I + Kalker) = 0,6 (y.k)	445.80	257.07	1.73
8	Su: (CEM I + Kalker) = 0.6 (E)	454.40	257.07	1.76
9	Su : CEM I = s/c= 0.3	553.75	270.48	2.05
10	Su : (CEM I + uçucu kül) = 0.3 (y.k)	524.00	269.41	1.95
11	Su : (CEM I + Kalker) = 0.3 (y.k)	544.56	268.33	2.03

Çizelge 4.1’ de görüldüğü üzere, su ile toz karışım oranı arttıkça karışımın özgül ağırlığı yani yoğunluğu ters orantılı bir şekilde azalmaktadır. Bunun sebebi, bünye içerisinde ki fazla su miktarının buharlaşma yolu ile dışarıya çıkması ve çıkarken bünye içerisinde gözenekler oluşturmasıdır.

Muhakkak ki bu gözenekler, karışımların mukavemet değerlerine etkileri olacaktır. Bu doğrultuda, bu ilişki şekil 4.5 – 4.6’da sırası ile eğme mukavemet ve basma mukavemeti ve yoğunluk grafiklerinde belirtilmiştir. Bu grafiklerde de görüldüğü gibi, su oranının artması ile azalan yoğunluk beraberinde doğru orantılı olarak basma mukavemetini de düşürmektedir.



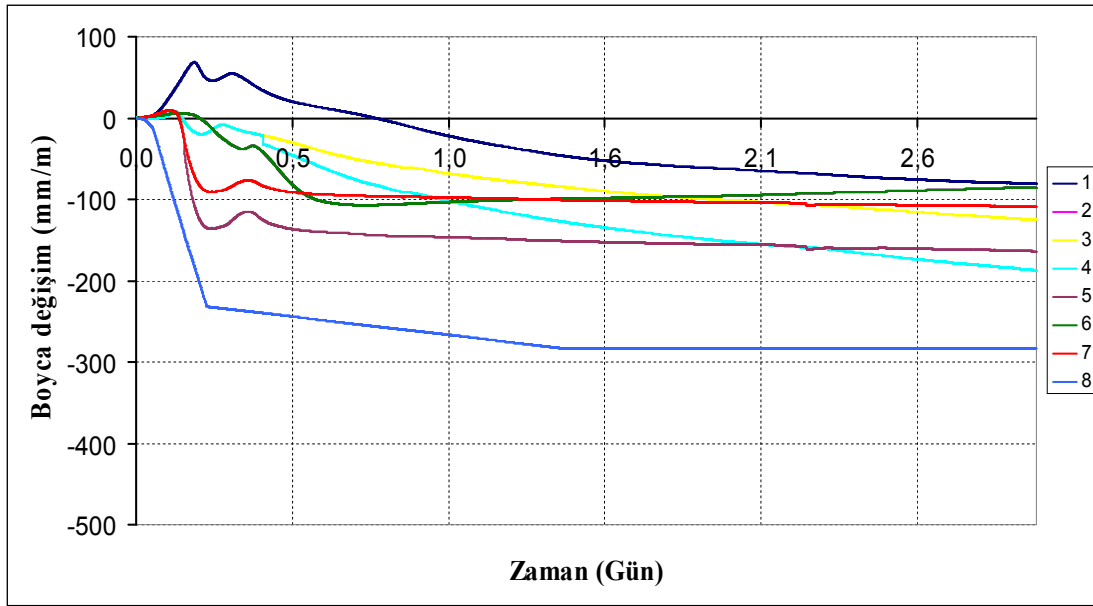
Şekil 4.5 Eğme Mukavemeti – Yoğunluk grafiği



Şekil 4.6 Basma Mukavemeti – Yoğunluk grafiği

4.5 Küçülme Testi

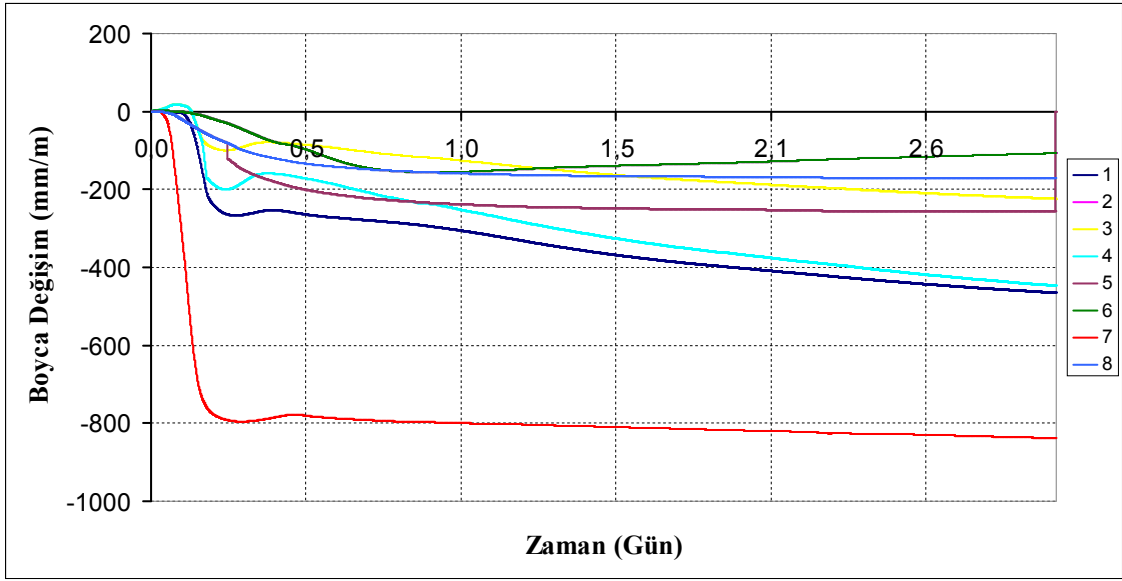
Küçülme testi, çimento karışımının su ile karışımından sonra tek yönde boyca olan değişimini gözlemlemek amacı ile yapılmaktadır. Hazırlanan karışımlar bu metal kalıplara dökülerek hareketli uçtaki değişimler bilgisayar yardımı ile kayıt edilmiştir. Bu deney, aynı karışım için hem açık ortamda hem de kalıbın etrafı poşetlenmiş şekilde yapılmıştır. Poşetlemenin amacı karışımın hava ile temasını keserek su kaybını önleyerek küçülmeyi saptamaktır. Bu değerleri Şekil 4.7 – 4.8 de belirtilmiştir.



Şekil 4.7 Boyca değişimin zamana karşı grafiği (Kapalı kalıp içinde)

Şekil 4.7 – Şekil 4.8 de görüldüğü üzere, su oranı yüksek olan karışımlarda küçülme daha fazla gözlemlenmektedir. Bu küçülmenin temel nedeni bünyedeki fazla suyun karışım hazırlandıktan hemen sonra, sıcaklığında etkisi ile buharlaşarak bünyeyi terk etme eğilimidir.

Dikkat edeceğimiz gibi, boyca değişim ilk 12 saat içerisinde gerçekleşmekte daha sonra lineer bir boyca kısalma söz konusudur. İlk 12 saatte de hızlı değişimin temel nedeni yine fiziksel suyun bünye içerisinde hızlı çıkışıdır.



Şekil 4.8 Boyca değişimin zamana karşı grafiği (Açık kalıp içinde)

5 SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu projenin amacı, katkı malzemesi olan uçucu kül ve kalkerin çimento üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Bu araştırmanın temel nedeni yüksek maliyetli olan çimento üretimi ve kullanımını daha düşük maliyette olan uçucu kül ve kalkerin çimento bünyesine katarak maliyetini düşürmektir. Katkı malzemesi kullanırken, çimentonun mekaniksel özelliklerinde ki değişiklikleri ölçmek için akışkanlık, vicat, mukavemet ve küçülme testleri yapılmıştır.

Vicat ve akışkanlık testleri için çimento karışımı standartlara göre hazırlandıktan hemen sonra kullanılırken, mukavemet deneyi için numuneler metal kalıplara döküldükten yaklaşık 24 saat sonra çıkarıldıktan sonra mukavemet testinin yapılacağı tarihe kadar oda sıcaklığının muhafaza edildiği özel kaplarda bekletildi. Mukavemet test, numune hazırlandıktan 3, 7 ve 28 gün sonra yapıldı.

Bu testlerin sonuçlarına göre;

- En yüksek akışkanlık özelliğini 4. karışım olan Su : (CEM I + uçucu kül) = 0.6 (yerine konan 20 % uçucu kül katkılı çimento) karışım göstermiştir.
- Yapılmış olan vicat testinde, ilk ve son prizlenme en erken zamanda 10. karışım olan Su : (CEM I + uçucu kül) = 0.3; (yerine konan 20 % uçucu kül katkılı çimento) karışımında gözlemlenmiştir.
- Basma mukavemeti ölçümlerinde en yüksek değeri 9. karışım olan ve Su : CEM I : 0.3 olan karışım göstermiştir
- Eğme mukavemeti sonuçlarına göre, en yüksek değeri gösteren karışım 2. karışım olan Su : CEM I : 0.6 'dır.
- Yapılmış olan küçülme testi sonuçların da, poşetlenmiş yani hava ile teması kesilmiş kapalı kalıpta ki sonuçlarda en çok boyca küçülme gösteren karışım 8. karışım olan Su: CEM I = 0.6 (çimentonun kütlesine eklenen % 20 kalker)'dır.
- Yapılmış olan küçülme testi sonuçların da, poşetlenmemiş yani hava ile teması olan açık kalıplardan alınan sonuçlara göre en fazla küçülme gösteren karışım 7. karışım olan Su : (CEM I + Kalker) = 0,6; (yerine konan 20 % kalker katkılı çimento)'dır.

6 KAYNAKLAR

1. AKMAN , M. ‘Beton Teknolojisine Giriş’, İTÜ, İstanbul, Ağustos 1994.
2. BERGER G., GILDENHAAR R., PLOSKA U., ‘Short-term Dissolution of Some Calcium Phosphate Cements and Ceramics’, 1997.
3. ERGİN H. , ‘Çimento Öğütme Devrelerinin Optimizasyonu’, İTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Temmuz 1998.
4. HEWLETT P.C., ‘ Lea’s Chemistry of Cement and Concrete’ 4. Edition, Elsevier Butterworth Heinemann. 2002
5. LAFARGE EKMEL BETON, ‘Beton Temin ve Kullanım Kılavuzu’, 1997
6. KURAL A., MAHİR H., ‘Çimentoya Uygulanan Deneyleler’, Afyon Kocatepe Üniversitesi. Seminer, 2002,
7. KİBİCİ, Y. ‘ Temel Jeoloji Prensipleri’, Devran Matbaa, Ankara, 1999
8. KİBİCİ, Y. ‘Petrografi’, Doğlat kırtasiye, Afyon, 2007
9. TEMUR S. ‘ Endüstriyel Hammaddeler ’ Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Konya-1998

İnternet kaynakları

1. http://www.baticim.com.tr/Cimen_Tanim.asp
2. www.odevarsivi.com/dosya.asp?islem=gor&dosya_no=34208 - 22k –
3. www.forumdar.net/cimentonun-tanimi-ve-tarihcesi-t3904.html - 70k -
4. www.msxlab.org/forum/x-sozluk/81478-cimento-cimento-nedir-cimento-hakkinda.html
5. www.kalitekontrol.org/forum/cimento-nedir-ve-nelerden-olusur-t27.0.html - 31k
6. <http://enm.blogcu.com/5119861/>
7. <http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87imento>
8. http://www.gençbilim.com/odev_tez/cimentonun+tanimi+ve+tarihcesi.odev_tez_makale.11878.php
9. <http://www.insaatmuhendisligi.net/index.php?topic=5735.0>
10. <http://www.yapidanismani.com/yapibilgi/default.asp?PG=205>
11. <http://www.msxlab.org/forum/x-sozluk/81478-cimento-ucucukul>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Alkan KİBİCİ
Doğum Yeri	Eskişehir
Doğum Tarihi	07.06.1982
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dili	İngilizce, Almanca
	Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise	Afyon Lisesi (1997-2000)
Lisans	Anadolu Üniversitesi (2000-2006)
Yüksek Lisans	Afyon Kocatepe Üniveristesi (2006-)
	Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı
-	
-	
-	

Yayımları (SCI ve diğer)

-
-

Diğer konular