



T.C
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

97974

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇİMENTONUN ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİNİN ARTTIRILMASI
ÜZERİNE BİR İNCELEME**

ALİ TUĞRUL ALBAYRAK
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
PROSES VE REAKTÖR TASARIMI PROGRAMI

DANIŞMAN:
PROF. DR. İSMET GÜRGEY

AĞUSTOS 2000

İSTANBUL

T.C. YÜKSEK LİSANS TEZİ
DOKÜMANLASYON MERKEZİ

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

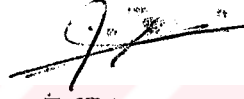
"Çimentonun öğütülebilirliğinin artırılması üzerine bir inceleme" konulu tez 25.09.2000 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kırıya Mühendisliği Anabilim Dalı Proses ve Reaktör Tasarımı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



İMZA
Prof.Dr.İsmet Gürgey
Danışman



İMZA
Prof.Dr.Ahmet Aydın



İMZA
Prof.Dr.İlker Kayadeniz



İMZA
Prof.Dr.İbrahim Yusufoglu



İMZA
Y.Doç.Dr.Muzaffer Yaşar

ÖNSÖZ

Bu tezin gerçekleşmesinde bana yol gösteren Danışman Hocam Prof. Dr. İsmet Gürgey'e , Denemeleri yapma ortamı hazırlayan, çalışmama izin veren AKÇANSA Yönetimine, bilgisiyle ve deneyimi ile yardımcı olan Kalite Kontrol Müdürü Sayın Erol Özbek'e, Sayın Teoman Erenoğlu ve laboratuvar çalışanlarına, örnekleri sağlayan Prof. Dr. Mehmet Ali Gürkaynak'a, örnekleri veren Alemdar Kimya yöneticilerine sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Önsöz.....	I
İçindekiler.....	II
Şekil Listesi	VII
Tablo Listesi	IX
Özet ve Summary	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Türkiye’de Çimento Üretimi.....	2
2. GENEL BİLGİLER.....	12
2.1. Çimento	12
2.1.1. Evre Dengesi	12
2.1.2. Klinker Evreleri.....	14
2.1.2.1. Alit (Trikalsiyum silikat).....	15
2.1.2.2. Belit (Dikalsiyum silikat).....	16
2.1.2.3. Alüminat Evresi.....	16
2.1.2.4. Ferrit Evresi.....	16
2.1.2.5. Diğer klinker evreleri	16
2.1.3. Çimentoların hidratasyonu (Donma, sertleşme, dayanım).....	18
2.1.3.1. Genel	18
2.1.3.2. Klinker evrelerinin hidratasyonu.....	19
2.1.3.3. Alüminat.....	20

2.1.3.4. Alit	20
2.1.2.5. Cüruf çimentoları ve pozzolanik çimentoların hidratasyonu	21
2.2. Çimento Üretimi	21
2.2.1. Ham malzeme oranları	24
2.2.2. Çimento'nun pişirilmesi (Isıl işleme)	26
2.2.2.1. Kurutma	26
2.2.2.2. Kil minerallerinin dehidratasyonu	26
2.2.2.3. Karbonatların Bozunması	27
2.2.2.4. Klinker oluşmadan önceki katı tepkimeler	27
2.2.2.5. Sıvı evre varlığındaki tepkimeler (klinker oluşumu)	28
2.2.2.6. Soğutma sırasındaki tepkimeler	28
2.2.3. Son öğütme	29
2.2.4. Çimentoların sınıflandırılması ve isimlendirilmesi	30
2.2.5. Çimentoların isimlendirilmesi	31
2.3. Öğütme	32
2.3.1. Öğütme – Enerji ilişkisi	34
2.3.1.1. Enerji Kanunları	35
2.3.1.2. Öğütme etkinliği	36
2.3.1.3. Gerçek enerji etkinliği	36
2.3.1.4. Değirmeni döndürme gücünü çözümleme	37
2.3.1.5. Bilyalı değirmenin kapasitesi ve güç tüketimi	39

2.3.1.6. Değirmen etkinlikleri	39
2.3.1.7. Değirmen koşullu değişkenleri	40
2.3.2. Öğütmede kullanılan aygıtlar.....	41
2.3.2.1. Taşlı değirmenler	41
2.3.2.2. Silindirli değirmenler	42
2.3.2.3. Santrifüj değirmenler	43
2.3.2.4. Bilyalı değirmenler	45
2.3.2.5. Aşırı derecede ince öğütülmüş ürün veren değirmenler	47
2.4. Çimentonun sınanmasında kullanılan yöntemler.....	48
2.4.1. İncelik	48
2.4.1.1. Elek artığı.....	48
2.4.1.2. Özgül Yüzey	48
2.4.2. Donma zamanları	49
2.4.3. Genleşmezlik	49
2.4.4. Dayanım.....	50
2.4.5. Hidratasyon ısısı	50
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	51
3.1. Klinker	51
3.2. Alçıtaşı.....	51
3.3. Kum	51
3.4. Öğütme Yardımcı Maddeleri	51

3.4.1. Ayçiçek yağı asidi	54
3.4.2. Laurik asit.....	54
3.4.3. Miristik asit	54
3.4.4. Stearik asit	54
3.4.5. Oleik asit	54
3.5. Denemenin yapılması	54
3.5.1. Normal kıvam tayini.....	55
3.5.2. Donma başlama ve sona erme süreleri	56
3.5.3. Hacim değişmezliği (Soundness)	57
3.5.4. İncelik.....	58
3.5.5. Özgül ağırlık.....	58
3.5.6. Özgül yüzey (Blaine).....	58
3.5.7. Basınç dayanımı	59
4. BULGULAR	61
4.1. Çimentonun öğütülürlüğü üzerine ayçiçek yağı asidinin etkisinin incelenmesi	62
4.2. Ayçiçek yağı asidinin bileşimi	64
4.2.1. Laurik asitin etkileri	64
4.2.2. Miristik asitin etkileri	66
4.2.3. Stearik asitin etkileri.....	68
4.2.4. Oleik asitin etkileri	70
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	75

6. KAYNAKLAR.....	77
7. ÖZGEÇMİŞ.....	78



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Dünya çimento üretim yüzdeleri	5
Şekil 2.1: $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ dizgesinde evre dengesi.....	13
Şekil 2.2: $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ dizgesinde çimento bölgeleri	14
Şekil 2.3: Portland çimento üretimindeki adımlar	22
Şekil 2.4: Kuru süreç çimento üretiminde yeni uygulamalı bilim.....	23
Şekil 2.5: Kapasite, güç ve öğütme maliyetindeki değişim (ürünün inceliğine göre) ...	34
Şekil 2.6: Nem'in bir tozlaştırıcının üretim hızı üzerine etkisi.....	37
Şekil 2.7: Değirmen döndürme gücünü belirlemek için basitleştirilmiş geometrik bağıntılar	38
Şekil 2.8: Taşlı değirmen	41
Şekil 2.9: Değirmen taşının işlenilme yöntemi.....	42
Şekil 2.10: Silindirli değirmen.....	43
Şekil 2.11: Raymond değirmeni	44
Şekil 2.12: Bilyalı değirmen	45
Şekil 2.13: Boru değirmeni iç kaplamaları	46
Şekil 2.14: Hardinge değirmeni	46
Şekil 2.15: Mikronizör.....	47
Şekil 3.1: Öğütme bilyasının sarılması üzerine öğütme yardımcılarının etkisi.....	52
Şekil 3.2: Değirmenin önden görünüşü	55
Şekil 3.3: Vicat aleti.....	56

Şekil 3.4: Vicat aleti (iğneli).....	56
Şekil 3.5:Le Chatelier hacim değişmezliğinin aleti.....	57
Şekil 3.6: Değişmez örnek hücreli otomatik bir piknometre için şematik çizge	58
Şekil 3.7: Blaine aleti.....	59
Şekil 3.8: Rilem-Cembureau harç kalıpları	60
Şekil 3.9: Kırma başlığı	60
Şekil 4.1: Öğütme yardımcısı (ayçiçeği yağı asidi) içeren çimentonun özgül yüzeyi ve basınç dayanımındaki değişim.....	64
Şekil 4.2: Laurik asit-çimento karışımında özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim.....	66
Şekil 4.3: Miristik asit-çimento karışımında özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim.....	68
Şekil 4.4: Stearik asit içeren çimentonun özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim	70
Şekil 4.5: Oleik asit içeren çimentonun özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim.....	71
Şekil 4.6: Miristik asitli çimentonun özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim....	73
Şekil 4.7: Laurik asitli çimentonun özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim.....	73

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1: Türkiye’de son 10 yıldaki çimento ithalat ve ihracat nicelikleri	3
Tablo 1.2: Dünyadaki büyük çimento üreticisi ülkelerin üretim nicelikleri	3
Tablo 1.3: Cembureau ülkeleri çimento üretim ve tüketim durumu	4
Tablo 1.4: Avrupa Birliği Ülkeleri kişi başına çimento tüketimleri	5
Tablo 2.1: Klinker evreleriyle ilgili önemli bilgiler	15
Tablo 2.2: Bir portland çimento klinker evrelerinin deneysel olarak belirlenmiş ağırlıkça yüzde kimyasal bileşimi	17
Tablo 2.3: Çimento ham malzemesi kimyasal bileşiminin sınırlayıcı değerleri	24
Tablo 2.4: Dayanım sınıfları	30
Tablo 2.5: Çimentoların Kimyasal Bileşimi (% ağırlıkça).....	32
Tablo 2.6: İş indeksleri.....	35
Tablo 2.7: Çimentoların hidrasyon ısısı	50
Tablo 3.1: Son öğütmede değirmenlerin çıkışındaki ortalama artış	52
Tablo 4.1: Denemelerde kullanılan klinkere ait veriler.....	61
Tablo 4.2: Denemelerde kullanılan çimentoya (% 95 klinker + % 5 alçıtaşı) ait veriler	62
Tablo 4.3: Öğütme yardımcısı (ayçiçek yağı asidi) içeren çimentonun özellikleri.....	63
Tablo 4.4: Laurik asit içeren çimentonun özellikleri	65
Tablo 4.5: Miristik asit içeren çimentonun özellikleri	67
Tablo 4.6: Stearik asit içeren çimentonun özellikleri.....	69
Tablo 4.7: Oleik asit içeren çimentonun özellikleri	71

Tablo 4.8: Miristik asitli çimentonun özellikleri.....72

Tablo 4.9: Laurik asitli çimentonun özellikleri.....74



ÖZET

“Çimentonun öğütülebilirliğinin artırılması üzerine bir inceleme”

Çimento sanayinde, klinkerin öğütülmesi sırasında büyük bir enerji tüketimi gözlenmektedir. Bu tüketimi indirmek için, günümüzde, ekonomik değere sahip olmayan bazı atık ürünler, öğütme yardımcıları olarak kullanılmaktadır.

Bu araştırmamızda, biz ayçiçek yağı asidi, oleik asit, stearik asit, miristik asit ve laurik asitin çimentonun inceliği ve dayanımı üzerine etkilerini inceledik. Bu yardımcılar, çimento klinker ağırlığına dayalı olarak belli oranlarda klinkere ilave edildi ve öğütme belli bir zaman boyunca aynı koşulda yapıldı. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Kullanılan yardımcılardan hepsi, inceliği öğütme yardımcısız çimentoya göre arttırdı. Dayanımda ise, farklı bir durum meydana geldi. Ayçiçek yağı asidi ve oleik asit dayanımı önemli ölçüde düşürdü, laurik asit daha az bir dereceye kadar düşürdü ve stearik asit, olağan çimentoya göre belirgin olarak arttırdı. Fakat Miristik asit, çimentonun dayanımını fazla değiştirmedir. Ayrıca bilyaların sarılması, çimento klinkerinin öğütülmesini olumsuz bir biçimde etkiler.

Sonuç olarak, stearik asit ve miristik asit, öğütme yardımcıları olarak kullanılabilir.

SUMMARY

“An examination on the increasing of the grindability of cement ”

In Cement Industry, A great energy consummation has been observed during grinding of clinker. Nowadays, to reduce this consummation, some waste products, which don't have economic utility, have been used as grinding aids.

In this investigation, we have examined the effects of sunflower oil fatty acid, oleic acid, stearic acid, myristic acid and lauric acid on the fineness and strength of the cement. These aids were added into clinker in certain ratios based on the cement clinker weight and the grinding has been done for a definite time at the same condition. The results obtained were as follows:

All of the aids used increased the fineness as compared with the cement without the grinding additives. About the strength, a different case happened. Sunflower oil fatty acid and oleic acid decreased the strength significantly, lauric acid decreased it to a lesser extent and stearic acid increased it definitely according to the common cement. But Myristic acid didn't alter the strength of the cement much. Also the covering of the balls influences the grinding of the cement clinker unfavourably.

As a result, stearic acid and myristic acid can be used as grinding aids.

1. Giriş

Çimento terimi, eski Roma kökenlidir. Romalılar, bağlayıcı ortam olarak yanmış kireçli kırılmış taş veya benzer malzemeden oluşan yapısal bir beton türü yapmıştır. Bu imalat şekline, “opus caementitium” denilirdi. Daha sonra, “cementum” terimi, kirecin ilave edildiği, ona hidrolik özellikler kazandıran, yani nemli koşullar altında veya gerçekde su altında donma ve sertleşme gücü veren karışımları göstermek için kullanıldı. Böyle karışımlar, daha belirgin olarak tuğla tozu ve volkanik tuf dü.

Romalılar, bu malzemenin mükemmel kullanımını yapmıştı. Belki de büyük bir alan üzerinde kurulan en meşhur bina, imparator Hadrian (yaklaşık 120 A.D.) döneminde Roma’da inşa edilmiş dairesel bir tapınak olan Pantheon’dur. 43 m çapındadır ve merkez’de dairesel delikli kubbeli bir çatıya sahiptir. Bu kubbenin duvarları birkaç metre kalınlığındadır ve beton’dan imal edilmiştir. Duvarlar, tuğla ile kaplıdır. Bu betonun hidrolik özelliklerini sağlamak için, inşaatçılar Vezüv eteği yakınında şimdi Pozzuoli olarak bilinen bölgeden volkanik bir tuf olan pozzolana’yı kullanmıştır.

18. yüzyılın 2. Yarısına kadar, belli pekiştirici malzeme tiplerine hidrolik özelliklerini veren etkenler, bilinmez olarak kaldı. İngiliz mühendis John Smeaton (1724-1792), hidrolik donma ve sertleşme davranışına temel olarak kil bileşeninin önemini tanımladı, ki 1756’da, Plymouth civarında yeni Eddystone deniz fenerinin duvarı için suya dirençli bağlayıcı bir ortamı araştırdı. Daha belirgin olarak, nitrik asidde tamamen çözünmeyen çimentoların, kil ve kuartz nedeniyle iyi hidrolik özelliklere sahip olduğu bulundu.

1796’da başka bir İngiliz, James Parker, septaria olarak bilinen kalsine edilmiş killi kireçtaşı parçalarından Roma çimentosu denilen hidrolik bir çimento yapmıştır. Yapay kireçtaşı ve kil karışımını yakarak çimentoyu üretmek için ilk denemeler, 19. Yüzyılın başlarında, özellikle Vicat tarafından Fransa’da yapıldı. Bu çabalar, başarılı olmasına rağmen, sonuçlar, o ülkede takip edilmedi ve 1824’de bir İngiliz duvarcı olan Joseph Aspdin, yüksek bir sıcaklıkta, belirli kil ve kireç oranları içeren bir karışımı yakarak mükemmel bir hidrolik kireç üretmeyi başardı. Ürününe, çimentosuyla ve agregat’larıyla yapılan “yapay taş”ın, Güney Britanya’da bulunan oolitit bir kireç taşı olan Portland taşına benzediği için Aspdin tarafından orijinal olarak seçilen ve özel bir isim olarak kalan Portland çimentosu adını verdi.

Bununla birlikte o, şimdi bildiğimiz gibi henüz gerçek bir portland çimentosu değildi. Bu adım, daha önceki ürünün, yanmamış kütesine ilaveten sinterlenmiş malzemenin büyük bir oranını içeren bir malzeme üretmek için daha yüksek sıcaklıklar uygulayarak 1843’de başarılı olan oğlu William tarafından gerçekleştirildi. Sinterleme, malzemenin kısmi erimesine neden olan bir sıcaklıktaki yanmayı ifade eder. William Aspdin’in çimentosu, daha yüksek dayanımları elde etmede öncellerine göre kesinlikle daha iyiydi ve Londra’daki yeni İngiltere Millet Meclisi’ni inşa ederken kullanıldı.

19. yüzyılın 2. Yarısı Almanya dahil birçok ülkede çimento endüstrisinin hızla genişlemesine sahne oldu. Seneler boyunca üretime devam etmiş olan ilk alman çimento fabrikaları, 1855’te H. Bleibtreu tarafından Stettin yakınındaki Züllchow’da sonra 1858’de Bonn yakınında oberkassel’de kuruldu. Almanya’da 1889’a kadar 60 çimento fabrikası ve 1900 civarında 83 çimento fabrikası vardı. İlk fabrikalar, basit

aralıklı olarak ateşlenmeli şaft fırınlarını kullanmıştır. Dairesel fırınlar daha sonra çıkmıştır. Almanya’da ilk döner fırın, 1898’de kurulmuştur.

1862’de, E. Langen, taneli üflemleri fırın cürufunun gelişmemiş hidrolik özelliklerini bulmuştur, onun araştırmaları, sönmemiş kireç ve böyle cüruf karışımlarının, sertleşme üzerine yüksek dayanımlar verdiğini göstermiştir. Üflemleri fırın cürufunu etkinleştirmek için portland çimento’yu kullanma olasılığı 1882’de G. Prüssing tarafından uygulanmıştır: Bu Prensip, A.B.D.’de portland üflemleri fırın cüruf çimentosu olarak bilinir, bununla birlikte Almanya’da iki ana çeşit vardır, bunlar, “Eisenportland” çimentosu ve “Hochofen” çimentosudur. Sülfat aktifleşme prensibi, 1908’de H. Köhl tarafından bulunmuştur ve daha sonra süpersülfatlı çimento üretimine uygulanmıştır. Bunlar, esas olarak Alman buluşlarıydı, ilk yüksek alüminli çimentolar, 1. Dünya savaşı esnasında Fransa’da üretildi. J.Bied, tarafından elde edilen patentlere dayanarak, bu ürünler başlıca kristallenmiş monokalsiyum alüminat’ın katılmış sıvı evresinden meydana gelir.

“Portland çimentosunun test edilmesi ve tek düze bir kaynak için standartlar”ın ilk serisi Almanya’da 1878’de yayımlandı. Bir malzeme ve katı bir ürünü ilgilendiren ilk Alman standardıydı. “Eisenportland” ve “Hochofen” olan iki portland üflemleri fırın çimentoları sırasıyla, 1909 ve 1917’de standartlaştırılmıştır[1].

1.1. Türkiye’de Çimento Üretimi

1993 yılı verileri temel alınarak yapılan karşılaştırmada Avrupa çimento üretici ülkeleri arasında sekizinci sırada yer alan Türkiye’de yıllık çimento tüketimindeki artış, dünya ülkeleri arasında ön sırada bulunmaktadır.

Sırasıyla Türkiye’deki son 10 yılda çimento üreticisi ülkelerin üretim nicelikleri tablo 1.1’de, Dünyadaki büyük çimento üreticisi ülkelerin üretim nicelikleri tablo 1.2’de, Cembureau ülkeleri çimento üretim ve tüketim durumu tablo 1.3’de, Dünya çimento üretim yüzdeleri şekil 1.1’de ve Avrupa Birliği ülkeleri kişi başına çimento tüketimleri tablo 1.4’de verilmiştir.

Tablo 1.1 - Türkiye’de son 10 yildaki çimento ithalat ve ihracat nicelikleri

ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE SON ON YILDAKİ ÇİMENTO İTHALAT VE İHRACATI (KLİNKER DAHİL) (BİN TON)		
YILLAR	İTHALAT	İHRACAT
1985	-	1853
1986	61	1247
1987	2037	343
1988	1646	257
1989	509	1098
1990	1220	2682
1991	596	3573
1992	433	4417
1993	245	3203
1994	51	5209

Tablo 1.2 - Dünyadaki büyük çimento üreticisi ülkelerin üretim nicelikleri

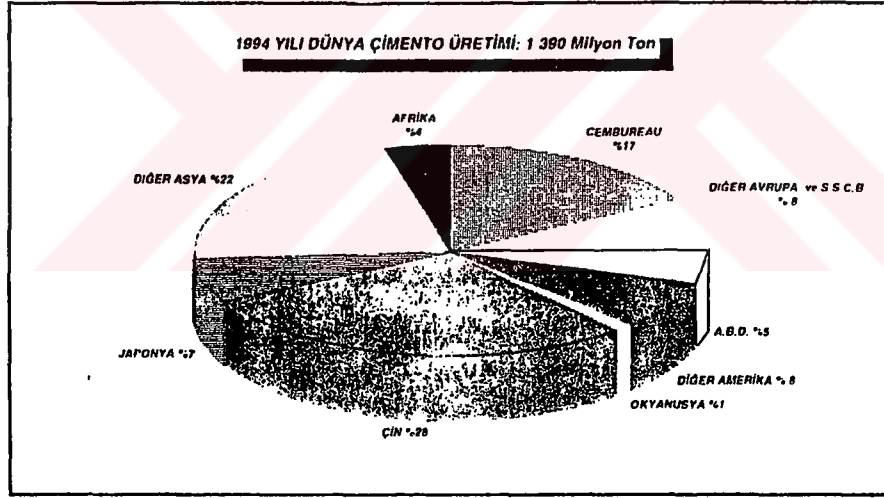
DÜNYADAKİ BÜYÜK ÇİMENTO ÜRETİCİSİ ÜLKELERİN ÜRETİM NİCELİKLERİ EN BÜYÜK ÇİMENTO ÜRETİCİSİ ÜLKELER (KLİNKER DAHİL) (SIRALAMA 1993 YILI VERİLERİNE GÖRE YAPILMIŞDIR.) (MİLYON TON)					
ÜLKELER	1989	1990	1991	1992	1993
Çin	210.3	211.7	244.1	308.7	360
Japonya	81.9	87	89.4	95.8	94.8
S.S.C.B. (Eski)	140.4	137.3	110.0	90.0	90.0
A.B.D	70	71.3	66.8	70.2	74
Hindistan	44.6	47.3	53.6	54.1	57.3
Güney Kore	31.4	33.9	38.8	43.3	49.7
İtalya	40.5	40.9	40.8	41.4	34.8
Türkiye	24.1	25.4	27.4	30.2	32.7
Almanya	26.5	27.7	31.1	33.2	32.5
Tayland	15.4	18	18.8	22.4	27.8
Meksika	23.7	23.9	25.1	26.9	27.6
Brezilya	25.9	25.8	27.5	23.9	24.8
Tayvan	18	18.5	19.4	21.9	24.3
İspanya	28.2	28.7	28	25.1	23.9
Fransa	26.8	27.1	25.8	22.6	20.5

Tablo 1.3 - Cembureau ülkeleri çimento üretim ve tüketim durumu

1993 YILI BATI AVRUPA ÜLKELERİ ÇİMENTO SEKTÖRÜ VE TÜRKİYE'NİN DURUMU				
ÜLKE ADI	Çimento Üretimi (1000 Ton)	Çimento Tüketimi (1000 Ton)	İthalat (1000 Ton)	İhracat (1000 Ton)
Belçika	7612	4827	710	2902
Fransa	20464	18238	1507	2222
Almanya	32481	30582	7502	1731
Yunanistan	13925	7137	42	6918
İtalya	34771	34504	2938	255
Lüksemburg	1209	491	66	718
Hollanda	3078	2720	2800	468
Portekiz	7617	7507	-	71
İspanya	23928	20186	2466	3736
İrlanda	1450	1155	254	289
Danimarka	1758	823	215	943
İngiltere	11000	11000	1400	383
AVRUPA BİRLİĞİ	157755	139170	19900	20636
Avusturya	4854	4822	444	40
Finlandiya	835	871	169	2
İzlanda	87	86		
Norveç	1711	1114	86	533
İsveç	2162	1325	123	865
AVRUPA EKONOMİK TOPLULUĞU	167332	147388	20722	22076
İsviçre	4042	4000	344	42
Türkiye	32679	29604	245	3202
CEMBUREAU ASİL ÜYELERİ	203853	180992	21311	25320
Çek Cumhuriyeti	5423	3625	76	1741
Macaristan	2533	2331	153	145
Polonya	13039	9811		3275
Slovak Cumhuriyeti	2610	1506		1091
TOPLAM CEMBUREAU	226568	198265	21540	31572

Tablo 1.4 - Avrupa birliği ülkeleri kişi başına çimento tüketimleri

AB ÜLKELERİ VE TÜRKİYE'DE KİŞİ BAŞINA ÇİMENTO TÜKETİMİ (KG / KİŞİ)					
ÜLKELER	1989	1990	1991	1992	1993
İtalya	739	748	751	770	661
Almanya	416	432	414	455	458
İspanya	668	733	738	666	581
Fransa	440	444	423	376	337
İngiltere	320	283	243	209	208
Yunanistan	731	755	739	739	695
Portekiz	672	723	753	769	761
Belçika	517	547	555	579	554
Hollanda	386	366	350	344	318
İrlanda	426	454	414	406	395
Danimarka	266	259	238	241	200
Lüksemburg	1034	1132	1214	1247	1306
TÜRKİYE	423	421	422	441	494



Şekil 1.1 - Dünya çimento üretim yüzdeleri

Ülkemizdeki çimento sanayisinin geçmiş yıllardaki gelişmesi ve bugünkü konumuna bakıldığında görünüm şöyle olmaktadır.

Türkiye'de ilk çimento fabrikası 1911 yılında 10.000 ton/yıl kapasite ile İstanbul Darıca'da kurulmuştur. Daha sonra bu fabrika 1923 yılında genişletilerek kapasitesi 40.000 ton/yıl'a yükseltilmiştir. Her iki fabrikanın da askeri bölgede olması ve ülkenin 1. Dünya savaşından yıpranmış olarak çıkması sebebiyle devlet bu sanayi koluna yardım etme imkanını bulamamış dolayısıyla çimento sanayiinin 1925 yılına kadar bir gelişme göstermesi mümkün olamamıştır.

Ülkemizde 1925 yılından itibaren modern çimento fabrikaları kurulmaya başlanmıştır.

1912 yılında 32.000 Ton/Yıl olan üretim 1940 yılında 288.000 ton/yıl'a ulaşmıştır.

Ülkenin ihtiyacı bu devrelerde büyük ölçüde ithalat ile karşılanmıştır.

1940 yılından itibaren ikinci Dünya savaşının dünya ekonomisine yaptığı etkiler, Türkiye'de de hissedilmeye başlanmış ve inşaat sektörü bir duraklama devrine girmiştir. 1950 yılında liberalist görüşe sahip siyasi partinin genel seçimleri büyük bir ekseriyetle kazanması ve büyük ölçüde yatırımlara girmesi, özel sektör tarafından çimento sanayiine yeni yatırımların yapılmasını teşvik etmiştir.

Ülkenin çimento ihtiyacının karşılanması ve başlatılan yatırımların aksamadan yürütülebilmesi için özel sektör kuruluşlarının yanında devlette kurduğu bir şirket vasıtası ile yeni çimento fabrikalarının kurulmasına başlamıştır. Ancak devrin iktidarı, fabrika kuruluş yerlerinin tespitinde politik ağırlığa daha önem vermiş ve maalesef kurulan fabrikaların bir kısmı yerleri doğru seçilmediği için uzun yıllar devlete yük olmaktan kurtulamamıştır. Tüm bu çalışmalara ve üretimin yükseltilmesine rağmen 1957 yılına kadar ithalat devam etmiştir.

Ancak ithalat da ekonomik sebeplerle zamanında yapılamamış ve çimentoda karaborsa hareketi başlamıştır. Devlet 1958 yılında yürürlükte olan Milli Korunma kanununa dayanarak çimentonun alım ve satım şartlarının tespitini kontrol altına almış, çimentonun ithalatını ve dağıtımını bir devlet kuruluşu olan Türkiye Çimento Sanayii T.A.Ş. vasıtasıyla yaptırmıştır.

Diğer yandan ülkenin her noktasında aynı fiyatla çimento satışını sağlamak amacıyla kar eden fabrikalardan prim alıp, zarar eden fabrikalara ödeme yapmayı mümkün kılan 1164 K sayılı kararı yürürlüğe koymuştur.

O günün ekonomik şartlarına uygun olarak alınan bu kararlar, maalesef ilerideki yıllarda tamamen başka maksatlar için kullanılmaya başlanmış ve yıllarca zarar eden devlet fabrikaları, kar eden özel sektör fabrikaları tarafından finanse edilme durumunda kalmıştır.

1960-1963 yılları arası Türkiye'nin politik yapısında ortaya çıkan kriz nedeniyle tüm diğer sanayilerde olduğu gibi çimento sanayiinde de bir duraklama devri yaşanmıştır.

Yatırımların bir program ve plan dahilinde yapılmaya başlandığı 1963 yılını takip eden yılların çimento ihtiyacının karşılanması için yatırımlarda geç kalınmış, 1963-1967 yılları arasında tekrar çimento ithalatı yapılmıştır.

1970 yılından itibaren başlayan üretim fazlalığı sebebiyle ihracata yönelinmiştir.

1950 yılında 500.000 ton/yıl olan çimento üretimi 1960 yılında 2.038.000 tona, 1970 yılında 6.295.000 tona yükselmiştir.

İhracat olanaklarının doğması ve dünya piyasasında çimentonun değer kazanması ve içte tekrar yatırımların başlaması, 1972 yılından itibaren tekrar yeni fabrikaların kurulmasını teşvik etmiş ve üretim 1979 yılında 13.812.000 ton olmuştur.

Türkiye’de 1970 yılından itibaren ekonomik ve siyasi istikrarın hissedilir ölçüde zedelenmesi, 1980 yılında ekonomide getirilen istikrar tedbirlerinin ve 1980 yılı Eylül ayından sonra uygulanan yeni para-kredi politikasının sonucu, yatırımların bir plan içinde, daha doğru bir deyimle politik düşünceler yerine ekonomik görüşlere göre ele alınması, halkın yüksek faiz oranlarına güvenerek, parasını inşaata yatırma yerine banka ve bankerlere yatırması, inşaat sektöründe bir duraklama devri başlatmıştır.

1980 yılında başlayan bu duraklamanın 1981 yılında da ağırlaşarak devam etmesi çimento fabrikalarında aşırı stokların birikmesine sebep olmuş ve sonuç üretimlerin kısılmasını ve bir kısım fabrikalarda üretimin durdurulmasını gerektirmiştir.

Bu durumu düzeltmek için devlet ihracatı özendirici tedbirleri almış ve çimento üreticileri, aşırı stokları eritebilmek ve tam kapasite ile çalışarak maliyetleri düşürebilmek için büyük ölçüde ihracata yönelmiştir.

1984 yılı ikinci yarısından sonra Türkiye’de çimento tüketiminde büyük bir artış başlamış ve bu artış 1980-1983 yılları arasındaki duraklamayı telafi edecek şekilde 1989 yılına kadar devam etmiştir.

1980-1990 yılları arasında çimento iç tüketimindeki artış % 97 olmuştur. Diğer bir deyişle yıllık ortalama tüketim artışı % 7,2 civarında seyretmiştir.

1989-1994 yıllarına bakıldığında iç tüketimdeki artışın aşağıdaki gibi seyrettiğini görmekteyiz.

1989 yılında % 1,5 (-)

1990 yılında % 2

1991 yılında % 2

1992 yılında % 7

1993 yılında % 15

1994 yılında % 10 (-)

1995 (beklenen) % 12

1994 yılında mahalli seçimler ve mevsim şartlarının uygun gitmesi sebebiyle çimento tüketimi birden yükselmiş ve yılın ilk 5 ayında beklenmedik çok yüksek bir iç talep ile karşılaşmıştır.

5 Nisan 1994 tarihinde ilan edilen ekonomik tedbirler ile yatırımların durması sonucu, çimento iç tüketimi 1994 yılı ikinci yarısında düşmeye başlamıştır.

Düşen iç tüketim sebebiyle üreticiler üretimlerini durdurmamak için büyük ölçüde ihracata yönelmişler ve 1995 yılında 5,3 milyon ton ile rekor bir ihracatı gerçekleştirmişlerdir.

Ülkemizde 8’i yalnız öğütme tesisi olmak üzere 48 adet çimento fabrikası vardır. Bu fabrikaların reel klinker üretim kapasitesi 28 milyon ton/yıldır.

Bu klinker ile 34 milyon ton çimento üretilmesi mümkündür.

Türkiye’de fabrikaların konumu bölgesel bir dağılım göstermektedir. Bu dağılım bir planlama sonucu ortaya çıkmamış politik ağırlıklı kurulan devlet fabrikalarının konumları itibarıyla böyle bir sonuç doğmuştur. Bu itibarla bazı bölgelerde arz talebi karşılamadığı halde, bazı bölgelerde kapasite fazlalığı oluşabilmektedir.

Türkiye çimento sektörü 1987 yılında başlayan yeniden yapılanma sebebi ile görünüm değiştirmiştir.

1987 yılında başlayan özelleştirme ile ilk etapta 5 kamu fabrikası özelleştirilmiş ve bu fabrikalar yerli şirketler tarafından satın alınmıştır.

Bu özelleştirmeler sonucunda Türkiye üretim kapasitesi,

% 70’i yerli sermayeli özel sektöre

% 22’si yabancı sermayeli özel sektöre

% 8’i kamuya

ait duruma gelmiştir.

Kamuya ait 6 fabrika ve 1 öğütme tesisi 1995 sonu, 1996 yılı başlarında özelleştirilecektir. Bu itibarla çimento sektörüne özel sektör penceresinden bakılması gerekmektedir.

Ülkemiz çimento sektörünün önümüzdeki yıllara dönük politikasının ne olması gerektiğini belirlerken aşağıdaki maddelerin göz önünde tutulmasında gereklilik vardır.

- a) Bir ülkenin çimento planlaması yapıldığında, kapasite hesabında % 15 mertebesinde artı bir tolerans alınmaktadır.

Bu tolerans tesislerin üretim verimi ve beklenmedik sınırlı artışın karşılanması için hesaplanmaktadır.

- b) Çimento sektörü genelde ekonomik ve politik krizlerden geç ve diğer sektörlerle nazaran daha az etkilenen bir sektördür.
- c) Çimento üretiminde dışa bağımlılık oldukça azdır. Bu itibarla kalkınmakta olan her ülkede ihtiyacın yerli üretim ile karşılanması ön planda düşünülmektedir.
- d) Çimento aslında bir ihraç malı değildir. Eğer, ülkeler kalkınma süreci içinde geçici bir süre için aşırı artan ihtiyaca göre kapasite artırımına gitmişler ise kalkınma planları tamamlandığında, ellerinde atıl kapasitelerin kaldığı görülmektedir. (Japonya, Kore, Yunanistan, İspanya; Almanya v.s.) Sonuçta zorunlu olarak bu kapasitelerin ihracına yönelinmekte veya tesisler durdurulmaktadır.
- e) İnşaat sektöründe ortaya çıkan krizlerde de kısa süreli ihracat gündeme gelmektedir.
- f) Gelişmiş ülkelerde çevre problemleri dolayısıyla bu sektördeki faaliyetlerin azalması, bu ülkeleri ithalatçı duruma getirmektedir.

- g) Türkiye’de çimento üretim ve tüketim planları yapıldığında iç göç faktörünün hesaba alınması gereklidir.
- h) Dünya’da gelişmekte olan ülkelerde, çimento tüketiminin şahıs başına 700-800 kg.’lara kadar yükseldiği ve gelişme tamamlandığında bu tüketimin 400-500 kg.’a düştüğü göz önüne alınmalıdır.
- i) Çimento üretiminde kullanılan aditivlerin gerek miktarsal eldesi gerekse kullanılma şansının azalması dikkate alınmalıdır.
- j) Fabrikalar yaşlandıkça üretim verimlerindeki düşüşler hesaba alınmalıdır.
- k) Ülkemizin 2000 yıllarında nüfusunun 70 milyona, 2010 yılında 80-85 milyona ulaşacağı hesaplanmaktadır.

1980 yılından bu yana ülkemizde fert başına tüketilen çimento şöyle olmuştur:

Yıllar	kg./kişi
1980	270 kg.
1981	259 kg.
1982	252 kg.
1983	242 kg.
1984	277 kg.
1985	312 kg.
1986	368 kg.
1987	444 kg.
1988	442 kg.
1989	425 kg.
1990	421 kg.
1991	424 kg.
1992	443 kg.
1993	497 kg.
1994	436 kg.
1995	478 kg.

İlk 3 yılda tüketim düşmesinin sebebi ekonomik tedbirlerdir. Bu düşmeler 1984 yılından itibaren telafi edilmiştir.

Türkiye’de 1980-1995 yılları arası yıllık çimento tüketim artışı şöyle olmuştur.

Yıllar	İç Tüketim (000 Ton)	Bir Yıl (%)
1980	12.088	
1981	11.772	97.39
1982	11.779	97.44
1983	11.562	95.65
1984	13.587	112.40
1985	15.798	130.69
1986	18.936	156.66
1987	23.325	192.96
1988	23.748	196.46
1989	23.377	193.40
1990	23.795	196.85
1991	24.328	201.26
1992	25.969	214.84
1993	29.778	246.35
1994	26.700	220.89
1995	30.000	248.19

15 yıllık projeksiyona bakıldığında iç tüketimin % 148 mertebesinde arttığını görmekteyiz.

Diğer yandan önümüzdeki yıllarda AT topluluğuna girilmesi ve bu topluluk içinde kalınabilmesi, ülke standartlarının üye ülkeler seviyesine getirilmesini gerektirecektir.

Bunun için önümüzdeki 10 yıl içinde aynı şekilde yatırımlara devam edilmesi gerekecektir ki, bu da çimento iç tüketimini arttıracaktır. Bu durum son olarak İspanya'da yaşanmıştır.

Bu sonuçlara göre beklenmedik bir politik veya ekonomik kriz olmadığı takdirde ülkemizde çimento iç tüketiminin, 1995 yılında 30 milyon ton olması beklenmektedir.

1997 Yılında	
Toplam iç tüketim	34-35 milyon ton
kişi başına tüketimi	520-540 kg.
2000 Yılında	
Toplam iç tüketim	40 milyon ton
kişi başına tüketim	570 kg.
2010 Yılında	
Toplam iç tüketim	48 milyon ton
kişi başına tüketim	600 kg.

Önümüzdeki yıllarda Ortadoğu'daki çimento talebinde hızlı bir artışın olacağı tahmin edilmektedir.

Bu bölge için yakınlığı ve karayolu nakliye imkanının bulunması dolayısıyla Türkiye avantajlı bir konumda bulunmaktadır.

Diğer yandan GAP Projesindeki gelişmeler Güneydoğu'daki çimento talebini yükseltecektir.

Her iki olay üretimin tüketimden fazla olduğu Güney Anadolu bölgesindeki fabrikalar için iyi bir potansiyel oluşturmaktadır. Akıllı politikalarla bu imkanlar iyi değerlendirilmelidir.

Türkiye'nin gelişme sürecinde ilk önce alt yapılar, yollar, limanlar, hava meydanları, barajlar, konut vs. gibi çimentonun fazla kullanıldığı yatırımlara ağırlık verilmesi kaçınılmaz olması ve bunların büyük ölçüde 2010 yılına kadar tamamlanması beklendiğinden, bu sürede çimento iç tüketiminde önümüzdeki yıllarda hızlı bir artışın olacağını tahmin etmek yanlış olmayacaktır.

Ancak, yatırımların büyük ölçüde tamamlanacağı 2010 yılından sonra çimento tüketim artışının yavaşlayacağı, normal bir artış hızına ulaşacağı ve bir süre sonra da gerileceği beklenmelidir. Bu süre içinde nüfus artış hızının da düşeceği ve şehirlere göçlerin yavaşlayacağı hesaplanmaktadır.

Bu itibarla Türkiye'nin 2010 yılından sonraki çimento ihtiyacının hesaplanmasında daha değişik göstergeler esas alınacaktır.

Ülkemizde mevcut reel çimento üretim kapasitesi 1998 yılına kadar ki iç tüketim ihtiyacını karşılayabildiği nazarı dikkate alındığında, 1998 yılını takip eden yıllardaki çimento ihtiyacı nasıl karşılanmalıdır?

Türkiye'de halen 28 Milyon ton klinker üretim kapasitesi mevcuttur. Bu klinker ile standartlara uygun 34 milyon ton çimento üretim yapılması mümkündür.

1998 yılından itibaren meydana gelen talep fazlalığının karşılanması için Türkiye klinker üretim kapasitesi, ileride atıl kapasite oluşturmamak için, 85 milyon nüfusa ve şahıs başına 500 kg. çimento tüketimi olacağı varsayımına göre yükseltilmelidir. Böyle bir hesaplama klinker üretim kapasitesinin 38 milyon ton/yıl seviyesine yükseltilmesine ihtiyaç olacaktır.

2000-2010 yılları arasında Türkiye'de çimento ihtiyacı 42 milyon ton'un üstüne çıkacaktır. Bu süre içinde Türkiye ilk olarak klinker ithal ederek öğütme kapasitelerini tam kullanmalı, daha sonra çimento ithali yapılmalıdır. Böylece kalkınma süreci sonunda ülkede atıl kapasite yaratılmadan, ileriki yılların ihtiyacı da karşılanmış olacaktır[2].

2. GENEL BİLGİLER

2. 1. Çimento

Alman standardında (DIN 1164) verildiği gibi çimentonun mevcut tanımı aşağıdaki gibidir:

Çimento, sinterlemeyle veya erimeyle oluşan büyük ölçüde silisyum dioksit alüminyum oksit ve demir (III) oksit'li kalsiyum oksit bileşiklerinden meydana gelen, harç ve beton için ince olarak öğütülmüş hidrolik bağlayıcı bir ortamdır. Suyla karıştırıldığı zaman, çimento hem hava da hem de su altında sertleşir ve su altında dayanımını kaybetmez; hacim değişmezliğine sahip olmalı ve 28 günde en az 25 N/mm²'lik bir sıkışma dayanımı elde etmelidir.

İmalat için betonda en büyük hacim de üretilen ve en geniş olarak kullanılan çimento, portland çimentodur. Masonry ve oil well çimentolar, özel amaçlar için kullanılır. Kalsiyum alüminat çimentolar, refrakter betonlar için yoğun olarak kullanılır. Böyle çimentolar, epoksilerden ve diğer polimerize olabilen organik malzemelerden oldukça farklıdır. Portland çimento, hidrolik bir çimentodur yani donar, sertleşir ve su altında bozulmaz.

Hidrolik çimentolar, uygun ham malzemeleri işleyerek ve oranlayarak, yakarak veya uygun bir sıcaklıkta klinker oluşturarak ve suyla reaksiyonla elverişli bir sertleşme hızı için gerekli inceliğe kadar klinker denilen oluşan sert parçacıkları öğüterek üretilir. Portland çimentosu, başlıca trikalsiyum silikat (3CaO. SiO₂, alit) ve dikalsiyum silikat (2CaO. SiO₂, belit) dan meydana gelir. Genellikle iki ham malzeme çeşidi gereklidir. Kalsiyumca zengin (kireç taşı, tebeşir, marl (kil ile kalker karışımı) veya kabuklular gibi); diğeri silisce zengin (kil veya tortulu şist gibi) ham malzemelerdir. Portland çimentolarda diğer iki ana evre, trikalsiyum alüminat (3CaO. Al₂O₃) ve bir ferrit evresidir. Ayrıca alçıtaşı veya anhidridi oluşması sırasında küçük bir kalsiyum sülfat niceliği, donma zamanını kontrol etmek ve dayanım artışını sağlamak için öğütme esnasında ilave edilir.

Süregelen çimento kimyası sembolü, çok yaygın bileşenler için aşağıdaki kısaltmaları kullanır.

CaO=C	MgO=M	K ₂ O=K	Fe ₂ O ₃ =F
SiO ₂ =S	SO ₃ = $\bar{S}$	CO ₂ = $\bar{C}$	
Al ₂ O ₃ =A	Na ₂ O=N	H ₂ O=H	

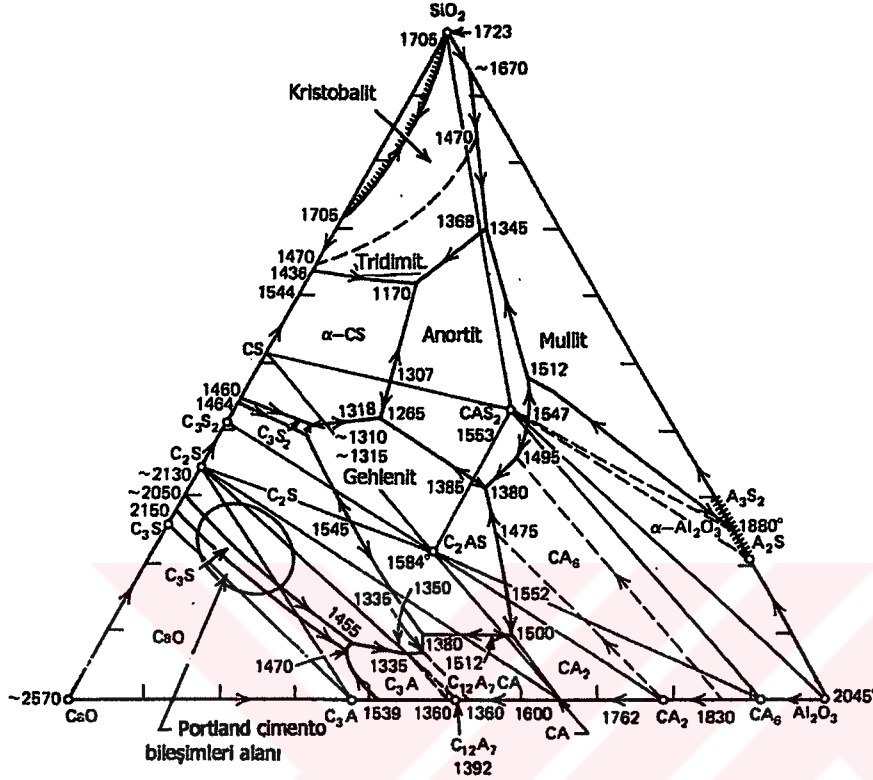
Trikalsiyum silikat, 3CaO. SiO₂, C₃S olarak gösterilir.

Portland çimento klinkeri, asidik bileşenlerle C₃S, C₂S, C₃A ve C₄AF'e yaklaşan bir ferrit evresi vermek için kalsiyum oksit reaksiyonlarıyla oluşur.

2. 1. 1. Evre Dengesi

Fırında yanma esnasında, yaklaşık % 20-30 sıvı, klinker oluşum sıcaklıklarındaki karışımda meydana gelir. Reaksiyonlar, katı yüzeylerde ve sıvı içinde meydana gelir. Oluşan kristalin silikat evreleri, ara durumlu sıvıyla ayrılır. Ayrıca, soğutma esnasında normal klinkerlerde likid'den oluşan ara durumlu evreler, mikroskop altında

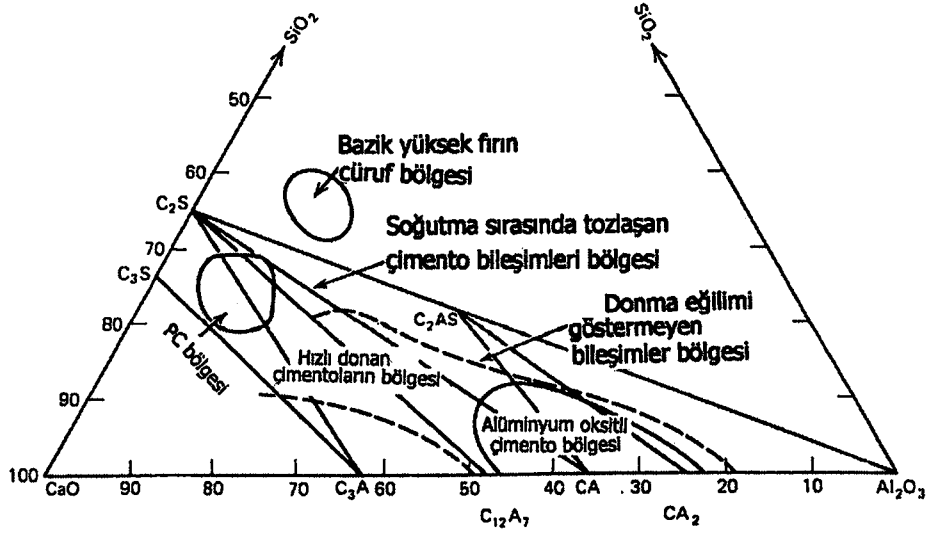
camsı, optik olarak amorf görünmek üzere çok ince olarak bölünebilmesine rağmen, X ışınlarına göre tamamen kristalin'dir. Çimento fırınlarında reaksiyonlara hakim olan yüksek sıcaklık evre dengesi, Şekil 2. 1'de gösterilen $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ dizgesinde incelenmiştir.



Şekil 2. 1. $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ dizgesinde evre dengesi. Koyu alanlar iki sıvıyı gösterir.

Böyle üçlü bir diyagram'da, birincil evre alanları, yani bütün bir sıvı karışımın ihmal edilebilir aşırı soğutmayla soğutulduğu zaman, ilk önce tek bir katının ayrıldığı bileşim bölgeleri çizilir. Birincil evre alanları, tridimit ve $\alpha\text{-CS}$ arasında 1436°C daki gibi üçgenin kenarları üzerinde ötektik noktalarla ayrılır. Görece olarak küçük portland çimento bölgesinde hemen hemen tüm modern çimentolar, yüksek kireç oranına (yaklaşık % 65 CaO) denk düşer. Düşük kireç nicelikli çimentoların sertleşme'de yavaş olmaya eğilimi vardır ve özellikle eğer klinker soğutma çok yavaş ise $\beta\text{-}$ 'nin $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ 'e dönüşümüyle klinkerin tozlanma sorunu ortaya çıkabilir. Bu bölge, serbest kirecin hidratasyonu nedeniyle aşırı genleşmeyi önlemek için birleşmemiş CaO 'i yeteri kadar düşük değerlerde tutma gereksinimiyle yüksek kireç tarafında sınırlıdır. CaO-SiO_2 eksenine yakın bileşimlerde ticari üretim, zorluklar gösterebilir. Eğer kireç içeriği, yüksek ise, yanma sıcaklıkları biraz düşük olabilir, fakat tozlanmayı önlemek için safsızlıklar C_2S 'de var olmalıdır. Yüksek alumin'li taraftaki bölge, döner fırınlarda uygun klinker oluşumunu önleyen aşırı likid -evre oluşumuyla sınırlıdır.

Portland çimentoları ve bazı diğer yaygın hidrolik çimentolar bileşimleri arasındaki ilişkiler Şekil 2. 1'e benzer olan Şekil 2. 2'deki $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ evre diyagramında gösterilir.



Şekil 2. 2. (CaO-Al₂O₃-SiO₂ dizgesinde çimento bölgeleri)

Bu diyagramda, Fe₂O₃, kullanılan Al₂O₃ niceliğini vermek için Al₂O₃ ile birleşmektedir. Bu, gerçek sistemlerin iki boyutlu bir gösterimini sağlayan sıklıkla uygulanan bir yaklaşımdır.

Portland çimentoları, genellikle kalsiyum karbonat, kil veya tortulu şist ve kum gibi bileşenleri içeren ham karışımlardan üretilir[3].

Çimento klinkerinin üretimi için, ham malzeme yaklaşık 1450°C'lik bir sıcaklığa ısıtılmak zorundadır ki klinker meydana gelsin. Yakma süreci, fırında grimsi yeşil bir klinker üreten oksitleyici bir atmosferi gerektirir. Eğer bu koşul sağlanmazsa, oluşan klinker kahve renkli olacak ve bu klinkerden elde edilen çimento az dayanımlı ve daha hızlı donacaktır.

Portland çimento klinkeri, daha evvel de belirttiğimiz gibi, 4 ana kristalin klinker evrelerinden (alit, belit, kalsiyum aluminat ve kalsiyum alüminoferrit) meydana gelir. İlave, klinker gözenekler ve genellikle biraz serbest kireç, ender olarak, periklas içerir.

2. 1. 2. Klinker Evreleri

Klinker evreleriyle ilgili bazı önemli bilgiler Tablo 2. 1' de verilir.

Tablo 2. 1 Klinker Evreleri

Saf evreli klinkerde evrenin belirlenmesi	Alit trikalsiyum silikat	Belit dikalsiyum silikat	Alüminat evresi trikalsiyum alüminat	Ferrit evresi Kalsiyum alümino ferit
Saf evreli bileşim	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$2\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$
Sembolü	C_3S	C_2S	C_3A	$\text{C}_2(\text{A},\text{F})$ veya $\text{C}_2\text{A}_p\text{F}_{1-p}$
Klinker Evrelerinde genel olarak var olan yabancı iyonlar	Mg,Al,Fe	Alkaliler,Al,F e, florür	Alkaliler,Fe,Mg	Si,Mg
Değişikliklerin sayısı	6	5	3	1
Teknik klinkerlerde meydana gelen değişimler	Monoklinik (MII) trigonal (R)	β -belit, monoklinik (α ve α' belit)	Kübik ortorombik tetragonal	Ortorombik
Saf evrenin rengi	Beyaz	Beyaz	Beyaz	MgO katışkısı nedeniyle koyu kahverengi: koyu gri – yeşil
Portland çimento klinkerinde % ağırlıkça oranlar				
En fazla	80	30	15	15
Ortalama	60	15	11	8
En az	40	0	7	4
Çimentoda teknik özellikler	Hızlı hidrasyon, yüksek başlangıç ve iyi son dayanım, orta hidrasyon ısısı, normal portland çimentosunda	Yavaş hidrasyon, iyi son dayanım, düşük hidrasyon ısısı.	Hızlı hidrasyon, başlangıç dayanımını arttıran yüksek hidrasyon ısısı, hidrasyon sırasında gözle görülür biçimde büzülür, sülfatlarla tepkimeye girer ve dolayısıyla genişler.	Yavaş ve orta hidrasyon, az dayanım artışı, orta hidrasyon ısısı, iyon, normal çimentoya rengini verir.

2. 1. 2. 1. Alit (trikalsiyum silikat)

Kimyasal olarak saf trikalsiyum silikat (C_3S), portland çimento klinkerinde meydana gelmez, her zaman yabancı oksitleri, mesela, yaklaşık olarak % 2 MgO, ayrıca Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 ve diğerlerini içerir. Bu oksitlerin var olduğu nicelikler, daha belirgin olarak klinkerin bileşimine, yanmanın gerçekleştirildiği sıcaklık ve ardından soğutulma tarzına bağlıdır. Bunlar, alit'in özelliklerini özgülleştirir: Örneğin, yabancı iyonların olması, dayanımını artırır. 1250°C 'nin aşağısında, trikalsiyum silikat, çok yavaş soğutulursa, özellikle indirgeyici koşullar altında yanmanın bir sonucu olarak Fe^{2+} içerirse, CaO ve C_2S 'e bozunabilir. Niceliksel olarak ve ayrıca çimentonun özelliklerine daha belirgin olarak dayanım artışına göre, trikalsiyum silikat, çimentonun en önemli bileşenidir. Yanma sürecinde oluşan bu bileşik için, sinterleme'nin meydana gelmesi gereklidir.

2. 1. 2. 2. Belit (dikalsiyum silikat)

Kimyasal olarak saf dikalsiyum silikat çimento klinkerinde bulunmaz, ve var olan yabancı oksitleri içerir. Başlıca, klinker oluşum sıcaklığında katı biçimde meydana gelir ve yüksek kireç standartlı klinker'de yalnızca küçük oranlarda mevcuttur. Dayanım gelişmesi yavaştır, fakat uzun sürede en az alit'inki kadar iyi dayanımlar elde eder. Belit'in klinker'de baskın olarak mevcut olduğu form olan β modifikasyonu oda sıcaklığında daha kararlı şekli olan γ modifikasyonuna değişebilir, fakat hidrolik özelliklerde büyük ölçüde azalma olur. Bu değişim, klinkerin bozulmasının (β - γ dönüşümü) sebebi olarak, hızlı bir parçalanma, düşünülen yaklaşık % 10'luk bir hacim artışıyla gerçekleşir. Bununla birlikte bu değişim, önlenabilir yani, belit yabancı iyonların katılmasıyla ve ayrıca hızlı soğutmayla kararlı yapılabilir. Bugünün çimento üretim teknolojisiyle klinker bozulma riski, ortadan kaldırılmaktadır.

İnce olarak kristalin alüminat ve ferrit evreleri, genelde ara malzeme veya matriks olarak sınıflanır. Bu iki evre, soğutma esnasında klinker eriyiğinden oluşur.

2. 1. 2. 3. Alüminat Evresi

Aynı şekilde, saf formunda C_3A olan alüminat evresi, yabancı iyonlar içerir. Burada, herbiri ağırlıkça % 5'i aşan niceliklerde alkalilerin dahil olması (Na_2O , K_2O), olasıdır. Alüminat evresi, alkalilerin varlığıyla daha da artan yüksek bir reaktivite derecesine sahiptir. NC_8A_3 ve KC_8A_3 evrelerinin varlığı görülmüştür. Hidratasyonun başlangıcında alüminat evresinin reaksiyonunu geciktirmek için, her çimento, donmayı geciktirici olarak biraz ilave edilmiş alçı taşı formunda sülfat içermelidir. Alit ve belit'le beraber, alüminat evresi, sertleşen çimentonun başlangıç dayanımını biraz artırabilir. Bu etki, bu bileşiğin açığa çıkardığı büyük hidratasyon ısısı nedeniyle. Bununla birlikte, kendi hidrolik özellikleri, az'dır. Ayrıca $C_{12}A_7$ bileşiği meydana gelebilir.

2. 1. 2. 4. Ferrit Evresi

Ferrit evresi, değişmez bir kimyasal bileşime sahip değildir. Gerçekte kuramsal olarak C_2A 'dan C_2F 'ye kadar uzanan katı bir çözelti serisinin üyesidir. (C_2A varolmaz.)

Bununla birlikte $C_2A \dots C_6A_2F \dots C_4AF \dots C_6AF_2 \dots C_2F$. mevcuttur.

Demir ve alüminyumun varlığına bağlı olarak, katı çözelti bileşenleri, bu nedenle demirce zengin veya alüminyumca zengin uca daha yakın yerleşmiş olacaktır. Çimento klinkerindeki bu evrenin bileşimi büyük ölçüde C_4AF 'ye karşılık gelir. Grupların genel formülü $C_2(A,F)$ veya $C_2A_pF_{1,p}$ dir. Yabancı iyonlarda ferrit evresinde vardır. Çimento rengini vermeye daha belirgin olarak katkıda bulunan evredir: Saf $C_2(A,F)$ kahverengi, MgO içeren $C_2(A,F)$ koyu gri/yeşil renklidir. Çok yavaş reaksiyona girer ve çimentonun özelliklerine göre az öneme sahiptir.

2. 1. 2. 3. Diğer Klinker Evreleri

Çimento klinkerlerinin çoğu, ağırlıkça % 2'ye kadar olan niceliklerde birleşmemiş kireç içerir. Birleşmemiş kireç'in varlığı ya ham karışımın uygunsuz hazırlanması, tek düze olmayan veya çok kaba, uygun

olmayan yanma öyleki diğer oksitlerle birleşme olmaz, çok yavaş bir soğutma hızı ki C_3S veya C_3A 'nın kısmi bozulması meydana gelebilir yada çok yüksek bir kireç niceliği nedeniyle de serbest kireç, harç ve beton'da genişleme olayından (kireç genleşmesi, $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$) sorumlu olduğu için, yüksek derişimlerde ağırlıkça yaklaşık % 2,5'un üstünde istenilmez.

MgO'çe zengin klinkerler, serbest MgO (periklas) içerebilir. Ağırlıkça yaklaşık % 2-2,5 MgO, diğer klinker fazlarında katı bir çözelti formunda birleştiği için, standart şartlara uyan bir çimento, izin verilebilir ölçü olarak yaklaşık % 2,5 – 3'e kadar periklas içerebilir. Alman standardı DIN 1164'e göre, ağırlıkça toplam % 5 MgO'e kadar izin verilir. Diğer fazlarda birleşmiş olan MgO oranı, klinkerin kimyasal bileşimine ve üretim koşullarına bağlı olacaktır. Periklas, eğer yeterli niceliklerde mevcutsa, kireçle meydana gelene benzer bir genleşme üretebildiği için, istenilmez (magnezya genleşmesi), fakat bazı durumlarda neden olduğu zarar, seneler boyunca tanımlanmamış kalabildiği için daha şüphelidir.

İnce bir şekilde kristalin ve tekdüze olarak dağılmış periklas, kaba olarak kristalin form'da veya yerel birikintilerde mevcut olan eşit bir periklas niceliğinin yaptığından daha az bir genleşmeye neden olur. Aynısı, serbest kireç ve genleşme etkileri içinde doğrudur.

Esas itibari ile sönmeye benzer olan serbest CaO nedeniyle genleşme, hidrasyonun bir sonucudur, fakat daha yavaştır: CaO'in yaklaşık 2 katı hacme sahip olan $Ca(OH)_2$ oluşturmak için suyla reaksiyona girer. Magnezya genleşmesi, suyla MgO'in reaksiyonu nedeniyle benzer biçimdedir. Genleşme etkileri, çoğunlukla çimentonun sıkı olmaması olarak ifade edilir.

Seyrek durumlarda, çimento klinkeri bundan başka, örneğin küçük alkali sülfatlar ve camı evre niceliklerini içerebilir.

Örnekle, Tablo 2. 2. bir portland çimento klinker evrelerinin kimyasal bileşimlerini gösterir.

Tablo 2. 2. Bir portland çimento klinker evrelerinin deneysel olarak belirlenmiş ağırlıkça yüzde kimyasal bileşimi.

	Alit	Belit	Alüminat Evresi	Ferrit Evresi
CaO	69,7	63,20	59,50	51,40
SiO ₂	24,9	31,50	4,21	2,28
Al ₂ O ₃	1,12	1,84	27,52	19,60
Fe ₂ O ₃	0,64	0,96	5,76	22,52
MgO	0,89	0,48	0,85	3,18
K ₂ O	0,19	0,75	0,66	-
Na ₂ O	0,06	0,19	0,25	-
TiO ₂	0,16	0,24	0,48	1,60
P ₂ O ₅	-	0,28	-	-

2. 1. 3. Çimentonun Hidratasyonu (Donma, sertleşme, dayanım)

2. 1. 3. 1. Genel

Hidratasyon, suyun reaksiyona giren madde ile birleştiği bir süreçtir. Çimentonun hidratasyonu, katılaşmayla beraber gerçekleşir, yani başlangıç sıvı veya plastik dizge, zamanla, sertleşmiş çimento hamuru olarak ifade edilen taş gibi bir katıya dönüşür. Katılaşma süreci, iki basamağı içerir: Sertleşme ve donma. Donma esnasında, çimento hamuru katı hal'e pekişir, fakat henüz ihmal edilebilir dayanımlıdır. Takip eden sertleşme adımı, hamur yavaş yavaş yüksek dayanımını kazanır. Donma ve sertleşme arasında keskin bir ayrım yoktur; geçiş, derece derecedir.

Çimento'nun hidratasyonu ve katılaşmasında, aslında bir çok farklı süreç, eş zamanlı olarak veya takip eden bir biçimde meydana gelir. Bunlar:

- Kimyasal reaksiyonlar: Özellikle hidratasyon ve hidroliz reaksiyonları,
- Çözünme ve kristalizasyon süreçleri: Su içeren jel benzeri ve kristallenmiş yeni olarak oluşan hidrate evreler, aşırı doymuş çözeltilerden ve topokimyasal süreçlerde meydana gelir;
- Ara yüzey süreçler: Yüzey çekim kuvvetleri, çimento hamuru bileşenlerinin bağlanmasını sağlar.

Hidratasyon reaksiyonları, ekzotermiktir, yani ısı açığa çıkar. Adiabatik deneme koşulları altında sertleşen çimentodan açığa çıkan ısı, 1 ila 3 gün sonra bir maksimuma çıkar ve sonra azalan bir hızda ilerler. Nicelik olarak ve zamana göre oluşan ısı, çimento çeşidine daha belirgin olarak bileşen evrelerine, inceliğine ve eğer üflemlili fırın cüruf çimentosu, pozzolan çimentosu ise katkıların varlığına bağlıdır.

Hidratasyon reaksiyonlarının toplam sonucu, yüksek dayanıma sahip olan sertleşmiş bir üründür. Sertleşmiş çimento hamurunun dayanımı, sırasıyla hidratasyon ürünlerinin şekli ve büyüklüğü, uzaysal düzenlenmesi ve gözenekliliğiyle belirlenen iç yapısına birincil olarak bağlıdır. Hidratasyonu gerçekleştirmek için çimentoya ilave edilmesi gereken su, hidratasyon suyu veya hidroksid olarak kimyasal bir biçimde birleşir. Teorik olarak gerekli su niceliği, çimento'nun ağırlığının yaklaşık % 30'undan fazla değildir. Su-çimento oranı $S/C \leq 0,3$ 'dür. Bu kimyasal olarak birleşmiş suya ilaveten, belli bir su niceliği, hidrate fazların çok büyük yüzey alanları üzerine fiziksel olarak bağlanır. Adsorbe olmuş su, yaklaşık $W/C \leq 0,1$ 'e karşılık gelir. Ayrıca, biraz su, sertleşmiş çimento hamurunun boşluklarında kılcal su olarak vardır. Buharlaşmadan sonra kılcal gözenekleri terkeden kılcal su niceliği ne denli yüksekse, dayanımı, kimyasal saldırıya direnci ve sertleşmiş hamurun donma direnci veya daha belirli olarak bağlayıcı ortamı oluşturan beton veya harcın donma direnci o denli düşük olacaktır. Ayrıca bu gözenekler, suya geçirgenliği artırır.

Normal sertleşme koşulları (Basınç altında olmayan, normal sıcaklık) altında sertleşmiş çimento hamurunun son dayanımı en çok yaklaşık 200 N/mm^2 'dir ki laboratuvar araştırması belirlemiştir. Başlıca etkileyici faktör, sırasıyla su-çimento oranı ve hidratasyon derecesi ve ilerlemesine bağlı olan kılcal gözenekliliktir, buna rağmen

çimento bileşimi ve sertleşme koşulları, dayanım artışına göre ikincil etkenlerdir. Gerçek uygulamada, laboratuvarından farklı olarak, ulaşılan son dayanım genelde yukarıda bahsedilen değerden daha azdır.

Gerçek koşullar altında, agrega tane büyüklüğü < 4 mm olan harç ve agrega tane büyüklüğü genellikle < 16 mm, < 32 mm veya < 63 mm olan betonun dayanımı, aşağıdaki etkenlerle daha belirli bir şekilde etkilenir.

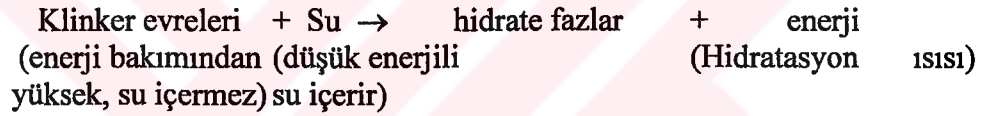
Çimento tipi ve kalitesi;

Su – çimento oranı (ağırlıkça oranlar);

Çimentonun sertleşmesi, karışıma değişik tür katkıların ilave edilmesiyle hızlandırılabilir veya geciktirilebilir. Sertleşmiş çimento hamuru ve dolayısıyla bağlayıcı ortamı oluşturan harç veya beton, normal çevre koşullarına dirençli, kararlı bir malzemedir. Bununla birlikte, belirli dış etkiler beton korozyonuna neden olarak zararlı bir etkiye sahiptir.

2. 1. 3. 2. Klinker evrelerinin hidrasyonu

Hidrasyon süreçlerinin daha ayrıntılı bir açıklaması için, 4 ana klinker evresini incelemek gerekli olacaktır. Bunlar, alit, belit, alüminat ve ferrit'dir. Genelde hidrasyon reaksiyonları, basitleştirilmiş genel bir şekilde aşağıdaki gibi gösterilebilir:



Reaksiyonun ilerlemesi, yeni olarak oluşan bileşiklere, oluşan hidrasyon ısısına, kimyasal olarak birleşmiş suya ve dayanım artışına bakılarak ölçülebilir.

Özellikle alüminat ve alit'in hidrasyon tepkimeleri önemlidir. Belit, alit gibi aynı şekilde tepkimeye girer, bununla birlikte ferrit, çok önemli değildir.

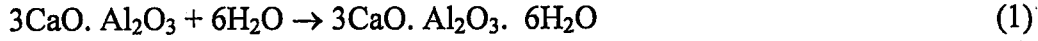
Hidroliklik derecelerine göre bir sınıflama yaparsak;

Alit	Çok hidrolik	Tetrakalsiyum alümino – ferrit hidrolik
Alüminat	Çok hidrolik	
Belit	Biraz hidrolik	

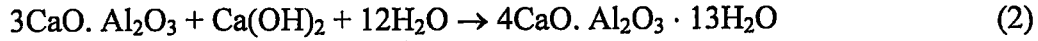
Dikalsiyum silikat, çimento'da biri yarı kararlı olan iki şekilde bulunur. Bunlardan biri hidrasyona uğrayabildiğinden, bu bileşen az hidroliktir[4].

2. 1. 3. 3. Alüminat

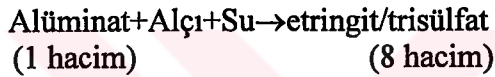
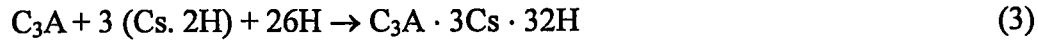
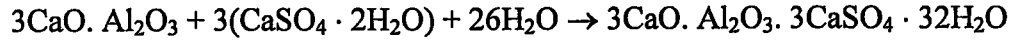
Çimento'da alçı yokluğunda, trikalsiyum alüminat çok hızlı olarak tepkimeye girer:



Yine kalsiyum silikatların hidratasyonunda ayrılan bir madde olan kalsiyum hidroksit mevcut olduğu zaman hızlı olarak tepkimeye girer.



Her iki tepkime, çimento hamurunun çok hızlı donmasına neden olur. Dolayısıyla alçı veya anhidrit - II biçiminde olan sülfat bir geciktirici olarak ilave edilir ve son öğütme değirmenin'de klinker'le beraber öğütülür. Sülfat varlığında hidratasyon tepkimesi aşağıdaki gibi ilerler:



(1) ve (2) tepkimelerinde çok hızlı olarak oluşan kaba kristalin düz ve yassı kalsiyum alüminat hidratları, kart yığınının biraz benzeyen bir yapı oluşturur ve çimento hamurunun başlangıç donmasına karşılık gelen belli bir dayanım niceliğine sahiptir. Diğer yandan, (3) tepkimesi, sülfat varlığında önce ince kristalin ettringiti meydana getirir. Bu madde hidratasyonun ilk birkaç saatin'de çimento tanelerinin yüzeyi üzerinde ince bir film olarak birikir. Bu film, tanelerin, bir başkasına göre kaymasını önlemez, yani hamur plastik kalır. Ettringit, çimento taneleri arasındaki suyla doldurulmuş yerleri bağlayan ve taneleri kendi başlarına düzensiz yapan uzun iğne şekilli kristalleri oluşturduğu zaman, donma süreci başlar. Bunun ardından, trisülfat (ettringit), monosülfat'a dönüşür.

Çimentonun sülfat niceliği biraz yüksek olmalıdır ki (3) tepkimesinde tüketilsin ve suyla karıştıktan sonraki ilk 24 saattekinden daha geç olmamalıdır. (3) tepkimesine göre aşırı sülfat niceliği, sertleşmiş harç veya betonda genleşme olayına neden olabilir. Bunu önlemek için, SO_3 niceliği belli sınırlar içerisinde olmalıdır.

2. 1. 3. 4. Alit

Alit (trikalsiyum silikat), kalsiyum silikat hidratları (CsH evreleri) oluşturmak için suyla tepkimeye girer, bu sırada kalsiyum hidroksit ayrılır. Belit (dikalsiyum silikat), benzer davranış gösterir. Hidratasyon tepkimesi, aşağıdaki gibidir:



Oluşan kalsiyum silikat hidratları, kristallerinin şekline (film, silindir, fibre gibi), oluşum koşullarına bağlı olarak su – çimento oranı, sıcaklık ve bileşimine göre değişir. Bununla birlikte, bu hidratlar, her zaman çok ince taneli ve sertleşmiş çimento hamurunun büyük dayanım sağlayıcı bileşenleridir. Sertleşmiş çimento hamurunun büyük dayanım sağlayıcı bileşenleridir. Çimento için sadece yaklaşık $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ olmasına rağmen sertleşmiş hamurun özgül yüzeyi, çok yüksek, yani $3,10^6 \text{ cm}^2/\text{g}$ mertebesinde olduğu için, dayanımı, hidratasyon ürünleri ve yeni oluşan bileşiklerin birbirine geçerek mekaniksel kütle dengelenmesiyle gelişen güçlü, çok küçük hidrate fazlar arasında etkili olan elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkin olmasına bağlıdır.

(4) denklemine göre oluşan kalsiyum hidroksit, yeni sertleşmiş çimento hamurunda ve dolayısıyla harç ve beton'da kuvvetli bazik bir ortam ($\text{pH} > 12$) oluşturur. Bu yüksek pH değeri, yerleştirilen çeliğin korozyonunu engeller ve aslında kuvvetlendirilmiş betonu, destekleyici bar'ların genellikle çok sağlam ve beton tarafından sürekli olarak korunduğu sağlam ve dayanıklı bir malzeme yapar. Yine de, karbonasyon ve diğer etkilerin bir sonucu olarak, bu koruyucu etkileşim, zamanla bozulabilir.

2. 1. 3. 5. Cüruf çimentoları ve pozzolanik çimentoların hidratasyonu

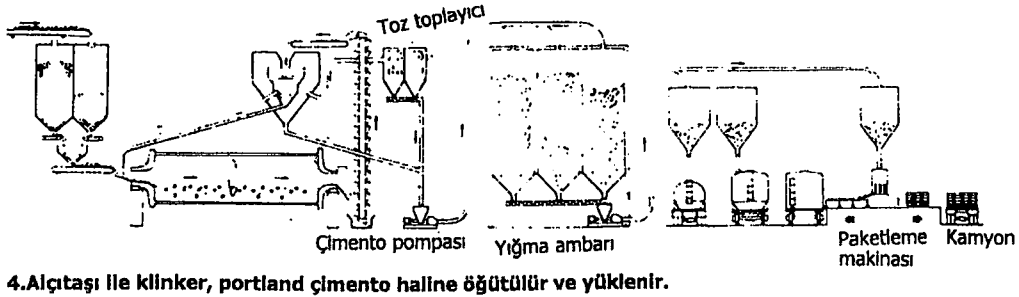
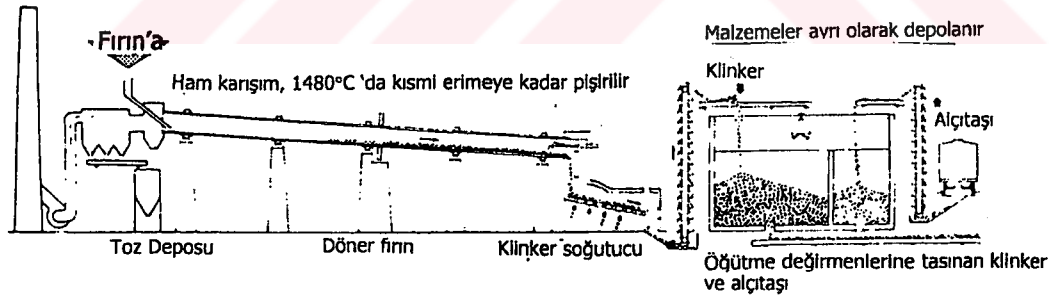
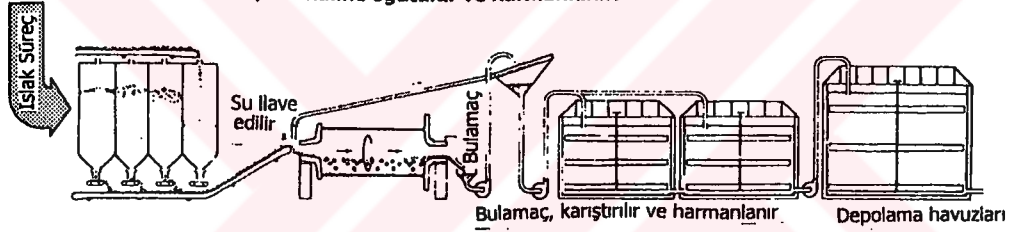
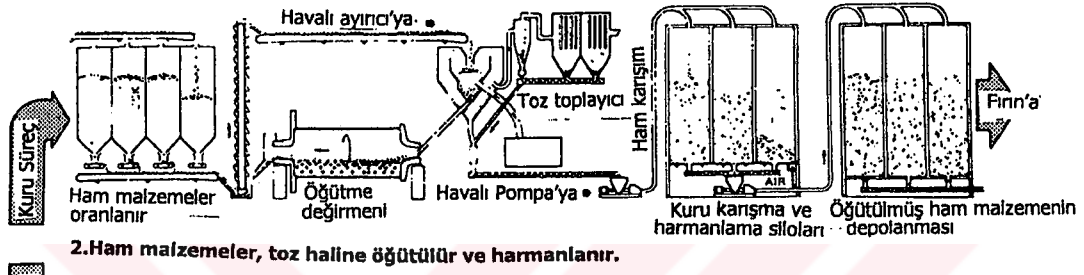
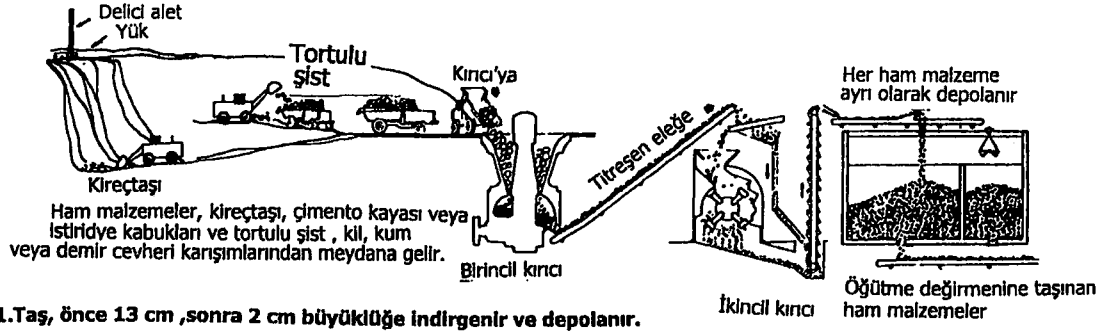
2. büyük bileşen olarak üflemleri fırın cürufu veya pozzolanik malzemeli portland çimento klinkerinden meydana gelen çimentoların sertleşmesi, iki reaksiyon alt dizgesini kapsar. Portland çimento, daha evvel bahsedildiği şekilde reaksiyona girer, oysa beraber öğütülen bileşen, kalsiyum silikatlar alit ve belit'in bir hidratasyon ürünü olarak oluşan kalsiyum hidroksit'le hidrolik sertleşmeye uğramak için etkinleştirilir. Sertleşme sürecinin meydana gelen reaksiyon ürünleri, portland çimentonunkine benzerdir, fakat sertleşmiş cüruf çimentosu, daha az kalsiyum hidroksit içerir. Bundan başka, bu cüruf ve pozzolanik çimentolar, portland çimento'dan daha yavaş bir hızla sertleşir ve ısı oluşum hızı daha düşüktür.

2. 2 Çimento üretimi

Portland çimento üretim süreci, şu aşamalardan meydana gelir.

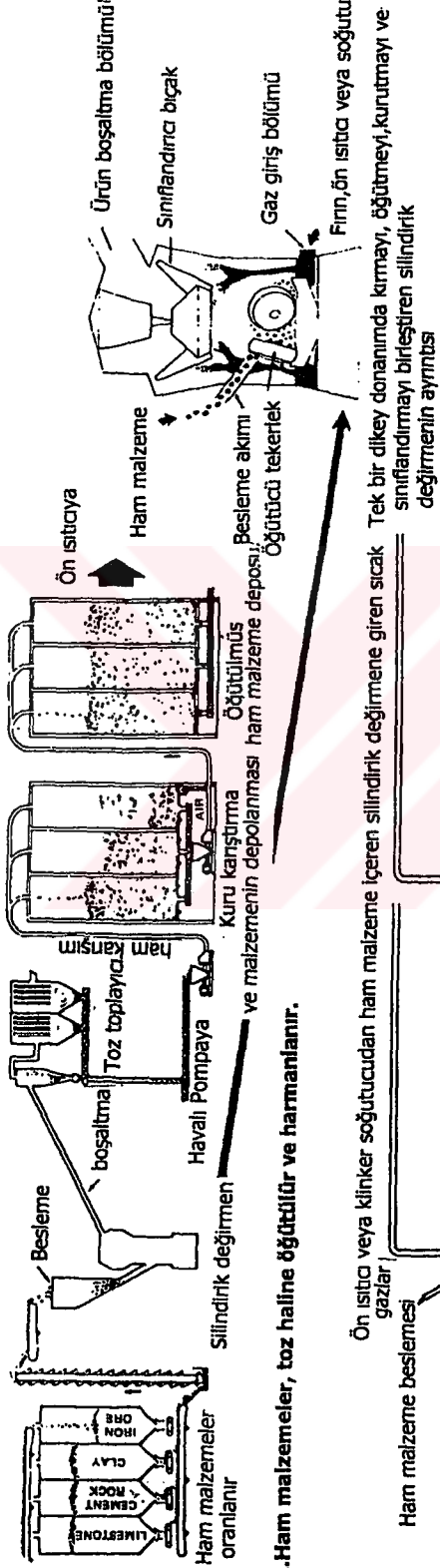
- (1) Kayayı taş ocağından kazıp çıkarma ve kırma.
- (2) Ölçülü olarak oranlanmış malzemeleri yüksek inceliğe öğütme.
- (3) Ham karışımı döner bir fırında ısı olarak işleme.
- (4) Meydana gelen klinker'i ince bir toz haline öğütme.

Tipik bir fabrika planı, ıslak ve kuru süreç fabrikaları arasındaki farklılıkları da belirten şekil 2. 3'te ve daha yeni kuru süreç fabrikaları şekil 2. 4'te gösterilmektedir. Tasarlanan fabrikalar, günde 1000 metrik ton üreten donanım tipindendir.

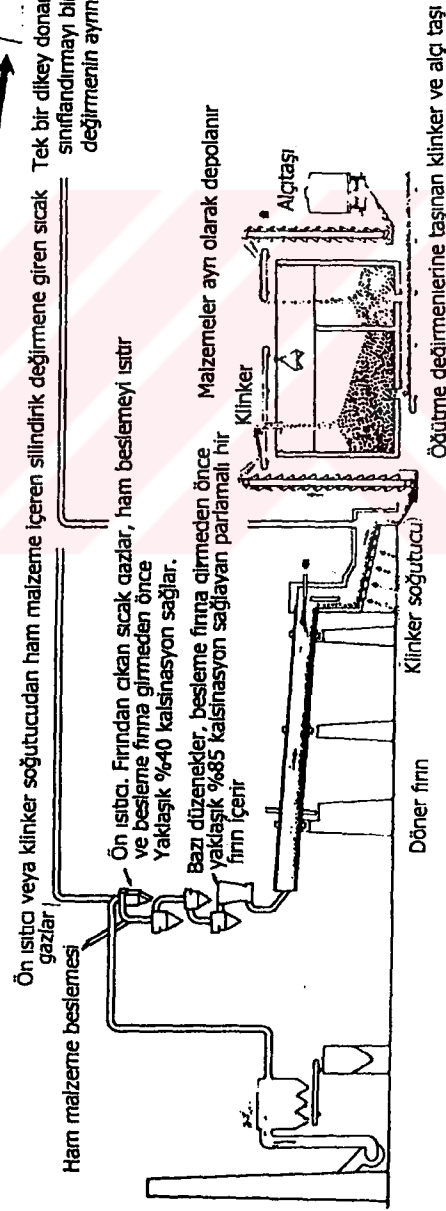


Şekil 2. 3 – Portland çimento üretimindeki adımlar

1. Taş, önce 13 cm lik, sonra 2 cm'lik büyüklüğe indirgenir ve depolanır.



2. Ham malzemeler, toz haline öğütülür ve harmanlanır.



3. Yakma (pişirme), ham karışımı kimyasal olarak çimento klinkerine dönüştürür.

4. Alçıyla klinker, portland çimento haline öğütülür ve yüklenir.

Şekil 2. 4 - Kuru - süreç çimento üretiminde yeni uygulamalı bilim.

2. 2. 1. Ham Malzeme Oranları

Çimentonun üretimi için, kimyasal bileşimi belli sınırlar içerisinde olan ham malzeme karışımlarını yapmak gereklidir. Yüksek kaliteli çimentonun sürekli üretimi, tek şart eğer ham karışım en uygun bir bileşime sahipse ve ayrıca bu bileşimdeki değişimler, en dar olası aralıkta kalırsa olanaklıdır. Tablo 2. 3'te ifade edilen sınırlayıcı değerler, genellikle çimento üretimi için geçerli olarak sayılmaktadır.

Tablo 2. 3. Çimento ham malzemesi kimyasal bileşiminin sınırlayıcı değerleri (yandıktan sonra).

Oksit	Sınırlayıcı değer (ağırlıkça - %)	Nicelik (ağırlıkça - %)
CaO	60-69	65
SiO ₂	18-24	21
Al ₂ O ₃	4-8	6
Fe ₂ O ₃	1-8	3
MgO	<5	2
K ₂ O,Na ₂ O	<2	1
SO ₃	<3	1

Pratik amaçlar için, ham malzeme ve ayrıca çimento klinkeri bileşimi, çoğunlukla modül denilen belli oranlarla karakterize edilir.

$$HM = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} = 1,7 - 2,2$$

Çimentolar üzerinde ilmi araştırmalar yapan W. Michaelis, çimentonun iyi bir sağlamlığa sahip olması ve sonradan bir hacim değişmesinin meydana gelmemesi için, bileşenlerin belirli bir oranda bulunması gerektiğini tespit etmiş ve bu oranı hidrolik modül olarak tanımlamıştır.

Başka bir kriter, teknik yanma ve soğutma koşulları altında çoğu kireççe zengin klinker fazlarındaki asidik oksidlerle (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) birleşebilen maksimum CaO yüzdesi olarak ham malzemedeki veya klinker'deki var olan gerçek CaO niceliğini ifade eden Kireç Standardı'dır(K.S).

K. S=100, en uygun CaO niceliğini gösterir. Kireç standardı için iki formül verilmiştir.

İlki Kühl tarafından

$$K.S. I = \frac{100 CaO}{2,8SiO_2 + 1,1Al_2O_3 + 0,7Fe_2O_3}$$

Spohn, Woermann ve Knöfel tarafından mevcut MgO niceliğini de hesaba katan biraz daha değiştirilmiş bir şekli aşağıdaki gibidir.

$$K.S = \frac{100(CaO + 0,75MgO)}{2,8OSiO_2 + 1,18Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3}$$

Bu formülde, MgO niceliği değerleri, yalnızca % 2'ye kadar göz önüne alınmalıdır. Eğer bu nicelik, daha yüksekse, parantez içindeki 2. Terim 1,50'de değişmez kalmalıdır.

Daha ileri bir düzeltme olarak olası $CaSO_4$ oluşumunu dikkate almak için $-0,7SO_3$ terimi, paya girmelidir.

Teknik klinkerler için kireç standardı değeri, 90 ve 102 arasındadır. 97'nin üzerindeki değerler, çok yüksek kaliteli olarak sınıflanır.

Silikat modülü, silisyum oksit, alümin ve demir (III) oksit'in toplamına oranıdır.

$$SM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = 1,2 - 4 \text{ olmalıdır.}$$

Bu modül, malzemenin klinkerleşmesi sırasında katı'nın sıvıya oranını belirtir, çünkü klinkerleşme sıcaklığında SiO_2 , katı evreler olan alit ve belit'de baskın olarak mevcuttur, oysa diğer iki oksit, likit evrede meydana gelir.

Alümin modülü olarak da bilinen demir modülü, alümin'in demir (III) oksit'e oranıdır.

$$IM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = (\text{ortalama } 1,8 - 2,8)$$

Bu her iki oksit, klinkerleşme sıcaklığında tamamen sıvı evrede meydana geldiği için, bu modül, o evrenin bileşimini gösterir. Eğer demir (III) oksit niceliği, daha yüksekse, ki demir modülü daha düşük olur, eriyiğin akma hızı düşer. Endüstriyel çimentolarda bu modül, genellikle 1. 3 ve 4 arasındadır[5].

A. B. D ve başka ülkelerde yaygın olarak kullanılan Bogue'nun hesap yöntemi, niceliksel evre bileşimini çözmek için kullanılır. Bu yöntemin kullanılması, klinker yapısının iyi belirlenmesi ve çimento özellikleri hakkında tutarlı tahminlerin yapılabilmesi amacıyla.

Buna göre; potansiyel evre bileşiminin hesaplanması aşağıdaki gibidir:

$$C_3S = 4,0710 (CaO - S \cdot CaO) - 7,6024 SiO_2 - 6,7187 Al_2O_3 - 1,4297 Fe_2O_3 - 2,85SO_3$$

$$C_2S = 2,8675 SiO_2 - 0,7544 C_3S$$

$$C_3A = 2,6504 Al_2O_3 - 1,6920 Fe_2O_3$$

$$C_4AF = 3,0432 Fe_2O_3$$

Eğer serbest kireç niceliği biliniyorsa, bu, çözüm yapılmadan önce, toplam CaO niceliğinden çıkarılmalıdır[6].

Çimento başlıca iki yöntem ile elde edilir: 1)Ham malzemelerin % 1'den daha az bir nem niceliğine kurutulduğu ve sonra ince bir toza öğütüldüğü kuru yöntem.

2) Su, kil kireçtaşı ve diğer bileşenlerin sluri meydana getirmek üzere oranlanmış nicelikleriyle beraber, ilk öğütücünün besleme ucuna ilave edildiği ıslak yöntem.

Her iki yöntemde de öğütülen malzemeler daha sonra yatay döner fırınlara gönderilir[7].

2. 2. 2. Çimento'nun pişirilmesi

• Portland çimento ham karışımının ısı işlenmesinde kimyasal dönüşümler aşağıdaki gibidir:

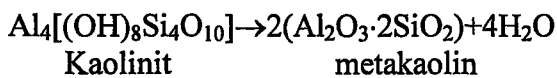
Sıcaklık°C	Süreç	Kimyasal dönüşüm
< 200	Serbest suyun uçması	
100 ... 400	Adsorblanmış suyun uçması	
400 ... 750	Metakaolinit oluşumuyla kilin bozunması,	$Al_4(OH)_8Si_4O_{10} \rightarrow 2(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) + 4H_2O$
600 ... 900	Tepkin bir oksit karışımının oluşumuyla metakaolinit ve diğer bileşiklerin bozunması	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 + 2SiO_2$
600 ... 1000	Kireçtaşının bozunmasıyla CS ve CA'nın açığa çıkması	$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ $3CaO + 2SiO_2 + Al_2O_3 \rightarrow 2(CaO \cdot SiO_2) + CaO \cdot Al_2O_3$
800 ... 1300	CS ve CA'yla kirecin tüketilmesi, C_4AF oluşumu	$CS + C \rightarrow C_2S$ $2C + S \rightarrow C_2S$ $CA + 2C \rightarrow C_3A$ $CA + 3C + F \rightarrow C_4AF$
1250 ... 1450	Kirecin C_2S tarafından daha fazla tüketilmesi	$C_2S + C \rightarrow C_3S$

2. 2. 2. 1. Kurutma

Ham karışımında birleşmemiş nem olarak var olan su veya karışıma ilave edilen su yaklaşık 200°C'ye kadar olan sıcaklıklarda uçar.

2. 2. 2. 2. Kil minerallerinin dehidratasyonu

100 ve 400°C arasında, kil mineralleri, iç tabakadaki su dahil yüzeye tutunmuş suyu dışarı verirler. Daha yüksek sıcaklıklarda, ilgili kil mineral çeşitlerine bağlı olarak, genellikle 400 ve 750°C arasında, kaolinit'in dehidratasyonu gösterilen kimyasal olarak birleşmiş su (hidroksit grupları) da çıkar.

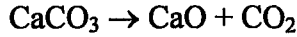


Metakaolin, önceden bahsedilen sıcaklık aralığı içerisinde ve ayrıca 900°C'ye kadar, örneğin aşağıdaki gibi tepkin oksitlerin oluşumuna yol açarak bir dereceye kadar bozunmaya uğrar: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$

Killerin dehidratasyonu, kil minerali tipi, katkıların yapısı ve niceliği, tane büyüklüğü, killerin kristalizasyon derecesi, gazlı ortam vs. gibi değişik etmenlerle etkilenir.

2. 2. 2. 3. Karbonatların Bozunması

Çimento ham karışımının yaklaşık % 74 ila 79'unu oluşturan kalsiyum karbonat (CaCO_3), aşağıdaki denkleme göre kuramsal olarak 896°C'dan sonraki sıcaklıklarda bozunur:



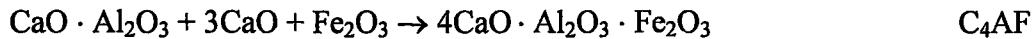
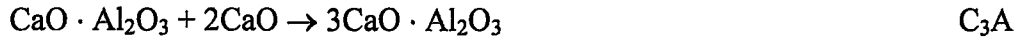
896°C'de bozunma basıncı 1 bar'dan büyüktür ve dolayısıyla dış basınca eşit olur. Gerekli tepkime entalpisi ΔH , 1660 kJ/kg'dır. 896°C değeri, saf kalsit (kalsiyum karbonatla) ile ilgilidir; artan katkı niceliğiyle çimento ham karışımında ısıl bozunma, düşük sıcaklıklara doğru ilerler. Gerçek uygulamada, bu, 550 ve 600°C arasında başlar. Bu etki örneğin katı tepkimede ilk olarak $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (=CA), 12 $\text{CaO} \cdot 7 \text{Al}_2\text{O}_3$ (=C₁₂A₇), $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (=CS) ve 2 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (=C₂S) bileşiklerinin oluşumuna yol açan CaO 'in SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ilaveleriyle kimyasal tepkimesi nedeniyledir. Dolayısıyla serbest kireç (CaO) niceliği, 800°C'nin aşağısındaki sıcaklıklarda ağırlıkça % 2'den daha azdır, daha yüksek sıcaklıklarda % 20'ye kadar yükselir.

Çimento üretiminde çok daha az önemli olan MgCO_3 'ün ısıl çözünmesi, CaCO_3 'ün bozunmasına benzerdir, fakat daha düşük sıcaklıklarda meydana gelir.

2. 2. 2. 4. Klinker oluşmadan önceki katı tepkimeler

550-600°C'den itibaren, CaCO_3 'ün bozunma ürünleri olan daha düşük kireç nicelikli monokalsiyum alüminat CA ve dikalsiyum silikat C₂S bileşiklerinin oluşumuna neden olan killerin bozunma ürünleriyle tepkimeye girdiği katı tepkimeler meydana gelir. Ayrıca portland çimento klinker üretiminde meydana gelen trikalsiyum alüminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$) ve kalsiyum alüminoferrit [$2\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3) = \text{C}_2\text{AF}$]'in oluşumu, 800°C civarında başlar.

Böyle tepkime örnekleri;



Katı tepkimeler çok yavaş olarak ilerler, fakat gerekli malzemelerin tane büyüklüğünün azalmasıyla, yanma sıcaklığını yükselterek, kristal kafes biçim değiştirmelerinin varlığıyla hızlandırılabilir.

2. 2. 2. 5. Sıvı evre varlığındaki tepkimeler (klinker oluşumu)

Sinterleme veya klinker oluşumu olarak bilinen işlemin başlangıcını gösteren ilk eriyik oluşumu, yaklaşık 1260 ve 1310°C arasındaki bir sıcaklıkta meydana gelir. Sıcaklıkta daha fazla bir artmayla, sıvı evrenin oranı, 1450°C'da malzemenin kimyasal bileşimine bağlı olan gerçek oran'a yani ağırlıkça % 20-30'a çıkar. Dolayısıyla, oluşan sıvı oranı, silika modülü daha yüksek olduğu için, buna bağlı olarak daha azdır. Bu sıcaklıklarda, portland çimento klinkerinin ana bileşeni, yani alit olarak bilinen trikalsiyum silikat oluşur.

Klinker oluşumu başlangıcında, malzeme hala dikalsiyum silikat dahil büyük birleşmemiş CaO nicelikleri içerir. Sıvı evre varlığında, bu bileşikler çözeltiye geçer; tepken'lerin yayınması, katı hale karşıt olarak çok kolaylaşır; trikalsiyum silikat aşağıdaki tepkimeye göre oluşur ve kristallenir:



Bununla, klinker oluşum sürecinin ana malzemesi, yani önemli C₃S bileşiğinin oluşumu gerçekleştirilir ve bu, ham malzemeleri yüksek klinker oluşum sıcaklığına ısıtma gayreti ve maliyetini gerektirir ve doğrular. İlaveten, sıvı evre, örneğin görece olarak kaba kuvarz veya kireçtaşı taneleri gerektiren diğer tepkimeleri hızlandırır.

Trikalsiyum silikat ve dikalsiyum silikat, sinterleme sıvısında katı evreler olarak vardır. 1400°C'nin yukarısındaki sıcaklıklarda, sıvı evre sonradan oluşan klinkerin, bütün Al₂O₃ ve Fe₂O₃'ünü içerir ve yüzde ağırlıkça yaklaşık olarak aşağıdaki bileşime sahiptir:

% 56 CaO, % 7 SiO₂, % 23 Al₂O₃ ve % 14 Fe₂O₃. Klinker oluşum sıcaklığında bir denge hali kurulur. Sıvı evrenin akmazlığı, azalan demir modülüyle, yani artan Fe₂O₃ niceliğiyle daha düşüktür. Ayrıca yardımcı karışım bileşenleri, örneğin alkalilerle artan, fakat SO₃ ve MgO'le azalan akmazlığı etkiler. Bu tepkimeler, daha belirgin olarak, sıvı evre oranını arttırarak, sıvı evre akmazlığını düşürerek ham karışımdaki kaba tanelerin, özellikle kuvarz, oranını indirgeyerek etki eder.

2. 2. 2. 6. Soğutma esnasındaki tepkimeler

Eğer, yanma sürecinde oluşan klinker, çok yavaş olarak soğutulursa, daha önceden olan tepkimelerin bazıları, sıvıda çözünerek, çimentonun dayanım artışına göre önemli olan trikalsiyum silikat'ın kaybına daha belirgin olarak yol açarak tersine dönecektir. İstenilen hızlı soğutmayla, sıvı hızlı olarak katılaşır ve dikkate değer bir trikalsiyum silikat kaybı yoktur. Denge, sanki değişmez'dir. Dolayısıyla, soğutulmuş uygulamalı olarak üretilen portland çimento klinkerinin bileşimi, klinker oluşum sıcaklığında elde edilen bileşime büyük ölçüde benzerdir.

Yüksek SiO₂ nicelikli sıvı evrelere karşıt olarak, portland çimento klinkerindeki kireçce zengin alümino ferritik sıvı, hızlı olarak soğutulduğu zaman bile tam kristalizasyon'a uğrar.

Ayrıca soğutma hızı, kristalizasyon durumunu, klinker evrelerinin etkinliğini ve klinkerin yapısını etkiler. Örneğin, hızlı soğutma, ince, yakın olarak iç içe büyümüş

suyla yavaş olarak tepkimeye giren trikalsiyum alüminat (C_3A) ve kalsiyum alüminoferrit [$C_2(A,F)$] kristallerini üretecektir.

Hızlı soğutmanın diğer etkileri:

Gerilim çatlamları nedeniyle klinkerin daha iyi öğütülebilirliği;

Çözünmeyle daha az alit kaybolduğu için daha yüksek alit niceliği;

İçerden büyümüş ince olarak kristalin alüminat ve ferrit evrelerinden dolayı çimento'nun daha yavaş donması;

Eğer MgO niceliği % 2,5'un yukarısında ise, klinker'deki katı çözeltide daha fazla MgO var olduğu için daha iyi sıkılık, daha az genleşme olur. Bununla birlikte serbest MgO ince kristalin biçimde meydana gelir.

Diğer yandan, klinker oluşumundan çevre sıcaklığına kadar olan tüm sıcaklık aralığı üzerinde aşırı olarak hızlı soğutmanın, daha düşük dayanımlı çimento üretmesi olanaklıdır. Bununla birlikte, sınırlanmış ani soğutmanın dayanımda bir artış meydana getirebildiği gözlenmiştir. Üst sıcaklık aralığındaki soğutma hızı, önemli bir etkiye sahiptir. Bu aralıkta fırındaki yükseltgen koşullar altında, klinker oluşum sıcaklığından $1400^{\circ}C$ civarına yüksek alkali klinker için veya $1300^{\circ}C$ civarına düşük alkali klinker için görece olarak yavaş soğutmanın, ki bu alit'in başlangıç bozunmasıyla meydana gelen kristal örgü çıkıklıkları üretebilir, çimentonun dayanımı üzerine yararlı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Yine de, bu gözlemler ve yorumların geçerliliği, bazı yazarlar tarafından tartışılmaktadır.

Fırını terk ettikten sonra klinker'in soğutma hızının, genellikle çimentonun dayanımı üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olmadığı düşünülür, yani hangi soğutucu tipinin, örneğin düzlemsel veya ızgaralı soğutucu, kullanıldığı önemli değildir.

2. 2. 3. Son Öğütme

Soğutulmuş klinker, klinker deposuna nakledilir veya % 4-6 alçı ile karıştırılır ve doğrudan son değirmenlere sokulur. Bu değirmenler, çelik küreler içeren ve dakikada yaklaşık 15-20 devir dönen, çapı 2-5 m olan büyük, çelik silindirlerdir. Klinker ve alçı $3000-5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ yüzey alan'lı ince, tek düze bir toz'a öğütülür. Ürünün % 85-96'sı, tanecik olarak $44 \mu\text{m}$ çap'dan daha azdır. Bu işlemler, iki farklı değirmen dizgeleriyle gerçekleştirilebilir. Açık-devre öğütmede, malzeme, bir ayırma olmaksızın doğrudan değirmene geçer. Genellikle, geniş bir tane büyüklüğü dağılım aralığı çok ince ve çok kaba tanelerin büyük nicelikleriyle elde edilir. Kapalı devre öğütmede, değirmen ürünü, kaba tanelerin üründen atıldığı ve daha ileri olarak öğütme için değirmene geri döndürüldüğü çevrimli havalı bir ayırıcıya iletilir.

Klinker'in yapısına da bağlı olarak son öğütme için enerji gereksinimleri, 1 ton çimento başına yaklaşık $33 - 77 \text{ kW} \cdot \text{h}$ arasında değişir.

2. 2. 4. Çimentoların sınıflandırılması ve isimlendirilmesi

OC	Normal Portland çimentosu
RHC	Hızlı sertleşen (veya yüksek başlangıç dayanımlı) Portland çimentosu
HSC	Yüksek dayanımlı portland çimentosu
LHC	Düşük ısı (veya yavaş sertleşen, düşük hidratasyon ısı) Portland çimentosu, orta düşük ısı Portland çimentosu
SRC	Sülfata dirençli Portland çimentosu
AEC	Hava sürükleyici Portland çimentosu
BL	Yüksek fırın çimentosu
POZ	Pozzolanik çimento

Çimentoların sınıflandırılması, değişik ölçüt gruplarına göre dayandırılabilir. Dolayısıyla, temel ayırt edici özellikler:

Dayanım Sınıfları (en az veya ortalama dayanımlar; genellikle 28 günlük sıkışma dayanımları);

Çimento çeşitleri (portland çimentosu, cüruflu çimento, pozzolanik çimento);

Önemli özgün özellikler (düşük hidratasyon ısı, girişken ortama dirençli, hızlı dayanım artışı vs.)

Dayanım sınıfları, DIN 1164'e göre tablo 2. 4'de belirtilmiştir. Daha belirli olarak, sınıflandırma, gerekli olan en az 28 gün'lük sıkışma dayanımlarına göre belirtilir.

Tablo 2. 4 Dayanım sınıfları

Dayanım Sınıfı		Sıkışma Dayanımı (N/mm ²)			
		2 gün	7 gün	28 gün	En fazla (max)
25 ¹	-	-	10	25	45
35	L ² F ²	- 10	18 -	35	55
45	L ² F ²	10 20	- -	45 45	65 65
55		30	-	55	-

1.Sadece, düşük hidratasyon ısı veya/ve yüksek sülfata dirençli çimentolar için. 2.Yavaş ilk sertleşme davranışlı portland çimentosu, Eisen portland çimentosu, Hochofen çimentosu ve traslı çimento'ya ek olarak L sembolü verilir, bunun yanında F sembolü, yüksek başlangıç dayanımlı çimentolara eklenir.

2. 2. 5. Çimentoların isimlendirilmesi

Portland çimentosu (portland çimento klinkerinden yapılır) PZ

Eisen portland çimentosu (en az % 65 portland çimento klinkeri ve en fazla % 35 yüksek fırın cürufu içerir.) EPZ

Hochofen çimentosu (% 15 – 64 portland çimento klinkeri ve % 85 – 36 yüksek fırın cürufu içerir.) HOZ

Traslı çimento (% 60-80 portland çimento klinkeri ve % 40 – 20 tras içerir) TrZ

Bundan başka, ayrımlar özgün özelliklere de dayandırılır:

Düşük hidratasyon ısı çimentolar NW

(7 gün sonraki en fazla hidratasyon ısı: 270 joule/gram)

Yüksek sülfata dirençli çimentolar (iki çeşittir). HS

(Bogue'ya göre, $C_3A \leq \% 3$ olan Portland çimentosu ve $Al_2O_3 \leq \% 5$ olan, $\geq \% 70$ yüksek fırın cürufu Hochofen çimentosu)

Düşük etkinlikde alkali nicelikli çimentolar (standartlaştırılmamış) NA

(Na_2O eşdeğerince en fazla toplam alkali niceliği: $\leq \% 0,60$ (portland çimentosu için) Hochofen çimentosu için $\leq 0,90 \%$ ($> \% 50$ cürufu hochofen çimentosu $\leq 1,10$

Bir çimentonun tam standart isimlendirilmesi, dayanım sınıfının, çimento çeşidinin ve özgün özelliklerinin gösterimini kapsar. Örneğin:

- 1) 28 günlük en az 35 N/mm²'lik ve 2 günlük en az 10 N/mm²'lik sıkışma dayanımlı bir portland çimentosu DIN 1164'e göre isimlendirme: PZ 35 F
- 2) 28 günlük en az 35 N/mm²'lik, 7 günlük en az 18 N/mm²'lik sıkışma dayanımlı ve yüksek sülfat dirençli bir hochofen çimentosu (HOZ)

DIN 1164'e göre isimlendirme: HOZ 35 L-HS.

DIN 1164'e uyan diğer standart çimentolar, beyaz çimento, su itici (hidrofobik) çimento ve yol yapımında kullanılan çimento gibi özel çimentolardır.

Tablo 2. 5. Çimentoların Kimyasal Bileşimini (% Ağırlıkça) gösterir.

Tablo 2. 5. Çimentoların Kimyasal Bileşimi (% Ağırlıkça)

Oksit	Portland çimentosu				Eisen portland çimentosu	Hochofen çimentosu	Tırası çimento	Oil shale (yüksek kerojen yitirisi içeren çöken kaya tortuları çimentosu)
	Normal	Hızlı sertleşen	Yüksek sülfat dirençli	beyaz				
CaO	61-69	66	64	67	50-66	44-61	47-60	54-61
SiO ₂	18-24	20	21	23	19-28	21-30	20-28	18-23
Al ₂ O ₃	4-8	5	4	4	4-12	6-15	5-10	6-8
Fe ₂ O ₃	1-8	3	7	<1	1-4	1-3	2-4	3-4
MgO	<5	<2	<2	<2	<6	<7	<3	<2
SO ₃	2-4	3-4	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4

2. 3. ÖĞÜTME

Öğütmeyle, malzemelerin toz haline ufaltılması anlaşılır. Kuru süreçle çimento üretiminde, ham karışım üretiminde son adımı oluşturur. Fırından çıkarılan klinkerin, biraz alçı ilavesiyle, bütün sürecin son ürünü (çimento) olan ince bir toz'a öğütülmesi gereklidir. Bu son klinker öğütme işlemi, çoğunlukla son öğütme olarak adlandırılır. İnce toz haline getirme ve öğütme deyimleri, aslında öğütmeyle eş anlamlıdır, fakat çoğunlukla ince toz haline getirilmiş yakıt olarak kullanım için kömür veya linyit'in ufaltılmasına özgüdür. Tane büyüklüğünü azaltma, katıların tepkinliğini artırır, bu, mekaniksel yöntemlerle istenilmeyen malzemelerin ayrılmasını sağlar.

Daha belirgin olarak öğütmenin amacı, istenilen tane büyüklüğü dağılımına, yani çimento üretim sürecinde sonraki adım için veya son üründe yeterli tepkinliği sağlama derecesine kadar uyarak malzemenin özgül yüzeyini arttırmaktır.

Çimento sanayinde, toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 75'i ham malzemeleri, klinker'i ve üretimde kullanılabilen yakıt'ı öğütme esnasında tüketilir. Azalan mevcut enerji kaynakları ve enerji maliyetlerinde ortaya çıkan yükselmeden dolayı, bu büyük maliyet kısmına dikkat etmek önemlidir.

Bugünlerde sıklıkla kullanılan iki ana değirmen tipi olan borulu değirmenler ve çubuklu değirmenlerde malzemelerin öğütülmesi, kaçınılmaz olarak çok büyük enerji kayıpları gerektirir. Verilen bir malzemeyi, belli bir tane büyüklüğüne indirgeme için gerekli gerçek enerji girişi, taneleri kırma ve dolayısıyla malzemenin yüzey alanını arttırmak için kuramsal olarak gerekli enerjiyi çok aşar. Uygulanan ölçüte bağlı olarak, öğütme dizgesine sağlanan enerjinin yalnızca % 2 - % 20'sinin yeni yüzey yaratma için kullanıldığı çözümlenmiştir. Geriye kalanı, yani % 98 - 80'i kayıp enerjidir, genellikle ısı ve titreşim olarak harcanacaktır.

İdeal bir öğütücü,

- (1) Büyük bir kapasiteye sahip olmalıdır.

(2) Birim ürün başına küçük bir enerji girişi gerektirmelidir.

(3) Aynı büyüklükte bir ürün veya istenilen tane dağılımında bir ürün meydana getirmelidir.

İdeal bir öğütücüden farklı olarak, gerçek bir öğütücü, besleme tekdüze sınıflandırılmalı veya sınıflandırılmalı, aynı büyüklükte bir ürün oluşturmaz. Ürün, her zaman belli bir en fazla büyüklükten çok küçük tanelere kadar değişen bir tane karışımından oluşur. Özellikle öğütücü sınıfında bazı makineler, ürünlerindeki en büyük tanelerin büyüklüğünü kontrol etmek için tasarlanır, fakat ince büyüklükler kontrol altında değildir. Eğer besleme, hem tanelerin şekli hem de kimyasal ve fiziksel yapı bakımından tek evrelili ise, ürünlerdeki her bir tanenin şekli, oldukça tek düze olabilir; Aksi takdirde, tek bir ürünün değişik büyüklüklerindeki taneler şekilce oldukça değişebilir.

Bir öğütme fabrikasının işletmecisinin karşılaştığı sorun, o andaki var olan donanımın en büyük ekonominin nasıl gerçekleştirileceğine karar vermektir. Bunun için, bugünkü olanakları ve sınırlamaları bilmek ve fabrikanın işletilmesini ölçen yollar ve yöntemler hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir.

Bir malzemenin, elde edilen ürünün özgül yüzeyiyle tanımlanan belli bir gerekli inceliğe ufaltılması veya büyüklük azalması için gerekli enerji, malzemenin sertliğine, sıkışma dayanımına, kırılma direncine veya esnekliğine veya plastikliğine, tanelerin büyüklüğü ve şekline, sıcaklık ve nem niceliğine ve tabii ki kullanılan öğütme süreciyle uygulanan öğütme eyleminin doğasına da bağlı olacaktır. Birleşim içindeki bu etkenler, malzemenin büyüklük azalmasına gösterdiği direnci belirler ve malzemenin özgül'lüğü olarak sayılabilir.

Öğütme'ye özgül direnç, özgül enerji gereksinimi olarak ifade edilebilir ve farklı malzemelerin büyüklük azalması özelliklerini birbiriyle doğrudan karşılaştırma için bir ölçüt verebilir.

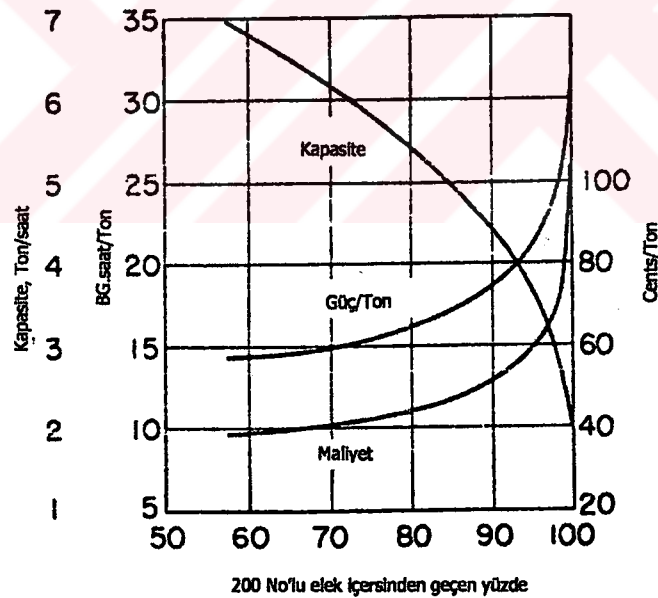
Dolayısıyla bir malzemenin büyüklük azalması -çimento sanayiinde ilgili malzemeler, mineraller veya mineral karışımlardır- özgül dirençleri veya kuvvetleri yenmeyi gerektirir. Çoğunlukla, bunlar kristal bağ kuvvetleri ve ara yüzey bağ kuvvetleridir. Kristalin malzemelerde, kırılma, böyle malzemelerde her zaman var olan ve kristallerin tek evreliliğini bozan zayıf noktaları oluşturan çatlaklarda başlar. Malzemeye yük uygulandığı zaman, bu çatlaklar gerilim yoğunlaşmasının meydana geldiği ve bu gerilimler, malzemenin yerel dayanımını aştığı zaman kırılmanın başlayacağı çentikler gibi etki eder. Kırılma olasılığı, hem yükleme büyüklüğüyle hem de malzemenin sınırlar içerisinde daha mı kalıcı veya esnek bir biçimde davrandığını belirleyen yük artış hızıyla gösterilir. Bir büyüklük azalması sürecinin etkinliğini, endüstriyel bir öğütme fabrikasının enerji tüketimini, tane kırılmasının fiziksel kuramlarına dayalı olan büyüklük azalmasını gerçekleştirme için kuramsal olarak gerekli enerjiyi karşılaştırarak belirleyebiliriz. Gerçek enerji tüketiminin, her zaman kuramsal değerden çok daha büyük olduğu bulunmuştur. İki değer arasındaki fark, malzemeyi öğütme esnasında kaybolan veya harcanan enerjinin bir göstergesidir.

Daha belirgin olarak, bu enerji kayıpları:

- 1) Malzeme tanelerinin kendi aralarındaki, malzeme taneleri ve öğütme elemanları arasındaki sürtünme (öğütme ortamı, kaplama levhaları, öğütme silindirleri, öğütme kabı, vs.). Bundan başka, bilyalı değirmenlerde, öğütme ortamının kendi arasındaki ve öğütme ortamı ve değirmen kaplaması arasındaki sürtünme vardır. Sürtünme, ısı, gürültü ve elektrostatik yüklemeye dönüşür.
- 2) Öğütme elemanlarının aşınması; elemanların esnek ve bir dereceye kadar kalıcı biçim değiştirmesi,
- 3) Parçalanmanın meydana gelmesi için, tanelerdeki çatlaklar ve zayıf noktalarda kırılma gerilimine ulaşılan kadar ufaltılacak malzemenin esnek biçim değiştirmesi.
- 4) Öğütülecek malzemenin kalıcı biçim değiştirmesi
- 5) Tane yığılmalarının oluşumu nedeniyledir[8].

2. 3. 1. Öğütme – Enerji İlişkisi

Bir malzemenin öğütüldüğü incelik, onun üretim hızı üzerine belirgin bir etkiye sahiptir. Şekil 2. 5, (Ürün inceliğine göre kapasite, güç ve öğütme maliyetindeki değişim), ürün daha ince öğütülürken, kapasitenin nasıl azaldığını ve özgül enerji ve maliyetin nasıl arttığını gösteren bir örnektir.



Şekil 2. 5 - Kapasite, Güç ve öğütme maliyetindeki değişim (ürünün inceliğine göre)

Yükselen enerji maliyeti hakkındaki düşünce, bir raporun yayınına yol açmıştır. Bu, Birleşik Devletler endüstrisinin, büyüklük – indirgeme işlemlerinde yıl'da yaklaşık olarak 32 milyar kWh elektrik enerjisi tükettiğini göstermektedir. Bu enerjinin yarıdan fazlası minerallerin kırılma ve öğütülmesinde, 1/4'ü çimento üretiminde, 1/8'i kömürde ve 1/8'i tarımsal ürünlerde tüketilir. Rapor, enerjiden tasarruf sağlamak için düşünülen 5 alan tavsiye eder: Sınıflandırılmalı – cihaz tasarımı, değirmen tasarımı, kontrol, ilaveler ve aşınmaya dayanacak malzemeler.

2.3.1.1. Enerji Kanunları

Büyüklik azalmasını, tek bir değişkenle, yani değirmene enerji girişiyle ilişkilendirmek için değişik kanunlar önerilmektedir. Bu kanunlar, genel bir diferansiyel denklemle özetlenir.

$$dE = - C dx/x^n$$

Burada E, yapılan iş, x tane büyüklüğü ve C ve n değişmezlerdir. n=1 için çözüm, Kick's yasasıdır. Bu yasa,

$$E = C \log(x_F/x_P)$$

Burada x_F , besleme tane büyüklüğü

x_P , ürün büyüklüğü ve

x_F/x_P , azalma oranı'dır. $n > 1$ için, çözüm,

$$E = \left(\frac{C}{n-1} \right) \cdot \left(\frac{1}{x_P^{n-1}} - \frac{1}{x_F^{n-1}} \right)$$

n=2 için, bu, enerjinin, üretilen yeni yüzeyle orantılı olduğunu ifade eden Rittinger's Kanunu olur.

Bond Kanunu, n'in 1,5 olduğu duruma karşılık gelir.

$$E = 100E_i \left(\frac{1}{\sqrt{x_P}} - \frac{1}{\sqrt{x_F}} \right)$$

Burada E_i , Bond iş sayısıdır veya birim ağırlığı, kuramsal olarak belirsiz bir büyüklükten, % 80'i 100 μm 'yi geçene kadar indirgemek için gerekli iş'tir.

İş sayısı üzerine geniş veri, bu yasayı, değirmen büyüklüğünü belirleme için yararlı hale getirmiştir. Özet veri, tablo 2,6'da verilir.

Tablo 2. 6 İş İndeksleri Tablosu

Madde	Özgül Ağırlık	İş İndeksi
Boksit	2,20	8,78
Çimento Klinkeri	3,15	13,45
Çimento ham malzemesi	2,67	10,51
Kil	2,51	630
Kök	1,31	15,13
Granit	2,66	15,13
Çakıl	2,66	16,06
Alçıtaşı	2,69	6,73
İlmatit	3,53	12,84
Kireçtaşı	2,66	12,74
Fosfat kayası	2,74	9,92
Kuvartz	2,65	13,57
Siyah Mermer (Arduvaz)	2,57	14,30
Volkanik Kaya	2,87	19,32

İş sayısı, laboratuvar kırma ve öğütme denemelerinden deneysel olarak veya ticari değirmen işlemlerinden bulunabilir. İş sayısını, ölçülen koşullardan farklı olan durumlara uyarlamak için bazı ana kurallar, kuru öğütme için olan sayının, ıslak öğütmedeki ölçülenin 1,34 katı bir değişmeyle artırılmasıdır; Açık devre işlemler için 1,34'lü başka bir değişmez, kapalı devrede ölçülenin üzerinde gereklidir; Eğer ürün büyüklüğü x_p , 70 μ m'nin aşağısına uyarlanırsa, ilave bir düzeltme değişmezi $(10,3+x_p)/1,145 x_p$ 'dir.

Ayrıca bir çene veya döner kırıcı için iş sayısı,

$$E_i = 2,59 C_s / \rho_s$$

C_s = çarpma kırma direnci, kırmak için gerekli kalınlığın inch'i başına (ft. lb)

ρ_s = Özgül ağırlık (spesifik gravite) ve

E_i kWh/ton olarak ifade edilir.

Enerji yasalarının hiçbirisi, gerçek koşullarda iyi bir biçimde uygulanmaz ve bu yasalar, öğütmenin anlaşılmasının daha ileri gelişimi için bir başlangıç noktası oluşturmak üzere başarısız kalmışlardır. Bir yasayı veya başka birini destekleyen daha önceki raporların çoğu, tek veya başka bir büyüklük dağılımı yasasının kabulü üzerinde daha ince büyüklüklere doğru, büyüklük dağılımlarının uyarlanmalarına dayanır. En ince büyüklüklere uygulanabilen bugünkü tane büyüklüğü çözümleme teknikleriyle, artık böyle bir karmaşıklığa gerek kalmamıştır.

2. 3. 1. 2. Öğütme etkinliği

Bir öğütme işleminin enerji etkinliği, ideal enerji gereksinimine göre tüketilen enerji olarak belirlenir.

Öğütme işlemlerinin kuramsal enerji etkinliği, kuvars'ın yüzey enerjisi değerlerine dayalı olarak % 0,06 - %1'dir. Bu sonuçlardaki belirsizlik, kuramsal yüzey enerjisindeki belirsizlik nedeniyledir. Bu konu üzerine yazılmış bir inceleme, bir çok laboratuvar yüzey enerjisini ölçme yöntemlerinin büyük hatalar ürettiğini saptamıştır, fakat Obreimov'un çatlak yöntemi, sodyum klorür için kuramsal örgü çözümlemeleriyle uyumlu olan sonuçlar vermiştir. Raasch ve Burns tarafından daha sonraki incelemeler, kristal'in bükülme enerjisi için % 50 düzeltme ilave edildiği zaman bu ölçümlerin geçerli olduğu sonucunu çıkarır. Kuznetsov, görece bir aşınma denemesiyle diğer malzemeleri sınıflandırmıştır. Sonuçları, daha önceden verilen etkinlikleri doğrular. Kalorimetreyle öğütme sürecinin etkinliğini ölçme denemeleri, öğütülen malzemenin kuramsal yüzey enerjisini aşan hatalar içerir.

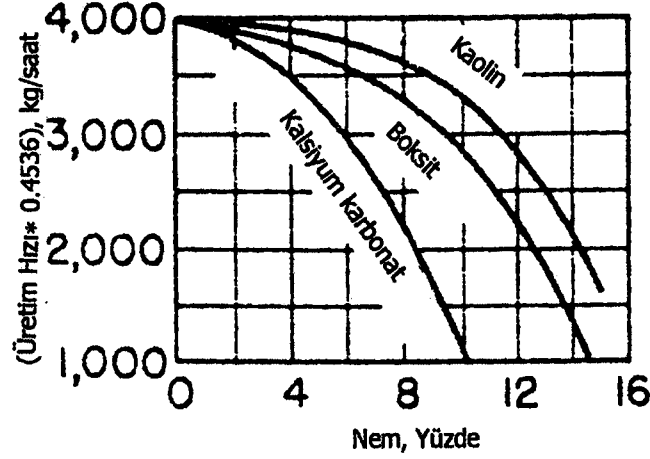
2. 3. 1. 3. Gerçek enerji etkinliği

Laboratuvar kırma denemelerinin etkinliğiyle karşılaştırılan uygulamalı öğütme etkinliği olarak belirlenir. Gerçek etkinlikler, % 25 - % 60 arasındadır.

Enerji değişmezi, Rittinger's kanununa, yani birim enerji girişi başına oluşan yeni yüzey, dayanır. Genellikle öğütme zamanı, dolaylı bir biçimde enerji olarak ifade edilen deneysel değişkendir. Ayrıca enerji değişmezi, beygir gücü – saat başına belli bir büyüklüğü geçen ton olarak ifade edilebilir. Bu değişmez değeri, sert ila orta

sertlikteki mineralleri, 74 μm 'lik elek büyüklüğüne ıslak bilyalı değirmende tozlaştırma için yaklaşık 0,02 ve 0,1 arasındadır.

Şekil 2,6'daki eğriler, artan nem niceliğiyle azalan üretim hızını gösterir. Bazen, az bir su niceliği, tam kuruluk üzerine yararlı olabilir. Bütün 3 malzeme, 74 μm 'lik bir elek içerisinde % 99,9'a öğütülmektedir.



Şekil 2. 6. Nem'in, bir tozlaştırıcının üretim hızı üzerine etkisi.

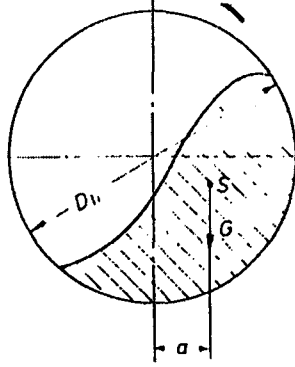
Bilyalı değirmenler, büyüklük sınıflandırıcılı kapalı devrede ıslak öğütme için geniş bir uygulama alanına sahiptirler. İnce kuru öğütmede, yüzey kuvvetleri, daha az etkin bir enerji kullanımıyla darbeleri yumuşatmaya ve bilya kaplanmasına neden olmak için etkileşime girerler. Seçimi etkileyen diğer etkenler, takip eden kuru veya ıslak sınıflandırma adımlarının etkin çalışması, kurutma maliyeti ve ıslak bir ürünü kullanma için daha sonraki işletme adımlarının kapasitesidir.

Uygulamada, ıslak öğütmeyle kuru öğütmedekinden daha ince büyüklük elde edilebildiği bulunur. Uygun yüzey aktif maddelerle bilyalı değirmenler veya titreşimli değirmenlerle ıslak öğütmede, 0,5 μm 'lik ürün büyüklükleri elde edilebilir. Yaklaşık 15 μm 'ye kadar kuru öğütmede büyüklük, genellikle bilya kaplanmasıyla sınırlanır. Çekiçli değirmenlerle veya halkalı – silindir değirmenlerle kuru öğütmede, sınırlayıcı büyüklük yaklaşık 10 – 20 μm 'dir. Püskürtmeli değirmenler, eylemsizliğin hava devinimli sürüklenmeye daha büyük oranından dolayı sıkı taneler 5 μm 'ye kadar öğütülebilmesine rağmen, genellikle 15 μm 'lik ortalama bir ürün büyüklüğüyle sınırlanırlar.

2. 3. 1. 4. Değirmeni döndürme gücünü çözümleme

Bir borulu değirmen'i hareket ettirme için gerekli güç girişi, aşağıdaki ilişkiden belirlenebilir.

$$\text{Güç} = \text{dönme momenti (kuvvet çifti)} \times \text{açısal hız}$$



Şekil 2. 7. Değirmen döndürme gücünü belirleme için basit geometrik bağıntılar

Değirmen, döndüğü zaman, öğütme ortamı ve besleme malzemesi yığını, ağırlık merkezi, değirmen kesitinin dikey merkez çizgisinden belli bir uzaklıkta (a) olan düzensiz şekilli, bakışsız bir biçim oluşturur. Dolayısıyla, karşıt dönme moment'i, a uzaklığıyla çarpılan öğütme ortamının G ağırlığına eşittir. Yani $M = g \cdot a$ dır.

Dönen değirmen dış cidarına göre, hareketsiz olan ağırlık merkezi S, açısal hıza sahiptir: $\frac{2\pi n}{60}$

Buradan güç,

$$N = \frac{Gxa}{102} \cdot \frac{2\pi n}{60}$$

a, bilinmeyen bir niceliktir. Daha da basitleştirecek, bütün değirmenlerde karşılaştırılabilir yükleme yüzdeleri ve dönme hızlarıyla, a ve değirmenin iç çapı arasında değişmez bir oran vardır:

$$a = XxDL_i$$

Bu bağıntıyı, güç formülünde yerine koyarsak,

$$N = \frac{GxXxD_{Li}}{102} \times \frac{2\pi n}{60} [kW]$$

$$C = \frac{x \cdot 2\pi}{60 \times 102} \quad N = Gx D_{Li} \times n \times C [kW]$$

Burada:

$$N = \text{Güç tüketimi [kW]}$$

$$G = \text{Değirmen besleme ağırlığı [t]}$$

$$D_{Li} = \text{Değirmen iç çapı [m]}$$

$$C = \text{Güç etkeni}$$

$$n = \text{Değirmen dönme hızı [devir/dk.]}$$

Bu hesaplama, yükleme yüzdelerinin karşılaştırılabildiği bütün değirmenlerde, uzaklığın (a), çapın değişmez bir oranı olduğu kabulüne dayanır. Dolayısıyla, iç kaplamaların şekli, öğütme ortamı türü, öğütme ortamı yükünün ağırlığı ve besleme malzemesinin fiziksel özellikleri gibi değirmen yükünün kaldırılma yüksekliği ve mesafenin (a) büyüklüğünü etkileyen özellikler göz önüne alınmaz.

C etkeni için değerler, deneysel olarak belirlenmelidir. Ne yazık ki bu değerler, kullanılan öğütme ortamının üst ve alt sınırlayıcı büyüklükleri arasında geniş bir dağılım gösterir, öyle ki böyle çarpan'ların ilavesiyle hesaplanan güç tüketim değerleri tam olarak doğru olmayabilir. Bu yüzden, bu şekilde belirlenen bir borulu değirmen güç tüketimi, ki değirmen ve hareketin mekaniksel kayıplarını gözönüne alan fakat hareket ettiren motor'un etkinliğini göz önüne almayan, yalnızca yol gösterici bir değer olarak düşünülmelidir. Motorun etkinliğini hesaba katmak için % 4 ilave edilmelidir.

2. 3. 1. 5. Bilyalı Değirmenin Kapasitesi ve Güç Tüketimi

Değirmen ölçeklendirme yöntemlerinden biri, eğer her durumda karşılaştırılabilir gerçek işletme uygulaması kabul edilirse, öğütme niceliğinin, harcanan enerji niceliğine bağlı olduğunun gözlemi üzerine dayanır. Bir bilyalı değirmene uygulanan enerji, birincil olarak değirmenin büyüklüğü ve bilyaların yüküyle belirlenir. Kuramsal düşünceler bir küreli değirmeni hareket ettirmek için net gücün $D^{2,5}$ ile orantılı olduğunu gösterir, fakat bu üs, yalnızca işletme koşulları aynı olduğu zaman iki değirmeni karşılaştırma esnasında değiştirilmeksizin kullanılabilir.

$$E = [(1,64L - 1) \cdot K + 1] \cdot [(1,64D)^{2,5} E_2]$$

olduğu bulunmuştur.

Burada,

L = Değirmen'in iç uzunluğu, m

D = Değirmenin ortalama iç çapı, m

E_2 = Benzer işletme koşulları altında 0,6 – 0,6 m bir laboratuvar değirmeniyle tüketilen net güç.

K = 1,5 m uzunluğun üzerindeki değirmenler için 0,85 ve 1,5 m uzunluğundan daha az olan değirmenler için 0,9'dur.

Bu formül, değirmen çapı ve uzunluğunun değiştirildiği model – öğütme denemelerini ölçeklendirmek için kullanılabilir, fakat bilyaların büyüklüğü ve değirmen hacminin bir kesri olarak bilya yükleme değiştirilmez. Güvenilebilir sonuçlar, bu işlemde elde edilmektedir.

2. 3. 1. 6. Değirmen Etkinlikleri

Silindirik değirmenlerin cevher – öğütme etkinliğini düzenlemek için ileri sürülen kontrol etkenleri aşağıdaki gibidir.

1. Değirmenin hızı, kritik hızın % 85'ine kadar olan doğrudan orantı içinde, kapasiteyi ayrıca iç kaplama ve bilya aşınmasını etkiler.

2. Değirmen hacminin % 50'sine eşit olan bilya yüklemesi, en fazla kapasiteyi verir.
3. Beslemeyi öğütmeden sorumlu en küçük büyüklükde bilyalar, en büyük etkinliği verir.
4. Dalga tipli oluklu iç kaplamalar, işleciler arasında daha iyi bulunmuştur.
5. Sınıflandırıcı etkinlik, çok basamaklı öğütmede daha önemli olur.
6. Daha fazla dolaşan yüklerin, üretimi arttırmaya ve istenilmeyen ince malzeme niceliğini azaltmaya eğilimi vardır.
7. Düşük seviyede veya ızgara boşaltımı, merkez üzerinde veya aşırı akış boşaltım üzerine öğütme kapasitesini arttırmıştır, fakat iç kaplama, parmaklık ve ortam aşınması daha yüksektir.
8. Değirmendeki katıların sıvılara oranı, cevher ağırlığı ve hacimsel ilişki temeli üzerinde düşünülmelidir.

2. 3. 1. 7. Değirmen Koşullu Değişkenleri

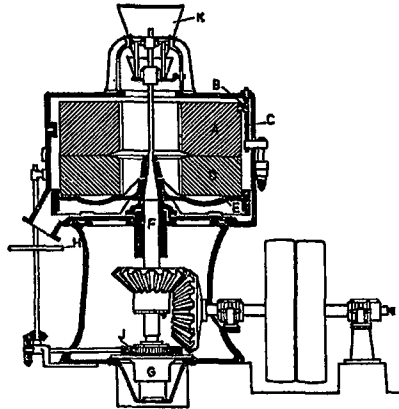
Coghill ve De Vaney tarafından klasik bir araştırmada mevcut olan deneysel kanıt, yazarların aşağıdaki sonuçları çıkarmasına neden olur:

- 1) Cevherli, ıslak – kesikli bilyalı öğütmede, 90 kg. 'dan 160 kg'a kadar olan cevherli yüklemeler [Hareketsiz bilyaların ara boşluklarını doldurmak için yaklaşık 35 kg. cevher'e ihtiyaç duyulmuştur] ve % 30'dan % 80'e kadar olan kritik hızlarda, yavaş hız, yüksek hız gibi aynı öğütme tipini vermiştir. Ağır cevher yüklemeleri, kaba tanelerin hafif yüklemelerden biraz daha fazla bir seçici öğütmesini vermiştir. En iyi kapasiteler, hafif yüklemelerle ve biraz daha iyi etkinlikler, ağır cevher yüklemeleriyle elde edilmiştir.
- 2) Kuru – kesikli öğütmenin özelliklerinden bazıları, ıslak öğütmeninkinden farklıdır. Kuru çalışmada, kapasite dahil etkinlik, hafif cevher yüklemesiyle en iyidir. Güç, değirmendeki cevher niceliğinde bir azalmayla düşmüştür; ıslak öğütmede, değirmendeki cevher niceliğinde bir azalmayla artmıştır. Kuru öğütmede yüksek hız, düşük hızdan daha etkindir.
- 3) Islak ve kuru öğütmeyi karşılaştırma sırasında, tüm grup değişkenlerin sulu uyumluluk (ıslak veya kuru) hariç aynı olması için denemeler eşleştirilir. Cevher yüklemesinin ara seviyedeki bir ağırlığıyla seçimli öğütme aynı derecedendir; ağır bir cevher yüklemesiyle, ıslak öğütme daha etkindir ve hafif cevher yüklemesiyle, kuru öğütme daha seçimlidir.
- 4) Islak ve kuru açık devreli bilyalı öğütmeyi karşılaştırmada, ıslak öğütme % 39 daha fazla kapasite ve % 26 daha fazla etkinlik vermiştir.

- 5) Kuru öğütmeli aşırı akış tipinde küçük bir bilya hacmi, çok fazla cevher değirmende birleştiği için uygun değildir. Cevherin birleşmesi, düşük su seviyeli değirmene benzeterek engellendiği zaman, küçük bilya hacmi iyi iş görmüştür.
- 6) % 60 katı maddelerle, dolomit ($\text{Ca-Mg (CO}_3)_2$) öğütüldüğü zaman aynı bilya büyüklüklü çakıllar, bilyalar gibi hemen hemen aynı iş tipini görmüştür, fakat bu çakıllar, genellikle rengi gri olup, birincil olarak su çözeltilerinden çökelen aşırı derecede küçük kuartz kristallerinden meydana gelen saf olmayan bir kaya'nın seçici öğütülmesinde başarılı değildir. Çakıllar, bilyalarla gösterilen etkinliğin % 81'ini ve kapasitenin yaklaşık % 35'ini vermiştir.
- 7) Sert ve orta sertlikteki cevherler için, tetrahedronlar kaba öğütme için ortam olarak uygun değildir.
- 8) Çok sert nikelli bilyalar, olağan kürelerden daha iyidir; bu, cevher çok sert olduğu zaman, özellikle böyledir.
- 9) Yıpranmış atılan bilyaların etkinliği, yeni küresel bilyalarınkinden yaklaşık % 11 daha azdır.
- 10) 48 – 91 cm boyutlarında küçük bir küreli değirmen, fabrika ölçekli bir değirmenin işini tekrarlamıştır. Denemeler, şu kanaate yol açmıştır; Büyük veya küçük değirmen çeşitlerinin her biri, aynı koşullar altında çalıştırılırsa ve her biri, cevherin bir birimine bir iş birimi uygularsa, büyüklük azalması, ürünlerle gösterildiği gibi, aynı olacaktır; yani sebep ve etki arasındaki aynı ilişki korunacaktır.

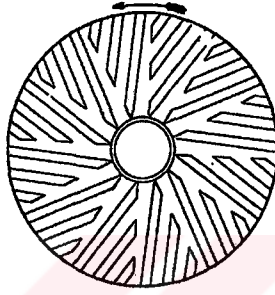
2. 3. 2 Öğütmede kullanılan aygıtlar

2. 3. 2. 1. Taşlı Değirmenler. Halen kullanılmakta olan değirmenlerin en eski tipi belki de taşlı değirmenlerdir. Bugün dahi un değirmenlerinden ve bir kısım tanelerin öğütülmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca boyaların, matbaa mürekkeplerinin, kozmetiklerin ve ilaçların hazırlanmalarında da kullanılırlar.



Şekil 2. 8 Taşlı değirmen: A, üst taş; B, band; C, saplama; D, alt taş; E, alt taş kasnak kolları; F, ana şaft; G, basamaklı yatak; H, ayar çarkı; J, ayar dişlisi; K, doldurma hunisi.

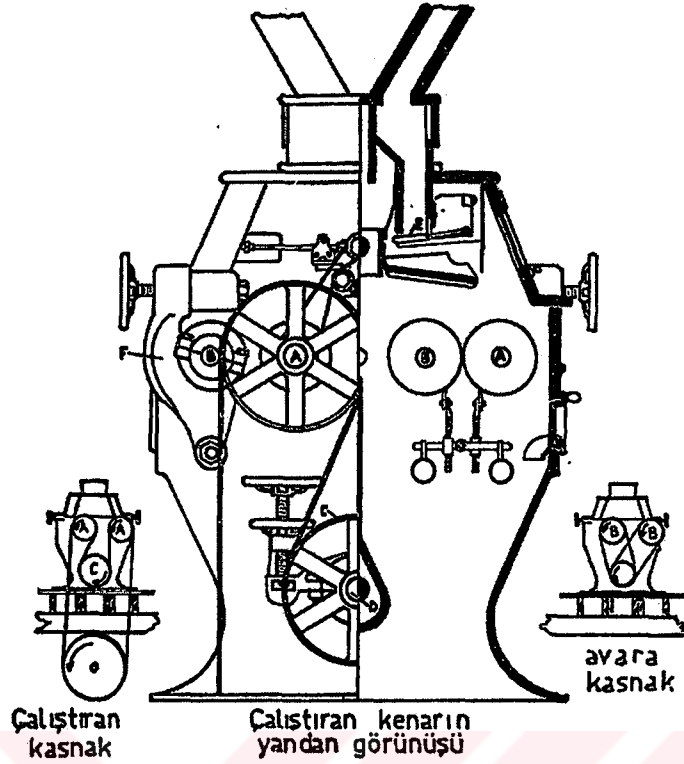
Şekil 2. 8 alttan hareketli bir taşlı değirmeni göstermektedir. Taşlı değirmenler, hareketi sağlayan mekanizmanın bulunduğu yere bakılmaksızın, alt veya üst taşın hareket ettirilmesine bakılarak, alttan veya üstten hareketli olarak bir ayırıma tabi tutulurlar. Şekil 2. 8 de üst taş A, üst çevresinde yer alan ve saplamalara C asılmış olan metal bir band B yardımı ile, muhafazaya bağlanmıştır. Alt taş, kasnak kolları E üzerine de taşınmakta olup; kasnak, basamaklı yatağa G oturmuş bir şaft F tarafından hareket ettirilir. El çarkı H ve sonsuz vida – dişli düzeni J vasıtası ile hareket mekanizmasının tümü, ürünün tanecik büyüklüğünü düzenlemek amacı ile aşağı – yukarı ayarlanır. Madde doldurma hunisine K gönderilir ve iki taş arasındaki yüzeye dağıtılır. Öğütülmesi istenilen madde taşlar arasında ilerlerken yavaş yavaş ufalır ve nihayet şekilde gösterilen bağlantılar yolu ile değirmeni terk eder. Bu cihazlarda kullanılan taşlar, yalnız birkaç yerden çıkarılabilen, özel bir kum taşı cinsidir. Bunlar içerisinde Fransa'nın bazı bölgelerinde yerden çıkarılanlar, en üstün kalitede olanlardır.



Şekil 2. 9 - Değirmen taşının işlenilme yöntemi

Taşlı değirmenlerin bir özelliği de, değirmen taşlarının yüzey işleme metodudur. Değirmen taşı yüzeyine verilen bu şekil, uzun yıllardan beri süregelen olup, kaynağı da bilinmemektedir. Şekil 2. 9 kanalların değirmen taşı yüzeyinde nasıl yer aldıklarını göstermektedir. Üst taş, hem alt ve hem de üst taşın öğütme yüzeyleri duruma hakim olacak şekilde ters çevrildiği zaman, her iki taş üzerindeki kanallar aynıdır. Üst taş yerinde durur ve alt taş döndürülecek olursa, alt ve üst taşların yüzeyleri üzerindeki kanallar birbirini dar açı ile keser. Bu şekildeki kanalların kesim noktaları, taş merkezine yakın bir noktadan başlar ve taş döndüğü zaman çevreye doğru ilerler. Öğütülecek madde daha çok bu kanalları doldurur ve bu sebeple değirmen taşının yaptığı iş, ovalamak şeklinden çok biçmek şeklindedir. Tanelerin (çekirdek veya tohum) taşlı değirmenlerde öğütülmesi hızlı bir şekilde yerini başka öğütme şekillerine terk etmektedir. Bugün taşlı değirmenlerin yerini daha çok modern silindirik değirmenler almaktadır.

2. 3. 2. 2 Silindirik değirmenler. Silindirik değirmenler bugün daha çok, tahıl tanelerinin öğütülerek un haline getirilmelerinde kullanılırlar. Bununla beraber, orta sertlikte olan ve çok ince toz haline öğütülmesi istenilen diğer maddelerin öğütülmeleri için de uygundur. Çünkü bu değirmenlerde öğütme, doğrudan doğruya bastırarak veya ovalayarak parçalamaktan daha çok kesme ile yapılmaktadır. Orta tanecik büyüklüğüne sahip maddelerin çok ince toz haline getirilmelerinde kullanılırlar. Silindirik bir tip şekil 2. 10 de gösterilmektedir. Bu değirmen iki çift silindirden



Şekil 2. 10 Silindirli değirmen: A, hızlı dönen silindirler; B, yavaş dönen silindirler; C, avara kasnağı; D, avara şaftı; E, besleme borusu; F, üç köşeli krank

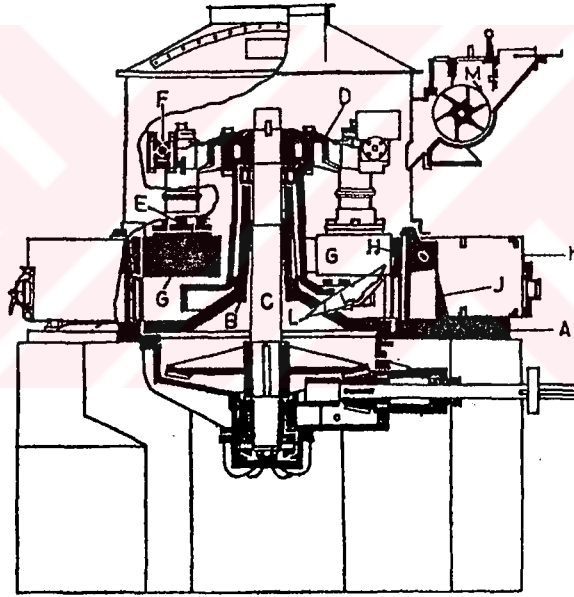
meydana gelmiş olup, her çiftin bir silindiri birbirlerine doğru dönmektedir. Silindirlerin bu hareketi, çokça kullanılan kırma silindirlerinde karşılaşılan, bastırma yerine biçme olayının meydana gelmesine sebep olur. Şekil 2. 10 değirmenin hareketli tarafını, önden ve kesit olarak, yarım yarım göstermektedir. Kasnaklar her iki çiftin hızlı dönen silindirine A bağlanmışlardır. Hareket kayışı bu kasnaklar ve avara kasnağı C etrafında bir dönüş yapar. Bu kasnak, silindir dayanağının zıt yönüne doğru uzanan bir avara şaftını D harekete getirir. Bu avara şaftının diğer ucundan kayış, her çiftin yavaş dönen silindirine B gider. Silindirlerin üzerinde özel bir sallanan besleyici F yer almış olup; öğütülecek maddeyi her iki çift silindire eşit miktarlarda gönderir.

Her silindir çiftinin bir silindiri, sabit bir yatak içerisinde hareket eder. Her silindir çiftinin diğer silindiri, ayarlanabilir üç köşeli krank F üzerine yerleştirilmiş yatak içerisinde hareket etmektedir. Bu üç köşeli kranklar, alt kısım da bir mile bağlanmış olup; üst kısımdan, bir el çarkı ve vida ile ayarlanabilmektedir. Bu suretle, silindirler arasındaki açıklık ve dolayısı ile maddenin her geçişteki ufalanma derecesi, düzenlenebilmektedir.

2. 3. 2. 3 Santrifüj değirmenler. Santrifüj değirmenler olarak sınıflandırılan değirmenlerde öğütme, bir veya birkaç döner öğütme taşı tarafından yapılır ve bunlar, öğütülecek madde üzerine kısmen veya tamamen santrifüj kuvvetten oluşan bir basınç yaparlar. Bu tip değirmenler, kömür gibi kırılğan maddelerden sert kaya ve çimento klinkeri gibi maddelere kadar, değişik sertlikteki maddelerin ince bir şekilde öğütülmelerinde kullanılmaktadır. Bu değirmenlerin bir tipi, - Raymond değirmeni (Şekil 2. 11) - öğütme ve hava seperatörü kısımlarını bir ünite içerisinde toplamış bulunmaktadır. Temeller üzerinde oturtulmuş ana taban dökümü A, içerisinden düşey

hareket şaftının C geçtiği, merkezi ve dik bir kovan taşımaktadır. Bu şaft alt kısmında kendisine hareket veren bir yatağa oturtulmuş olup; bir çift konik dişli ve karşılık mili tarafından döndürülür. Bu şaftın üst tarafına, iki veya daha fazla kolu olan bir başlık D geçirilmiş olup; her kol, bir boyunduruk içerisinde son bulmaktadır. Bu boyundurukların her birinin içerisine düşey bir şaft E asılmış olup; bunlar, boyunduruğun deliğinden geçen kısa ve yatay bir şaft F ile millenmişlerdir. Düşey şaft alt tarafında, manganlı çelik veya soğutulup sertleştirilmiş dökme demirden yapılmış, bir öğütme başlığı veya öğütme taşı G taşımaktadır. Öğütme başlığı düşey şaft E etrafında dönme serbestliğine sahiptir. Aynı zamanda bütün takım, boyunduruğun ucundaki yatay şaft F etrafında da dönebilmektedir. Esas mil başlığı ile birlikte döndüğü zaman, öğütme başlıkları ara halkası H üzerine bastırılır. Ara halkası, ana taban dökümü tarafından taşınmakta olup, değiştirilebilir dövme demirden yapılmıştır. Yukarıda açıklamaları yapılan bütün kısımların projeleri, yatay yüzeyleri tozlanmayacak şekilde, dikkatle hazırlanmalıdır.

Ara halkasının altına rastlayan taban dökümü çevresinde, içeriye doğru yönelmiş kanatları J bulunan bir seri açıklık vardır ve bu açıklıkların etrafı, içerisine orta derecede basınca sahip havanın gönderildiği, levha şeklindeki muhafaza K ile çevrilmiştir. Hava değirmen içerisinde aşağıdan yukarıya doğru

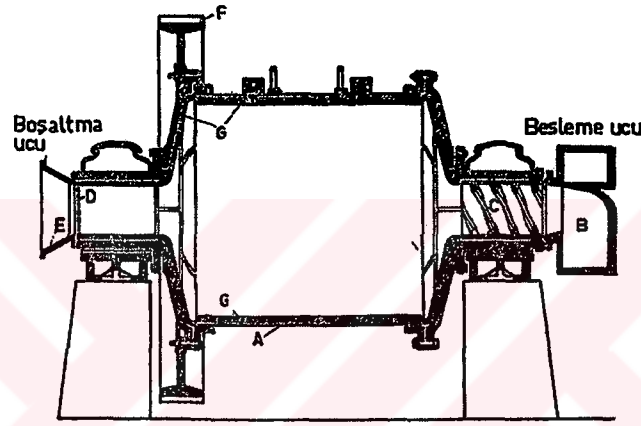


Şekil 2. 11 Raymond değirmeni: A, ana taban dökümü; B, düşey kovan; C, hareket şaftı; D, başlık kolları; E, öğütme taşı şaftı; F, yatay şaft; G, öğütme taşı; H, ara halkası; J, kanatlar; K, levha halindeki metalden muhafaza; L, kürekler; M, besleme çarkı.

geçmekte ve bu esnada, suspansiyon haline gelebilecek kadar ufaltılmış parçaları da birlikte sürüklemektedir. Muhafazanın üst kısmında toplanan hava bir seperatöre gönderilir. İnce toz haline gelmemiş kısımlar alt kısma düşer ve kürek L tarafından alınarak tekrar ara halkasının üzerine atılır. Maddenin tümü, hava tarafından sürüklenilecek incelikte bir toz haline gelinceye kadar, madde değirmen içerisinde kalır. Havanın miktarını düzenleyerek, maddenin öğütülme inceliğini düzenlemek mümkündür. Değirmenin muhafazası atmosfer basıncından büyük bir basınç altında olduğu için, madenin değirmen içerisine gönderilmesini sağlayacak özel bir cihaza

ihtiyaç vardır. Bu, şekilde gösterildiği gibi besleme hunisi ve döner dişli çark M tarafından sağlanır. Döner dişli çark hem maddenin muntazam bir şekilde değirmene girmesini sağlar ve hem de bu yolla, hava – öğütülmüş madde suspansiyonunun dışarı kaçmasını önler.

2. 3. 2. 4 Bilyalı değirmenler. Maddenin ince bir toz haline getirilmesi için kullanılan ve büyük önem taşıyan bir değirmen sınıfı da bilyalı değirmenlerle, boru değirmenleridir. İki tip arasındaki esas fark, uzunluğun çapa oranının bu iki değirmende birbirlerinden farklı olmasıdır. Bilyalı değirmende değirmen uzunluğu, yaklaşık olarak değirmen çapına eşit olduğu halde; boru değirmeninde değirmen uzunluğu, değirmen çapının iki katı kadar veya daha fazladır. Her iki tip de esas olarak yatay bir şekilde dururlar; çakmaktaşı, çelik veya diğer bir maddeden yapılmış bilyaları vardır ve eksenleri etrafında yavaş bir şekilde dönerler. Öğütülmesi istenilen madde değirmenin bir ucuna girer ve bilyaların çarpması sonucu ince toz haline öğütülür.



Şekil 2. 12 Bilyalı değirmen: A, Muhafaza; B, besleme kovası; C, besleme spirali; D, boşaltma eleği; E, boşaltma hunisi; F, hareket dişlisi; G, iç kaplama.

Bilyalı değirmenler. Şekil 2.12 bir bilyalı değirmen kesitini göstermektedir. Değirmen esas olarak, yatay duran ve uzunluğu hemen hemen çapına eşit olan, bir silindirden A ibarettir. Bu silindirin iç kısmı aşınmaya dayanıklı bir malzeme G ile kaplanmıştır. Şeklin sağında yer alan besleme ucu, helezonu bir besleme kovasından B meydana gelmiş olup; öğütülecek maddeyi önce besleme spiriline C ve sonra da değirmenin içerisine gönderir. Bilyaların sayısı, bilya büyüklüğü, silindirin dönme hızı ve besleme debisi kontrol edilmeleri gereken faktörler olup; bunlar kontrol edildiği takdirde, boşaltma eleği D ve boşaltma hunisini E terk eden madde istenilen derecede öğütülmüş olur. Boşaltma eleği, oldukça kaba dokunmuş bir elektir ve görevi, henüz öğütülmemiş taneciklerin değirmen içerisinde tutulmasını sağlamak olmayıp, herhangi bir şekilde değirmenin boşaltma yapan ucuna kaçan bilyaların tekrar silindir içerisine dönmelerini sağlamaktır. Değirmen F dişlisi tarafından döndürülür ve çalışmakta olan bir değirmen, çeşitli büyüklükte bilyalara sahip olabilir. Bilyalar değirmene konduklarında çeşitli büyüklükte değillerdir fakat zamanla meydana gelen aşınmalar sonucunda bu değişme olur. Bu sebeple bilyalı değirmenlere zaman zaman yeni bilyalar konulmalıdır.

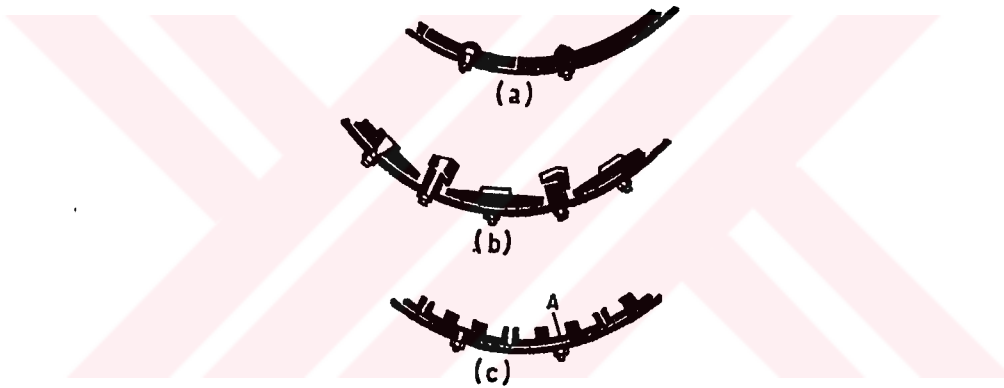
Değirmen daha yüksek hızla döndürülecek olursa, daha fazla güce ihtiyaç duyulur fakat buna karşılık, belirli bir kapasiteye ait kapasite yükseltilmiş olur. Ayrıca

küçültülmesi, ürünün daha ince toz edilmesine sebep olur. Son olarak, besleme debisinin artırılması ürün debisinde artmaya sebep olursa da, değirmen iri tanecikli ürün verir.

Bilyalı değirmenlerin iç kaplamaları basit, pürüzsüz silindirik kaplama veya basamaklı kaplama şeklinde olabilir. Bu değirmenler yaş veya kuru olarak çalıştırılabilirler.

Bir boru değirmeni genel olarak bir bilyalı değirmen gibi çalışır yalnız, boru değirmenin uzunluğu çapından daha büyüktür. Ayrıca, metal bilyalardan çok çakmaktaşı çakılları ile doldurulur ve bunların ortalama büyüklüğü bilyalı değirmenler için kullanılanlara oranla daha küçüktür. Bilyalı değirmenler için söylenmiş herşey aynen boru değirmenlerine uygulanır, yalnız boru değirmeni bilyalı değirmenden daha ince taneli bir ürün verir. Boru değirmenleri sert kayaların ve portland çimentosunun öğütülmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bunun başlıca sebebi, yavaş hızla çalışmaları ve yapılarının basit olmasıdır.

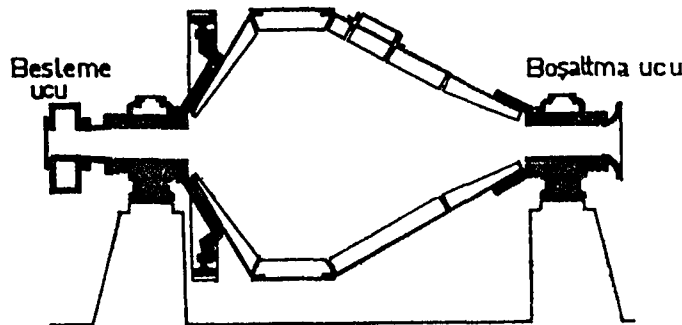
Boru değirmenlerinin iç kaplamaları çok çeşitli olabilir. Şekil 2. 13, bunlardan üç örnek göstermektedir. Dış muhafazanın devamlı olmasına karşılık, iç kaplama aşındıkça değiştirilir. c ile



Şekil 2. 13 Boru değirmeni iç kaplamaları.

gösterilen yapıda, çakıllar A aralıklarından girer ve gerçek bir aşınma yüzeyi meydana getirir. Çakıllar kırılıp dışarı döküldükçe, yenileri konur.

Boru değirmenin değişik bir şekli çubuk değirmeni adını alır ve bu değirmenlerde öğütücü bilya ve çakılların yerini, boru eksenine paralel çubuklar almışlardır.

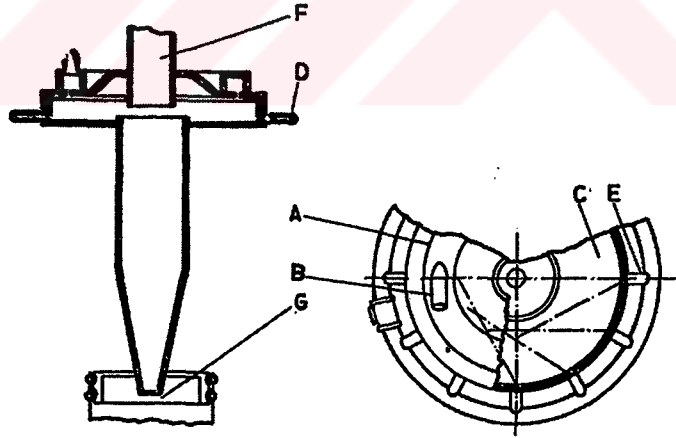


Şekil 2. 14 Hardinge değirmeni.

Bilyalı değirmenlerin ve boru değirmenlerinin değişik bir şekli Hardinge değirmeni adını alır. Bunun bir örneği şekil 2. 14 de gösterilmektedir. Zamanla meydana gelen aşınmalar sebebi ile, değirmenin çeşitli büyüklükte bilyalarla doldurulması, bu değirmenlerin esas prensibini teşkil eder. Böylece büyük ve küçük bilyalar birbirlerinden ayrılır ve küçük bilyalar, değirmenin boşalma yapan ucunda yer alarak, ürünün daha ince bir şekilde öğütülmesini sağlarlar. Değirmenin boşalma yapan ucunu konik yaparak bu husus sağlanır. Değirmen otomatik olarak küçük bilyaları büyük bilyalardan ayırır ve onların boşalma yapan konik uça toplanmalarını sağlar. Bu esnada büyük bilyalar değirmenin besleme yapılan silindirik kısmında toplanırlar.

2. 3. 2. 5 Aşırı derecede ince öğütülmüş ürün veren değirmenler. Kırma ve öğütme makinalarını, mineral hazırlama pratiği yönünden, bir karşılaştırma yapmak eğilimi vardır. Bunun sebebi sadece, bu alanda çok sayıda makine kullanılması olmayıp; aynı zamanda, makinaların çalışmaları ile ilgili muazzam miktarda bilginin var olmasıdır. Kayaların öğütülmesinde kullanılan makinalar, kimya mühendisliği alanında karşılaşılan operasyonların isteklerine cevap vermekten uzaktırlar. Diğer bir sınıfı teşkil eden öğütme cihazları, metalurji proseslerinin gerektirdiğinden, daha ince öğütülmüş ürün verebilirler. Kimya mühendisliğinin bir kısım alanlarında maddenin 200 meşe kadar öğütülmüş olması yeterli değildir, 5 mikron veya daha küçük tanecikler istenilebilir. Bu şekildeki cihazlar, büyük tonajdaki maddelerin öğütülmesinde kullanılmazlar fakat, çalışmaları çok önemli olabilir. Bu makinalara bazen kolloid değirmenleri denildiği olur.

Bu sınıfı teşkil eden değirmenlerin bir temsilcisi mikronizör (şekil 2.15) adını alır. Öğütme, yüksek hızda çarpma ile meydana getirilir; yüksek hız ise, akışkan jetleri ile sağlanır. Hava veya su içerisinde suspansiyon haline getirilmiş öğütülecek madde, bir besleme halkası A yolu ile cihaza verilir ve teğetsel



Şekil 2. 15 Mikronizör: A, besleme halkası; B, teğetsel besleme nozulları; C, öğütme odacığı; D, hava emme halkası; E, hava nozulları; G, ürün çıkış borusu

nozullar B tarafından öğütme odacığına C gönderilir. Problemin özelliğine göre su buharı, hava veya su, D halkası yolu ile E nozullarına gönderilir ve nozullardan, çok yüksek bir hızla dışarı çıkarlar. Akışkanın fazlası F yolu ile, ürün ise G yolu ile cihazı terk eder[9].

2. 4. Çimentonun sınanmasında kullanılan yöntemler

Federal Almanya Cumhuriyetinde kullanılan çimentolar için standart sınama gereksinimleri, DIN 1164'de, kısım 3 ila 8 arasında belirtilir.

Bu sınamalar, bileşim (kısım 3), incelik (kısım 4), donma zamanları (kısım 5), genleşmezlik (kısım 6), dayanım (kısım 7) ve hidratasyon ısı (kısım 8)dir.

2. 4. 1. İncelik

Bu standarda uyan bir çimento, 0,2 mm'lik deneme eleğinde ağırlıkça % 3'den fazla bir artık bırakmamalıdır. Hava geçirgenliği yöntemiyle belirlenen özgül yüzey, 2200 cm²/g'dan, özel durumlarda ise 2000 cm²/g'dan az olmamalıdır.

2. 4. 1. 1. Elek artığı

Kaba tanelerin niceliği, elle veya mekaniksel elemeyle 0,2 mm gözenek büyüklüğünde bir deneme eleği üzerinde geriye kalan artık olarak belirlenir. Bu elek denemesi için örnek, 100 ± 0,100 g kuru çimentodur. Elemanın 2 dk boyunca devamı üzerine artık % 0,1'den fazla azalmadığı zaman, eleme işlemi durdurulur. Elek üzerinde kalan nicelik, başlangıç örneğine göre ağırlıkça % olarak ifade edilir.

2. 4. 1. 2. Özgül Yüzey

Cm²/g biriminden çimentonun özgül yüzeyi, bir çimento yatağının hava geçirgenliği, gözenekliliği, çimentonun özgül ağırlığı ve havanın akamazlığından çözümlenir. Geçirgenliğin ölçüsü, belli bir hava niceliğinin, belirli koşullar altında, yatağın içerisinden akması için gerekli zamandır.

Denemeyi gerçekleştirmek için önceden belirlenmiş bir çimento niceliği, tek tipli bir alet içine konur ve önceden belirlenen bir hacme yavaşça sıkıştırılır. Aşağı düşen bir sıvı sütunuyla meydana gelen emmeyle, hava, çimento yatağı içerisinden çekilir. Cihazın U-borusundaki sıvı seviyesinin belli bir işaretlenmiş mesafeye düşmesi için gerekli zaman, ölçülür. Bu zaman, çimentonun inceliğinin bir ölçüsüdür; çimento ne kadar ince ise, havanın yatak içerisinden geçmesi o kadar uzun zaman alacaktır ve bunun terside geçerlidir.

Özgül yüzey, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$O_{sp} = \frac{K \cdot \sqrt{e^3} \cdot \sqrt{t}}{\rho \cdot (1 - e) \cdot \sqrt{10\eta}}$$

Burada:

O_{sp} = özgül yüzey (cm²/g)

e = Hacimce bölümsel gözeneklilik

t = Hava akış zamanı (sn)

ρ = Çimentonun özgül gravitesi

η = Havanın dinamik akamazlığı (Pa. Sn)

K = Cihaz değişmezi

2. 4. 2. Donma Zamanları

Açıkça harcı kullanma veya beton'u yerleştirme üzerine yeterli zamanı sağlamak için, çimento, çok hızlı olarak donmamalıdır. DIN 'e göre, standart çimentolar karıştırıldıktan sonra 1 saat'ten önce donmaya başlamamalıdır ve donma, karıştırıldıktan sonra 12 saat'ten önce tamamlanmalıdır.

Donma zamanları (ilk ve son donma), temiz bir çimento hamuru üzerinde Vicat'ın iğne düzeneğiyle belirlenir: Çimento, 1 mm'lik bir deneme eleğinden geçirilir ve 500g'lık bir nicelik, standart iki hızlı bir karıştırıcıda toplam 3 dk. boyunca, ilgili çimento tipine bağlı olarak, ağırlıkça %25 – 30 su ile karıştırılır. Çimento hamurunun belli bir ölçümdeki kıvamı, inceleme altındaki çimentoyu uygun hale getirmek üzere karışım suyu niceliğinin değiştirilmesiyle elde edilmelidir. Bu kıvam, ebonit bir halka ve bir cam levhadan meydana gelen kalıp içine çimento hamurunu yerleştirerek ve çimento hamur örneğinin üst yüzeyine uygulanan bir çubuğun girme derinliğini belirleyerek bulunur. Eğer gerekli ise, karışım suyu niceliğini değiştirmeye deneme ve yanılma yoluyla bulunabilen standart kıvam elde edildiği zaman, başlangıç ve son donma zamanı, Vicat cihazının iğnesiyle belirlenebilir. İğne, kalıbın tabanından 3 ila 5 cm'lik bir mesafeye girdiği yani cam levha üzerindeki bu mesafede hamura saplanmış kaldığı zaman, başlangıç donmanın meydana geldiği kabul edilir. Son donmayı belirleme için, örnekle kalıp cam'dan uzaklaştırılır ve ters yönde tekrar yerleştirilir.

İğne, örneğe 1 mm'den az girdiği zaman, son donmanın meydana geldiği kabul edilir. Her iki denemede, yani başlangıç ve son donma zamanı için, iğnenin girmesi, 10 dk arayla ölçülmelidir.

2. 4. 3. Genleşmezlik

Genleşmezlikten, çimentonun değişmez bir hacmini koruma yeteneği anlaşılır. Dolayısıyla, bir çimento, sertleştikten sonra, sertleşmiş hamuru çatlatabilen, gevşetebilen ve parçalayabilen genleşme etkilerinden bağımsız olursa, genleşmez olarak kabul edilmektedir.

Genleşme, yani hacim kararlılığı eksikliği, magnezya genleşmesine neden olan yüksek serbest MgO niceliğiyle (DIN 1164'e göre MgO niceliği ağırlıkça % 5'i geçmemelidir), sülfat genleşmesine neden olan aşırı sülfatla ve büyük serbest CaO nicelikleriyle (kireç genleşmesine neden olan birleşmemiş kireç; bu, kaynama denemesiyle gözlenir) meydana gelir. DIN 1164, Bölüm 6'da belirtilen genleşmezlik için deneme, kaynama denemesidir ve geriye kalan çimento hamuru veya tersine bu amaç için hazırlanan aynı kıvamda hamur kullanarak donma denemesiyle aynı zamanda gerçekleştirilir. Bu örneğin yarısı, 24 saat boyunca ≥ 90 % görece nemlilik'te donması ve sertleşmesi sağlanan yaklaşık 10 cm çapında ve 1 cm kalınlığında bir şekil haline yayılması için bir çam levhanın merkezine yerleştirilen bir yığın haline getirilir ve yavaşça titreştirilir. Sonra örnek, 2 saat boyunca kaynatılır. Eğer çatlama veya biçim değiştirme meydana gelirse, çimento, bu denemeyi yerine getirememiş olarak kabul edilmelidir. Fakat eğer örnek keskin kenarlı olursa, çatlaklar içermezse ve büyük ölçüde biçim değiştirmezse (> 2 mm), bu denemeyi yerine getirmiştir yani genleşmezdir. ASTM C 151-76 a'ya göre daha net olarak basınçlı kap (otoklav)

denemesi, çok fazla serbest kireç nedeniyle genleşme dahil magnezya genleşmesi için bir ölçüttür.

2. 4. 4. Dayanım

Dayanım sınıflarına bağlı olarak, bir çimento, Tablo 2. 4'de sıralanan basınç dayanımlarını elde etmelidir. Bu değerler, 6 yarım deneme prizmaları üzerine olan denemelerden elde edilen ortalamalardır. Bu deneme işlemi, ISO – RILEM – CEM yöntemi olarak bilinir.

Bu işlem, 4 cm x 4 cm x 16 cm boyutlu harç prizmalarda yapılır. Harç, çimento, standart kum (Eşit oranlarda 0,08 – 0,5 mm, 0,5 – 1,0 mm ve 1,0 – 2,0 mm'lik tane kesirlerini içerir) ve su'dan meydana gelir.

Çimento, kum ve su oranları, sırasıyla 1: 3: 0,5 'dir. Bu prizmaları yapmak için nicelikler, 450 g çimento, 1350 g kum, 225 g su'dur. Harç, iki hızlı standart bir karıştırıcıda karıştırılır, çelik kalıplar içine yerleştirilir ve titreşen bir tablo'da sıkıştırılır. Harç prizmaları içeren kalıplar, 1 gün boyunca ≥ 90 % bağıl nem'de bekletilir, sonra prizmalar dikkatlice kalıptan dışarı çıkarılır ve deneme zamanına kadar $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'daki su içinde tutulur.

Eğilme dayanımı, standartta belirtilen bir düzenek vasıtasıyla en az 3 prizma örneğini ortadan kırarak belirlenmelidir.

Basınç dayanımı, eğilme denemesinde kırılan prizmalardan 6 yarısı üzerinde hemen sonra belirlenir. DIN 1164'e uyan basınç belirleyici cihaz, değişmez gereksinimleri sağlamalıdır.

2. 4. 5. Hidratasyon Isısı

Düşük hidratasyon ısıları özel uygunlukta çimentoların, suyla karıştıktan sonra ilk 7 gün içinde 1 gr. çimento başına 270 J'dan fazla ısı oluşumuna izin verilmemelidir. Bunlar, daha belirgin olarak, eğer olağan çimentoyla yapılırsa, gerilimlere ve çatlamalara neden olan sıcaklıktaki aşırı bir yükselmeye uğrayabilen sıkı beton yapıları için kullanılır. Düşük ısıları çimentolar, başlıca yüksek dikalsiyum silikat nicelikli ve daha düşük bir trikalsiyum silikat ve/veya trikalsiyum alüminat nicelikli portland çimentoları ve büyük yüksek fırın cürufu nicelikli cüruf çimentolarıdır. Çimentoların hidratasyon ısıları için değerler Tablo 2. 7'de verilmiştir.

Tablo 2. 7. Çimentoların hidratasyon ısıları (Temel değerler)

Çimento	7 gün'deki hidratasyon ısıları (J/g)	Tam hidratasyon
Portland çimentosu	–	380 – 525
Eisen/Hochofen çimentosu	–	360 – 440
Traslı çimento	–	340 – 420
Düşük ısıları çimento	< 270	–

DIN 1164, Bölüm 8'e göre, Hidratasyon ısısı, çözünme ısını belirleyen kalorimetreyle bulunur. Bu standartta belirtildiği gibi, "bu yöntem, bir çimento eş-sıcaklık koşulları altında hidratasyona uğradığı zaman, açığa çıkan J/g cinsinden özgül ısının belirlenmesi için kullanılır. Belirli bir asit karışımında, 20°C'da hidrate olmuş örnek dahil hidrate olmamış çimento örneğinin çözünme ısısı ölçülür. Su – çimento oranı $w/c=0,4$ 'dür. İki çözünme ısısı arasındaki fark, hidratasyon ısısıdır. "

Deneme düzeneği, yardımcı parçaları (termos, karıştırıcı, huni, vs.) ile beraber çözünme ısını belirleyen bir kalori ölçer, resmi olarak ayarlanmış bir Beckmann ısı ölçeri ve uygun bir asit karışımını (nitrik asit + hidroflorik asit) içerir. Çimento hamur örnekleri (karışım oranları, karışma işlemi ve sıcaklık, belirlidir) 20°C $\pm$ 0,5°C'da su banyosunda bekletilir. Hidrate olmamış ve hidrate olmuş çimentonun çözünme ısıları, örnekler çözüldüğü zaman (deneme, değişmez sıcaklıktaki çevrede yapılmalıdır) sıcaklıkta meydana gelen artıştan ve CaO niceliğinin belirlenmesinden veya eğer uygulanabilirse kızdırma kayıplarından belirlenir. Deneme verilerinden çözünme ısını hesaplama için formüller standartta verilmiştir. Bu, ayrıntılı bir işlemdir.

3. Malzeme ve Yöntem

3. 1. Klinker

Bu çalışmamızda, Akçansa fabrikasında üretilen, döner fırından çıkan 4–10 mm büyüklüğünde klinker kullanıldı.

3. 2. Alçıtaşı

Akçansa fabrikasındaki alçıtaşı kullanıldı.

3. 3. Kum

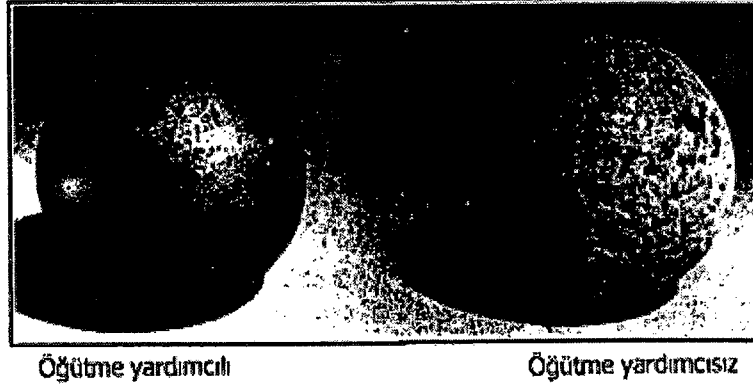
Rilem Cembureau Standart Kumu (Set Çimento Sanayi ve Ticaret A. Ş. , Trakya Çimento Fabrikası) kullanıldı.

3. 4. Öğütme Yardımcı Maddeleri

Burada, öğütme yardımcıları hakkındaki düşüncelerden bahsetmek istiyorum.

Öğütme yardımcıları, öğütme malzemelerinin kaplanmasını önlemek, verilen bir öğütme inceliğini veya üretimi gerçekleştirmek üzere gerekli enerjiyi azaltmak için klinker öğütmede kullanılır. Massazza ve Testolin, bu maddelerin kullanımını incelemiştir. Bunlar, aminler ve polihidrik alkollerin en etkin ve ilave edilen niceliklerin, klinker ağırlığı başına genellikle % 0,01 – 0,1 olduğu değişik türde yüzey aktif maddelerdir. Yeni, başlangıç halindeki çok küçük çatlakların azalmasını önleyerek kırılmaya yardımcı olduğu da öne sürülmesine rağmen, başlıca yığılmayı azaltarak etki ederler. Donma zamanları, başlangıç dayanımı ve diğer özellikler üzerine etkide çelişkili raporlar vardır. Öğütme yardımcıları, net bir biçimde susuz evrelerle tüketilir ve en etkinlerinin başlıca veya tamamen hidratasyon ürünleriyle tüketilen geciktiricilerden ve su azaltıcılardan farklı kimyasal tipte olduğu önemlidir.

Öğütme yardımcılarının etkisi, tanelerin kuru dağılımına neden olduğu kabul edilen yükler gibi, çimento tanelerinin elektrostatik yüzey yüklerindeki bir değişimle açıklanır.



Şekil 3. 1 - Öğütme yardımcılarının bilya sarılması üzerine etkisi

Şekil 3. 1, zayıf öğütme koşullarına ve buna bağlı olarak üretimdeki azalmaya yol açan bilya kaplanmasını gösterir.

Görece yumuşak ve esnek olan bilya kaplama, çarpmayı büyük oranda indirger ve daha az bir dereceye kadar aşınmayı dolayısıyla değirmen öğütme etkinlikleri ve üretim hızlarını azaltır. Bilya kaplanmasını önlemede etkin bir öğütme yardımcısının etkisi, 24 saat boyunca öğütme yardımcısının sürekli ilavesinden sonra aynı değirmenden alınan, yine Şekil 3. 1'deki temiz öğütme bilyasıyla gösterilir. Bunun yanında, öğütme yardımcıları, bilya kaplanması olmadığı zaman bile çarpmanın, aşınmalı öğütmeye oranını arttırmak üzere etki ettiği için ve ısı oluşumunda daha büyük enerji girişi kaybindan dolayı sürtünmeli öğütme daha az etkin olduğu için, daha az bir dereceye kadar değirmen üretim hızlarını arttıracaktır[10].

Öğütme yardımcıları, belirgin olarak daha yüksek incelik aralıklarında (ölgül yüzey $> 3500 \text{ cm}^2/\text{g}$) çimentoların öğütülmesi için son 20 sene boyunca Almanya'da kullanılmaktadır. Öğütülen çimento daha ince olduğu için, kullanışlılıkları daha büyüktür. Eşit çimento inceliği için, öğütme yardımcıları bazen değirmen çıkışını önemli ölçüde arttırabilir(Tablo 3. 1). Bununla birlikte bu maddeler, çimentoyla yapılan betonda zararlılığına göre uygun olarak kontrol edilmelidir; daha kesin olarak, betonarme çeliğin korozyonunu engellemelidirler ve bu etkiye göre bir belge, öğütme yardımcısı üreticileri tarafından verilmelidir. Portland çimentosunun öğütülmesiyle bağlantılı olarak bu maddelerin yararlı etkisi bilinirken, cürufu çimentoların öğütülmesinde görece olarak az bir öneme sahiptirler.

Tablo 3. 1. Öğütme yardımcılarının kullanılmasının bir sonucu olarak son öğütmeli değirmenlerin çıkışındaki ortalama artış (Schneider, 1969)

Çimento	Ölgül yüzey cm^2/g	Üretimdeki artma %	% katkı niceliği
PZ 35	2400 – 3000	< 10	0,01 – 0,03
PZ 45	3000 – 4000	10 – 30	0,02 – 0,06
PZ 55	4000 – 5000	25 – 30	0,04 – 0,1

Belirli olarak etkin öğütme yardımcıları, glikoller (örneğin, etilen glikol, propilen glikol) ve etanol aminler (örneğin, trietanol amin)'dir. Kural olarak, ağırlıkça % 0,005'den daha az niceliklerde katılırlar. Trietanol amin'in daha fazla katılması (ağırlıkça % 0,2'nin yukarısında), başlangıç dayanımını düşürebilir, fakat karşıt olarak 28 günlük dayanım etkilenmez, Öğütme yardımcılarının, betonun uzun dönemli davranışını zayıflatmadığı kabul edilmektedir.

Islak öğütmede, incelenmekte olan çeşitli kuramlar vardır. Rehbinden kuramı, malzemelerin sertliği ve dayanımının, yüzey enerjisindeki azalmalardan dolayı yüzey aktif türünün adsorbsiyonuyla azaldığını ifade eder. (Rehbinder Etkisi: Çimento öğütmede, kırılma olmayan kalıcı biçim değiştirme en ince tanelerde meydana gelir ve ilaveten toplu öğütme sırasında yığılma ve kekleşmeyle artar. Üç etken, azalmış öğütme kinetiklerine katkıda bulunur: Varolan yapı bozukluklarının azalması, en küçük tanelerin kalıcı biçim değiştirmesi ve ufaltma ve yığılma arasındaki denge. Deneyler, SiO_2 , kireçtaşı ve çimento klinkeri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yukarıdaki süreçler üzerine yüzey aktif maddelerinin etkisi, Rehbinden etkisiyle açıklanır. Yüzey aktif maddeleri, kekleşme ve yığılma görüngüsünü ya geciktirir ya da yok ederler[11]).

Fakat delik açma hızında gözlenen değişimler, yüzey aktif maddelerinin sağlayabildiği yüzey enerjisindeki az değişimlerle meydana gelmek için çok fazladır. Westwood'a göre, katkılar yakın yüzey yapısını değiştirebilir ve dolayısıyla yakın – yüzey kalıcı akışı ve kırılma davranışını etkileyebilir. Bu kuramlar, delik açma için geçerli olabilir, fakat bu kuramları öğütmeye uygulamak için kanıt çok seyrektir. Bilyalı öğütmeye uygulanabilen başka bir kuram, ilavelerin, tanelerin birleşme durumunu azalttığı ve çarpmaya daha duyarlı yaptığıdır. Bu katkılar, ya adsorbe olmuş iyonik moleküller nedeniyle elektrostatik itmeye ya da taneler üzerinde adsorbe olmuş uzun zincirli polimer moleküllerinin, diğer tanelerin yaklaşmasını önlemek üzere üç boyutlu engeller olarak rol oynadığı sterik engelli itmeye etki edebilir. Elektrostatik etki, zeta potansiyelini ölçerek bulunabilir, fakat öğütme üzerine zeta potansiyelinin etkisinin ölçümleri kesin değildir. Hatta sterik etkileri ölçmek daha zordur. Katkılar, sluri akma özelliğini veya bilyalara göre tanelerin yerleşimini değiştirerek ıslak kürelili öğütme hızını değiştirebilir.

Birçok deneysel inceleme, kuru öğütmenin bilya kaplamayla sınırlandığı ve katkılarının kaplamaya eğilimi azaltarak iş gördüğü çıkarımına neden olur. Malzemelerin büyük kısmı, eğer yeteri kadar ince öğütülürler ise kaplarlar ve daha yumuşak malzemeler, sert olanlardan daha büyük hacimlerde kaplarlar. Yumuşak alçı taşının % birkaçından daha fazlasının varlığı, çimento – klinker öğütmede küre kaplanmasını artırır. 35 mesh'in yukarısındaki kaba tanelerin büyük bir niceliğinin varlığı, kaplamayı engeller. Bilyalar, çizilirken daha uygun olarak kaplanırlar. Küçük nem nicelikleri, bilya kaplamayı artırabilir veya azaltabilir ve kuru malzemeler de kaplamaya neden olur.

Öğütme yardımcıları olarak kullanılan malzemeler, grafit gibi katıları, yağlı sıvı malzemeleri, uçucu katıları ve buharları içerir. Buharların karmaşık etkileri yoğun olarak incelenmektedir, fakat su, gerçekte kullanılan tek buhardır.

Kuru öğütme için en etkin ilave, metil silazan'la tepkimeye giren dumanlı silika'dır.

Aşağıda kullandığımız 4 madde (ayçiçek yağı asidi, laurik asit, miristik asit ve stearik asit), Alemdar San. Ürn. Paz. A. Ş. 'den alındı.

3. 4. 1. Ayçiçek yağı asidi

Rengi (Lovibond, 5 ¼ kab) 2,5 kırmızı / 25,0 Sarı, asit değeri 192 – 202, sabunlaşma değeri 193 – 203 ve iyot değeri 118 – 140 olan ayçiçek yağı asidi kullandık.

3. 4. 2. Laurik Asit

Rengi (Lovibond, 5 ¼ kab) 0,4 Kırmızı / 4,0 Sarı, asit değeri 276 – 282 ve iyot değeri 0,2 olan % 98'lik Laurik asit ($\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{10} - \text{COOH}$) kullandık.

3. 4. 3. Miristik Asit

Renk (Lovibond, 5 ¼ kab) 0,4 kırmızı / 4,0 Sarı, asit değeri 245 – 249 ve iyot değeri 0,5 olan % 98'lik Miristik asit ($\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{12} - \text{COOH}$) kullandık.

3. 4. 4. Stearik Asit

% 90'lık Stearik asit ($\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{16} - \text{COOH}$) kullandık.

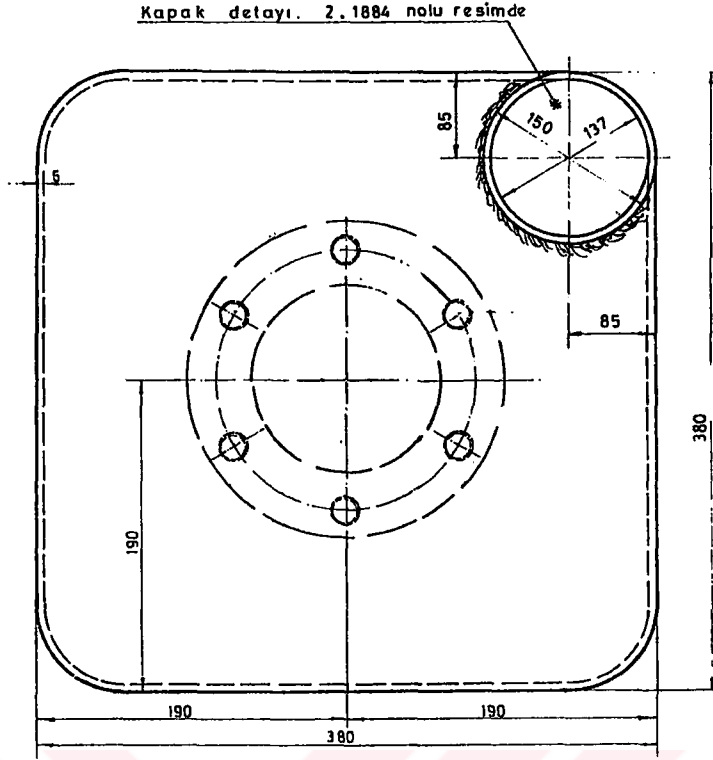
3. 4. 5. Oleik Asit

Ayçiçek yağı asidinde % 22,8 oranında bulunan oleik asit

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{COOH}$ kullandık.

3. 5. Denemenin Yapılması

Değirmen'e (Şekil 3. 2) % 95 klinker (1900 g) ve % 5 alçı taşı (100 g) karışımı (toplam 2 kg ana madde) konuldu ve içine belli oranlarda yardımcı madde karıştırılarak elde edilen ürünler oda sıcaklığında, aynı koşullar altında (ağırlık = 2 kg ana madde, bilya dolum oranı = % 17, devir sayısı = 47 devir/dk, öğütme süresi = 45 dk.) öğütülerek donma süreleri (Vikat), Hacim değişmezlikleri, incelikleri, özgül ağırlıkları, özgül yüzey ve basınç dayanımları belirlendi.



şekil 3. 2 Değirmenin önden görünüşü

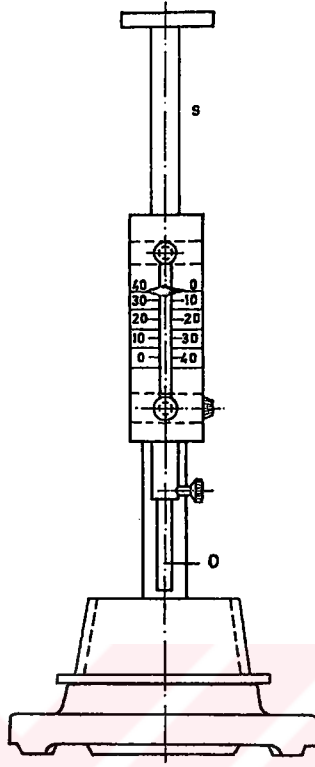
Öğütme yardımcıları olarak ayçiçek yağı asidi, miristik asit, stearik asit, laurik asit ve oleik asit kullandık. Bu yardımcı maddelerin katılma oranları ayçiçek yağı asidi için karışımın (klinker + alçı taşı) ağırlığı başına % 0,025, % 0,05, % 0,1, % 0,2, % 0,3 ve % 0,5; Stearik asit için % 0,025, % 0,05, % 0,1, % 0,15, % 0,2, % 0,3 ve % 0,5; Miristik asit için % 0,0125, % 0,025, % 0,05, % 0,1, % 0,15 ve % 0,5; Laurik asit için % 0,0125, % 0,025, % 0,05, % 0,1 ve % 0,5; Oleik asit için ise % 0,025, % 0,1, % 0,2 ve % 0,5'dir.

Öğütülen malzemenin zamanla bilyayı sararak öğütmeyi olumsuz etkilediği gerçeğinden yola çıkarak, miristik asit ve laurik asit'i doğrudan bilyaların üzerine ilave edip, değirmen'i 10 dk boyunca döndürdük ve daha sonra 2 kg ana madde katıp 45 dk. öğüttük. Burada kullanılan öğütme yardımcısı oranları miristik asit için % 0,05, % 0,1, Laurik asit için ise % 0,05, % 0,1 ve % 0,15'dir. Aşağıdaki tüm denemeler TS 24'e göre yapıldı.

3. 5. 1. Normal Kıvam Tayini

0,1 gr. Hassasiyetli bir terazide 300 g çimento tartılıp, küre kesmesi şeklinde bir kaba kondu. Kabın içindeki çimentonun ortasına açılan bir çukura çimento kütlesinin % 25 – 30'u kadar musluk suyu katıldıktan sonra 3 dk. boyunca bir kaşıkla karıştırıldı ve cam levha üzerinde duran vicat halkasına çimento hamuru dolduruldu. Daha sonra hamur bir spatula ile düzleştirilip halkanın üst kenarı seviyesinde bırakıldı. Sondanın ucu hazırlanmış olan vicat halkasının ortasında hamur üst yüzeyine dokunacak kadar indirildi ve serbestçe bırakıldı. Normal kıvamlı hamur için kullanılan su yeterli ise, sonda yarım dakika içinde cam levhaya, 5 mm – 7 mm kalıncaya kadar iner. Bu işlem

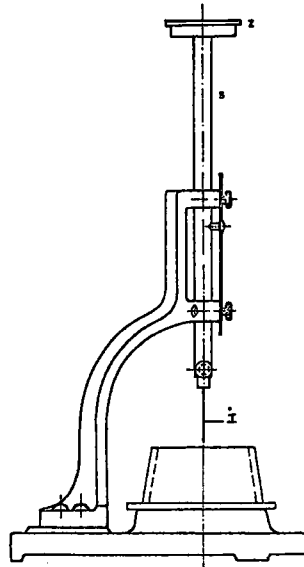
değişik niceliklerde su ile tekrar edilerek çimento için gereken su niceliği bulundu. Bu işlem, silindirik sondalı vicat aletinde yapıldı(Şekil 3. 3).



Şekil 3. 3 - Vicat aleti

3. 5. 2. Donma Başlama ve Sona Erme Süreleri

Bu deneme, Şekil 3. 3'deki silindirik sonda yerine iğne takılarak ve aletin üst tablasına 27,5 gr. ağırlık konarak yapıldı(Şekil 3. 4).



Şekil 3. 4 - Vicat aleti (iğneli)

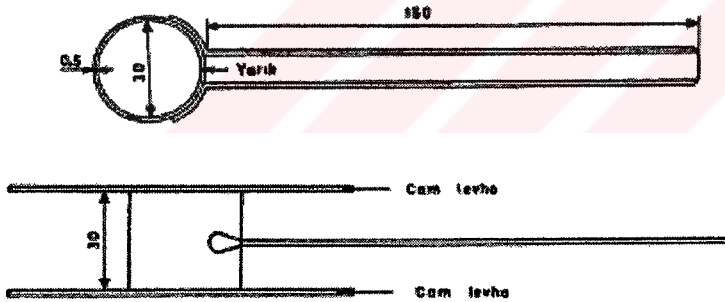
Normal kıvamda hazırlana çimento hamuru vicat halkasının içine yerleştirildikten sonra vicat iğnesi hamurun üst yüzeyine dokunacak kadar indirildi ve iğnenin hamura girmemesi için yan taraftaki vida ile sıkıştırıldı. Daha sonra vida gevşetilerek iğne, her 5 dakikada bir vicat halkasının durumu değiştirilerek hamurun farklı yerlerine batırıldı. Çimento hamuruna batan iğne, cam levhaya 3mm-5mm uzaklıkta kaldığı an donma başlamış sayıldı ve buna göre çimento ile suyun karıştırıldığı andan donma başlangıç anına kadar geçen zamanla, donma başlangıç süresini belirledik.

Donma başlangıç süresini belirledikten sonra, iğne her 15 dakikada bir batırıldı ve yine her batırılıştan sonra iğnenin girmiş olduğu yere bir daha girmemesi için vicat halkasının durumu değiştirildi.

İğnenin, hamura en çok 1 mm girebildiği zamanla donma sonu süresini belirledik. Bu işlemler aynı yöntemle göre ToniSET (Model 7320) cihazında otomatik olarak yapıldı.

3.5.3.Hacim Değişmezliği (Soundness)

Çimento hacminin değişimi Şekil 3.5’de verilen pirinçten yapılmış Le Chatelier aleti ile tayin edildi. Aletin silindirik halkası eksenli doğrultusunda yarıktır ve et kalınlığı 0,5 mm, iç çapı 30 mm ve yüksekliği 30 mm’dir. Çimento hamuru doldurulurken çubukların arasının açılmaması için çubuklar lehim yanından iple bağlandı ve halka, yağlanmış bir cam levha üzerine konduktan sonra normal kıvamdaki hamur dolduruldu. Daha sonra halka üst yüzeyi spatula ile düzeltilip, üst yüzeyine bir cam evha ve bunun üstüne ağırlık kondu.



Şekil 3.5- Le Chatelier hacim sabitliği belirleme aleti

İpler çözüldükten hemen sonra çubuk uçlarının açıklığı 0,1 mm hassaslıkla ölçüldü(a), sonra kalıplar sıcaklığı 20 °C olan su içinde 24 saat boyunca bekletildi.

Kalıplar üzerindeki cam levha kaldırıldıktan sonra çubuklar yukarı gelecek şekilde su dolu bir behere daldırılıp, 30-45 dk içinde kaynamaya başlayacak şekilde ısıtılarak, 4 saat boyunca kaynamaya devam edildi. 4 saat kaynama sonunda örnekler laboratuvar sıcaklığına kadar soğutuldu ve çubuk uçlarının açıklığı ölçüldü(c).

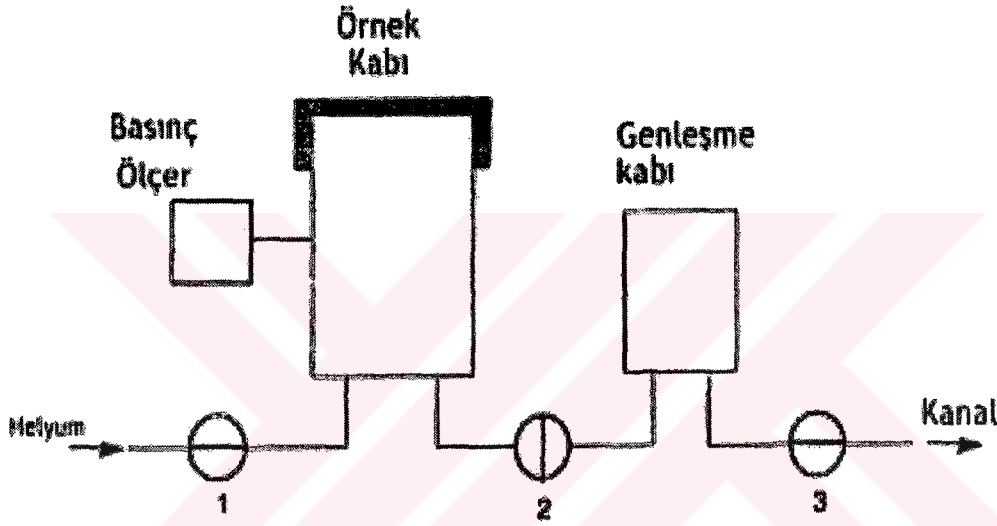
Buradan hacim genişmesi (c-a) mm cinsinden bulundu.

3.5.4.İncelik

Oda sıcaklığında, değirmende öğütülmüş çimento örneğinden 10 g tartarak sırasıyla 200 µ, 90µ ve 45µ'luk elek üzerinde elenerek üstte kalan niceliği yüzde olarak hesapladık. Kullanılan elekler, DIN 4188.ISO 565-T.1 standardındadır.

3.5.5.Özgül Ağırlık

Özgül ağırlığı, Multi Piknometre (Model MVP-1) cihazıyla belirledik. İlk önce 149,07 cm³ hacminde bir örnek kabına oda sıcaklığında kabın hacminin yarısı veya yarısından fazlasını dolduracak şekilde öğütülmüş çimento örneği kattık ve daha sonra bu kabı, multi piknometre cihazının kapalı bölümüne yerleştirip içinden helyum gazı geçirerek, şematik diyagramı Şekil 3.6'da görüldüğü gibi,



Şekil 3.6- Değişmez örnek hücreli otomatik bir piknometre için şematik çizge

$$V_s = V_c - V_x / (1 - P_6 / P_5)$$

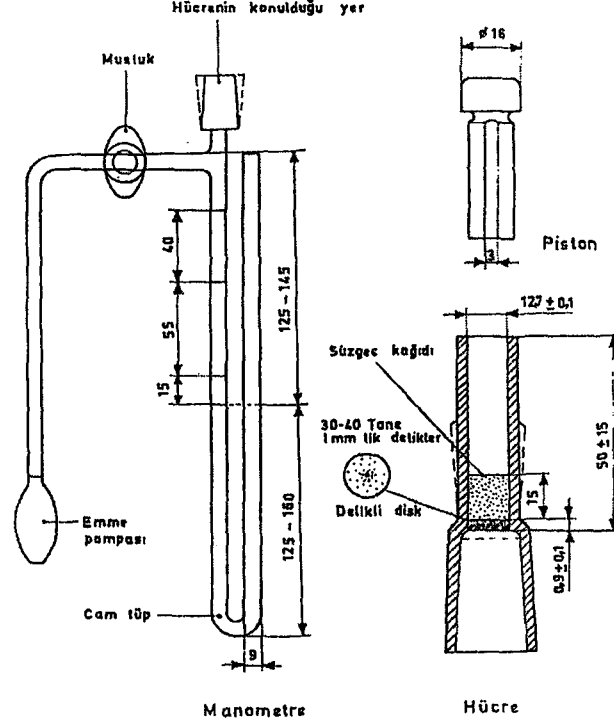
formülüne göre örnek hacmi (V_s) hesaplandı. Burada

- V_c : Kapalı örnek kabı hacmi
- V_x : Genleşme kabı (89,65 cm³)
- P_5 : Genleşmeden önceki basınç
- P_6 : Genleşmeden sonraki basınç

Buna göre özgül ağırlık, kaba koyduğumuz örnek çimento kütlesini önceden tarttığımız için, $\rho = m/V_s$ formülünden g/cm³ olarak hesaplandı.

3.5.6.Özgül Yüzey (Blaine)

Özgül yüzey, blaine aleti ile belirlenir. Bu alet, hava geçirgenliği prensibine dayanarak çimentoların özgül yüzeyini belirlemeye yarar. Alet, örnek hücresi, delikli disk, piston ve manometreden meydana gelir(Şekil 3.7).



Şekil 3. 7 - Blaine aleti

Bu deneme, aynı prensibe dayanarak blaine star (type: ZZB/PC-MT) cihazında otomatik olarak yapıldı. Buna göre özgül ağırlığını bulduğumuz çimento, gözenekliliği $e = 0,50$ olacak şekilde örnek kabına ($73,20 \text{ cm}^3$) koymak için gerekli kütleyi $m = \rho \times V \times (1 - e)$ formülüne göre gr. cinsinden hesapladık.

Daha sonra bu örneğin özgül yüzeyini (cm^2/g), cihaz'a bağlı olan bilgisayar

$S = K \cdot \sqrt{e^3 \cdot t} / (d \cdot e \cdot \eta)$ formülüne göre hesapladı.

Bu formülde,

e : Gözeneklilik (0,50)

η : Havanın oda sıcaklığındaki akmaazlığı (poise)

t : Ölçülen akış süresi (sn)

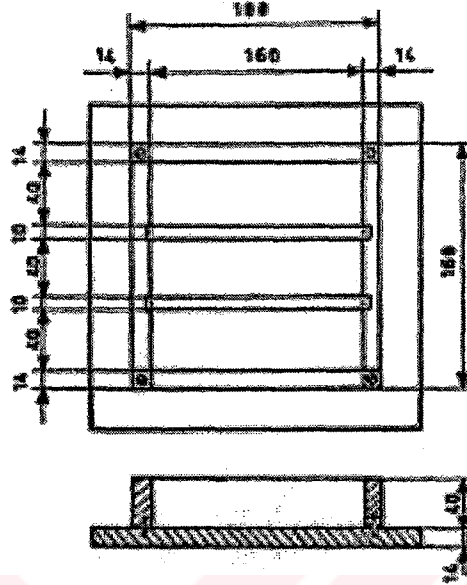
d : çimento örneğinin özgül ağırlığı (g/cm^3)

K : Alet değişmezi' dir.

3. 5. 7. Basınç Dayanımı

Harç oluşturma için önce bir karıştırma kabına (4,7 lt) 225 g su, üzerine 450 g çimento katarak karıştırma işlemine başladık ve 1350 g kum kattıktan sonra 30 sn bu işleme devam edildi.

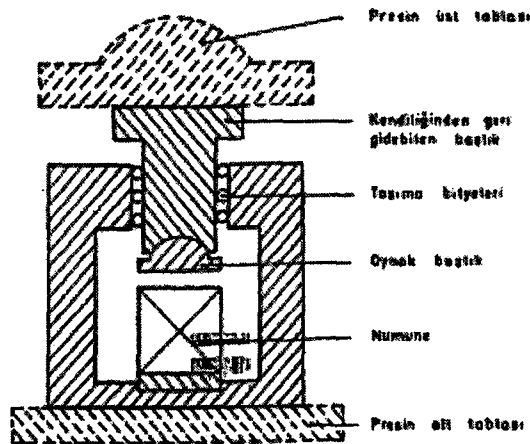
Daha sonra hazırlanan harç, üç örnek prizma için üç ayrı bölmesi olan kalıplara döküldü(Şekil 3.8) ve kalıplar sarsma aletine konularak 60 sn'de 60 sarsma yapıldı. Sonra harcın fazlası metal bir master ile sıyrıldı ve kalıp üst yüzü düzlendi.



Şekil 3.8 – Rilem-Cembureau harç kalıpları

Kalıplar, 20°C sıcaklık ve en az %90 görece nemli bir oda içinde 24 saat bekletildikten sonra söküldü. Kalıplardan çıkan harç prizmaları 20°C'lık içilebilir musluk suyu içinde kırılacakları güne kadar bekletildi, kırılmalar dökümden itibaren 2,7,28 gün sonra yapıldı.

Kırılma günü gelen prizma, çekme aletinde iki parçaya bölündü ve yarım prizmalar, Toni Teknik / Toni NORM (Model: 2020) cihazında 40 mmx40 mm'lik kırma başlığı (Şekil 3.9) ile yan yüzler üzerinden kırma presinde kırılarak basınç dayanımları belirlendi.



Şekil 3.9- Kırma başlığı

4. BULGULAR

Denemelerde temel madde olarak kullanılan klinkerin kimyasal bileşimi tablo 4. 1’ de verilmiştir.

Tablo 4. 1. Denemelerde kullanılan klinkere ait veriler.

	KLİNKER
Si O ₂ (%)	22,18
Al ₂ O ₃ (%)	5,57
Fe ₂ O ₃ (%)	3,56
Ca O (%)	65,76
Mg O (%)	1,22
SO ₃ (%)	0,45
Cl ⁻ (%)	0,0140
Kızdırma Kaybı (%)	0,31
Na ₂ O (%)	0,22
K ₂ O (%)	1,03
Ti O ₂ (%)	0,28
TOPLAM	100,59
S. Ca O (Free Cg O) (%)	1,2
Hidrolik Modül	2,10
Silikat Modülü	2,43
Alümin Modülü	1,56
Kireç Standardı	92,19
C ₁ S	50,39
C ₂ S	25,66
C ₃ A	8,74
C ₄ AF	10,83

Bu klinker (2 kg) içine %5 alçıtaşı katıldıktan ve 45 dak. süreyle öğütüldükten sonra elde edilen ürünün (çimentonun) özellikleri Tablo 4. 2 de gösterilmiştir. Donma – sertleşme süresi, elek analizi, özgül ağırlık, özgül yüzey, basınç dayanımı çimentonun kullanımında en çok dikkate alınan özelliklerdir.

Tablo 4. 2. Denemelerde kullanılan çimentoya (%95 Klinker + % 5 alçı taşı) ait veriler.

Vikata verilen su niceliği ml		104
Saf çimentoya verilen % su niceliği		26,0
Harca verilen su niceliği ml		225
Litre ağırlığı (gr)		1135
Donma süresi (Vikat) (saat - dakika)	Başlangıç	2:22
	Son	3:03
Hacim Sabitliği (mm)		0
İncelik (% Elek üstü kalıntı)	0,045 mm	12,2
	0,090 mm	1,2
	0,200 mm	0,3
Özgöl Ağırlık (gr / cm ³)		3,15
Özgöl yüzey (Blaine) (cm ² / gr)		3460
Basınç Dayanımı (N / mm ²)	1 Gün	17,2
	2 Gün	26,4
	7 Gün	45,3
	28 Gün	54,6

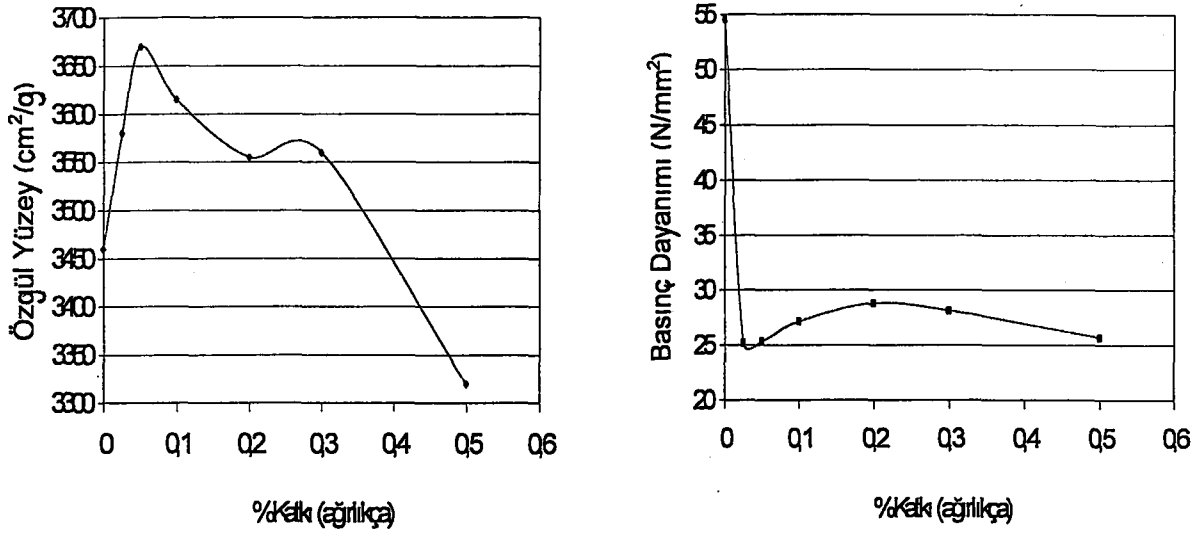
Bu veriler çimento içine öğütme yardımcısı katıldıktan ve 45 dk. lık bir öğütmeye tutulduktan sonra belirlenerek karşılaştırma yapılmıştır. Bu şekilde, kullanılan öğütme yardımcısının öğütme üzerine etkisi yanında çimentonun özelliklerini hangi yönde, ne ölçüde etkilediği ortaya konabilecektir.

4. 1. Çimentonun öğütülürlüğü üzerine ay çiçek yağı asidinin etkisinin incelenmesi.

Ay çiçek yağı asidinin çimento içine değişik niceliklerde katılması ve standart öğütme işleminden sonra elde edilen sonuçlar tablo 4. 3' de gösterilmiştir.

Tablo 4. 3. Ögütme yardımcısı (Ay çiçek yağı asidi) içeren çimentonun özellikleri

Vikata verilen su niceliği ml	108	103	103	106	107	115	114	120	115	123
Saf çimentoya verilen % su niceliği	27	25,8	25,8	26,5	26,8	28,8	28,5	30	28,8	30,8
Harcı verilen su niceliği ml	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
Litre ağırlığı (gr)		1130		1120		1125		1115		
Donma Stresi	2:30	2:41	2:27	2:47	2:43	3:12	2:53	3:04	3:08	2:55
(Vikat) (Saat – dakika)	3:10	3:32	2:50	3:55	3:18	4:53	3:34	5:01	4:06	4:10
Hacim Sabitliği (mm)	1	4	2	3	3	4	1	4	2	2
İncelik	0,045 mm	8,3	12,3		8,2		5,4		3,6	4
(% Elek üstü Kalıntı)	0,090 mm	0,9	1,1	1,3	0,8	0,6	0,6	1,2	0,4	0,3
	0,200 mm	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	0
Özgül ağırlık (g/ cm ³)	3,13	3,15	3,11	3,13	3,1	3,12	3,09	3,11	3,07	3,11
Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	3580	3600	3740	3550	3680	3470	3640	3420	3700	3320
Basınç dayanımı (N / mm ²)	1 Gün	7,3		7,4		5,7		8,2		
	2 Gün	10,6	12,9	12,4	13,9	12,9	16,1	13,8	15,1	13,2
	7 Gün	19,5	20,2	21,5	21,5	20,8	22,4	20,8	23,1	19,6
	28 Gün	23,4	27,3	26	28,3	27,5	30,1	28,2	28,1	25,7



Şekil. 4. 1: Öğütme yardımcısı (Ay çiçeği yağı asidi) içeren çimentonun özgül yüzeyi ve basınç dayanımındaki değişim

Öğütme sürecinde çimentonun öğütülebilmesi iki koşullu değişkenle (parametre) izlenmiştir: İncelik ve özgül yüzey. Bu açıdan Tablo 4,3' de gösterilen veriler incelendiğinde öğütme yardımcısının çimentonun öğütülebilirliğini arttırdığını ileri sürebiliriz. Ancak bu etkinin öğütme yardımcısının niceliğinin artmasıyla ters bir tepkiye dönüştüğü gözlenmektedir.

Şekil 4.1'de ayçiçek yağı asidi niceliğinin artmasıyla öğütmeden sonra yüzeyin azalmaya eğilim gösterdiği açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Öğütme yardımcısı katıldıktan sonra en büyük değişme çimentonun basınç dayanımında meydana gelmektedir: Çimentonun basınç dayanımı yaklaşık yarı değerine düşmektedir(Şekil 4.1). Bu durumda ayçiçeği yağı asidinin öğütme yardımcısı olarak kullanılamayacağı açıktır.

4. 2. Ayçiçek yağı asidinin bileşimi

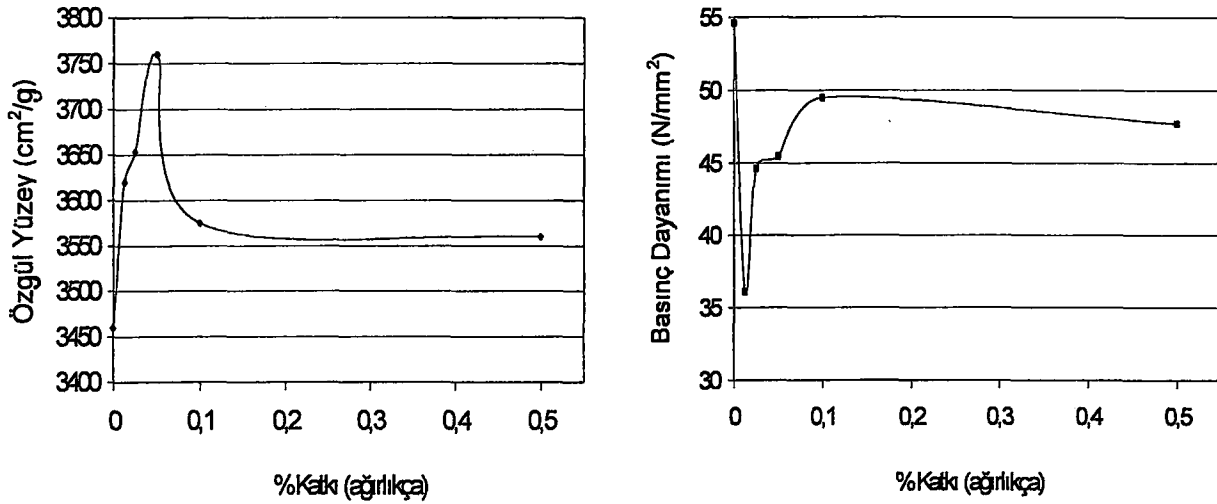
Kullandığımız Ayçiçek yağı asidi bileşiminde temel bileşenler olarak stearik asit (% 3,8), palmitik asit (% 6), oleik asit (% 22,8) ve linoleik asit (%65,7) bulunmaktadır. Bilindiği gibi bu asitlerden stearik ve palmitik asitler doymuş, oleik ve linoleik asitler doymamış yağ asitleridir. Bu asitlerden doymuş yağ asidi olarak stearik asit ve doymamış yağ asidi olarak oleik asidin etkileri yanında doymuş, moleküldeki karbon sayısı daha düşük olan miristik (C₁₄) ve laurik (C₁₂) asitlerinde çimentonun öğütülürlüğü üzerine etkileri incelenmiştir.

4. 2. 1. Laurik Asidin etkileri

Bu asidin değişik niceliklerde, çimento ile karıştırılıp öğütüldükten sonra elde edilen sonuçlar Tablo 4. 4' de verilmiştir.

Tablo 4. 4. Laurik Asit içeren çimentonun özellikleri

Vikata verilen su niceliği ml	109	0,25 gr Laurik Asit	103	0,5 gr Laurik Asit	0,5 gr Laurik Asit	0,5 gr Laurik Asit	1 gr Laurik Asit	1 gr Laurik Asit	2 gr Laurik Asit	2 gr Laurik Asit	10 gr Laurik Asit
Saf çimentoya verilen % su niceliği	27,3		25,8								32,5
Harcaya verilen su niceliği ml	225		225	225	225	225	225	225	225	225	225
Litre ağırlığı (gr)									1135		
Donma Sırası	2:10		1:50								2:35
(Vikat) (Saat – dakika)	3:05		2:55								3:55
Hacim Sabitliği (mm)			1								1
İncelik	0,045 mm	15,4	14	12,8	13,5	9,9	10,6	4,5	5,3		3,2
(% Elek üstü Kalıntı)	0,090 mm	2	1,9	1,4	1,6	1,1	1,1	0,5	0,6		0,3
	0,200 mm	0,4	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,2	0,3		0
Özgül ağırlık (g/ cm ³)		3,14	3,12	3,07	3,09	3,08	3,10	3,10	3,09		3,09
Özgül yüzey (Blaine)(cm ² / gr)		3620	3600	3630	3730	3770	3750	3540	3610		3560
1 Gün				15,3		14		16,1			
2 Gün		17,7	21,6	23,5	23,5	23,1	23,5	25,0	25,7		25,9
7 Gün		29,3	33,7	39,1	37,5	40,1	34,2	41,2	40,2		38,7
28 Gün		36,1	42,2	46,7	45,0	45,7	45,2	50,0	49,0		47,7



Şekil 4. 2: Laurik asit çimento karışımında özgöl yüzey ve basınç dayanımındaki değişim.

Çimento içine laurik asit karıştırıldıktan sonra yapılan öğütme sonunda çimentonun inceliğinin artan laurik asit niceliğine bağlı olarak arttığı açıkça gözlenmektedir.

Şekil 4.2’de, çimentonun özgöl yüzeyinde de belirgin bir artma söz konusudur. Ancak bu artma, laurik asidin katılan oranlarında büyük bir ayırım göstermemektedir. Bir başka deyişle çimentonun öğütülebilirliğinin laurik asit niceliğine bağımlılığı bu katılma oranlarında pek belirgin değildir. Ancak çimentonun öğütülürlüğüne laurik asit niceliğine bağlı olmadığı kesindir.

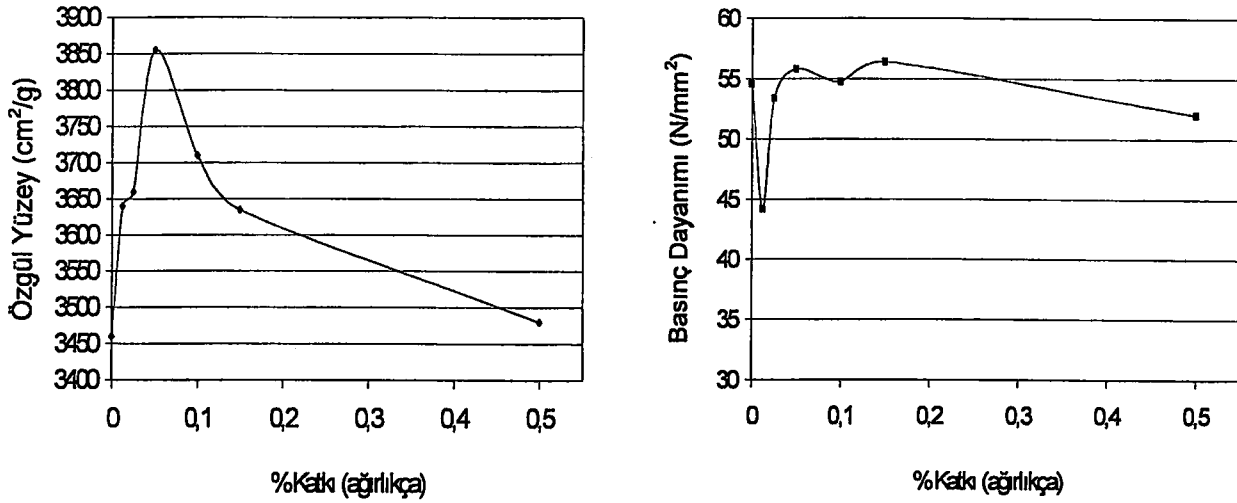
Özgöl ağırlık içinde benzer sonuçlar alınmıştır. Basınç dayanımı ise, çimentoya göre düşme göstermektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi bu düşmenin boyutu ayçiçeği yağı asidi ile karşılaştırıldığında çok küçük kalmaktadır. Buna rağmen laurik asidin öğütme yardımcısı olarak kullanılmasını düşünmemek gerekir.

4. 2. 2. Miristik Asitin Etkileri

Bu asitle çimentonun belli niceliklerde karıştırılmasından ve öğütülmesinden sonra belirlenen sonuçlar Tablo 4. 5’ de verilmiştir.

Tablo 4. 5. Miristik Asit içeren çimentonun özellikleri

		0,25 gr Miristik Asit	0,5 gr Miristik Asit	0,5 gr Miristik Asit	0,5 gr Miristik Asit	1 gr Miristik Asit	1 gr Miristik Asit	2 gr Miristik Asit	2 gr Miristik Asit	3 gr Miristik Asit	3 gr Miristik Asit	10 gr Miristik Asit
Vikata verilen su niceliği ml		108	103									130
Saf çimentoya verilen % su niceliği		27	25,8									32,5
Harca verilen su niceliği ml		225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
Litre ağırlığı (gr)						1145		1130				
Donma Süresi (Vikat) (Saat - dakika)	Başlangıç	2:10	1:53									2:15
	Son	2:55	2:57									3:40
Hacim Sabitliği (mm)			1									1
İncelik (% Elek üstü Kalıntı)	0,045 mm	15,5	13,3	12,1	13,0	10,9	12,5	5,8	7,2	3,2	3,9	3,2
	0,090 mm	2,2	1,8	1,4	1,5	1,3	1,3	0,6	0,6	0,5	0,5	0,1
	0,200 mm	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0
Özgül ağırlık (g/ cm ³)		3,15	3,11	3,08	3,10	3,10	3,11	3,08	3,09	3,09	3,08	3,09
Özgül yüzey (Blaine)(cm ² / gr)		3640	3610	3640	3730	4000	3710	3720	3700	3550	3720	3480
Basınç Dayanımı (N / mm ²)	1 Gün			17,5		16,6		17,3		19,0		
	2 Gün	21,5	27,3	27,3	27,8	26,6	28,1	27,9	28,6	29,0	29,0	28,6
	7 Gün	34,9	41,4	43,1	43,5	45,7	43,7	45,4	43,6	45,2	43,2	41,6
	28 Gün	44,2	53,3	52,6	54,3	55,7	55,9	55,9	53,6	55,6	57,2	52



Şekil 4. 3: Miristik asit çimento karışımında özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim.

Şekil 4.3’de miristik asit çimento karışımlarının öğütülmesi sonunda elde edilen ürünlerin özgül yüzeylerinde, aynı koşullarda öğütme sonucu çimento için bulunan değerlere göre belli bir artma gözlenmektedir. Bu incelik içinde geçerlidir.

Çimentonun içine miristik asit karıştırmak, çimentonun basınç dayanımında daha önce ayçiçeği yağı asidi ve laurik asitle alınan sonuçlardan farklı değişiklik yapmaktadır. Miristik asitli çimentonun basınç dayanımı en azından normal çimentonun basınç dayanımı düzeyindedir. Giderek istatistiksel olarak arttırdığı bile ileri sürülebilir(Şekil 4.3).

Özgül ağırlık artan miristik asit oranına bağlı olarak azalmaktadır. Bu sonuçlara göre miristik asit çimento üretiminde öğütme yardımcı maddesi olarak kullanılabilir.

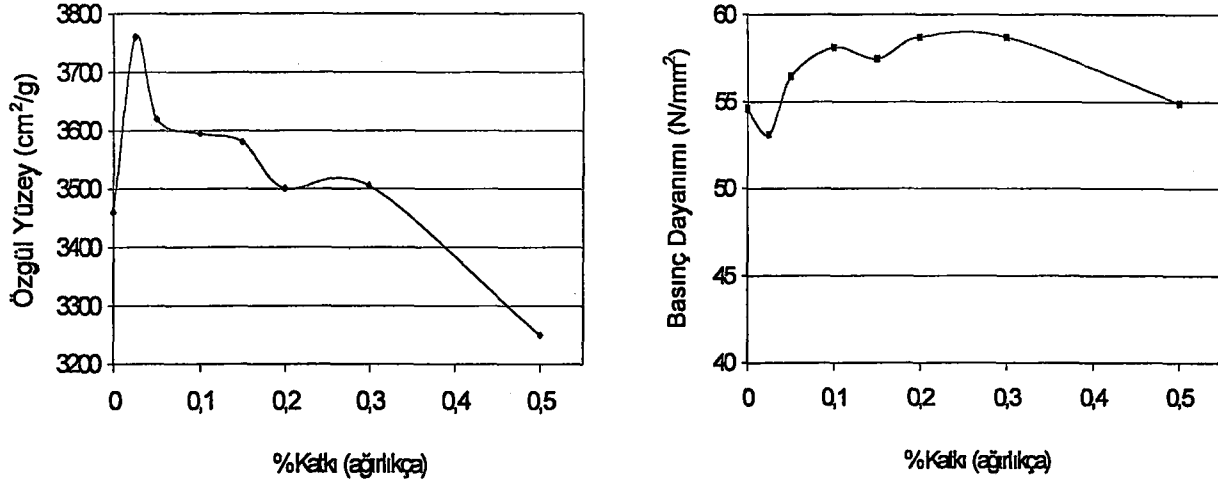
4. 2. 3. Stearik Asit’in Etkileri

Stearik asit’in çimentonun öğütülmesinde öğütme yardımcısı olarak nitelenip nitelenemeyeceği hakkında karar vermek üzere yapılan denemeler sonucunda elde edilen veriler Tablo 4. 6’ da verilmiştir.

Burada, karışımların özgül ağırlıklarındaki değişme stearik asidin niceliğinin artmasıyla düşme eğilimi göstermektedir.

Tablo. 4. 6. Stearik asit içeren çimentonun özellikleri

		0,5 gr	1 gr	1 gr	2 gr	2 gr	2 gr	3 gr	4 gr	4 gr	6 gr	6 gr	10 gr
		Stearik Asit	Stearik Asit	Stearik Asit	Stearik Asit	Stearik Asit	Stearik Asit	Stearik Asit	Stearik Asit	Stearik Asit	Stearik Asit	Stearik Asit	Stearik Asit
Vikata verilen su niceliği ml		105	100		107	101	107	108	109	116	113	120	125
Saf çimentoya verilen % su niceliği		26,3	25,0		26,8	25,3	26,8	27,0	27,3	29,0	28,3	30,3	31,3
Harc verilen su niceliği ml		225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
Litre ağırlığı (gr)			1140	1075		1150				1135		1130	
Donma Süresi (Vikat) (Saat – dakika)	Başlangıç	1:50	1:56		2:20	2:22	2:31	2:30	2:35	2:37	2:39	2:42	2:50
	Son	2:45	2:54		2:47	3:28	3:37	3:13	3:19	3:58	3:23	4:09	3:45
Hacim Sabitliği (mm)		1	1		2	3	2	1	3	1	2	1	1
İncelik (% Elek üstü Kalıntı)	0,045 mm	14,4	11,0	13,6	12,2	6,6	4,2	8,6	7,5	4,8	4	3,3	4,3
	0,090 mm	2,2	0,8	1,4	1,1	0,6	0,3	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
	0,200 mm	0,7	0,2	0,5	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0
Özgül ağırlık (g/ cm ³)		3,13	3,14	3,11	3,11	3,13	3,11	3,08	3,07	3,12	3,05	3,13	3,10
Özgül yüzey (Blaine)(cm ² / gr)		3760	3530	3710	3690	3500	3440	3720	3620	3380	3470	3540	3250
Basınç Dayanımı (N / mm ²)	1 Gün		19,2			19,1	19,2			19,4		20,2	
	2 Gün	25,1	29,7	26,4	27,3	30,5	29,6	27,1	27,7	28,6	27,1	29,0	26,6
	7 Gün	40,6	48,3	43,2	45,5	46,6	47,9	43,7	44,8	46,7	44,9	48,2	41,1
	28 Gün	53,1	57,2	55,7	58,1	58,1	57,6	57,3	57,6	59,8	58,0	59,4	54,9



Şekil 4. 4: Stearik asit içeren çimentonun özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim.

İncelik ise, stearik asit niceliğine bağlı olarak bir artış göstermektedir. Özgül alan, çimentoya stearik asidin katılmasıyla belirgin derecede artmaktadır. Ancak şekil 4.4'e göre bu artışın stearik asidin niceliğine bağımlılığı açık değildir. Daha doğrusu özgül alan stearik asidin niceliğinin çok arttırılması durumunda düşmektedir.

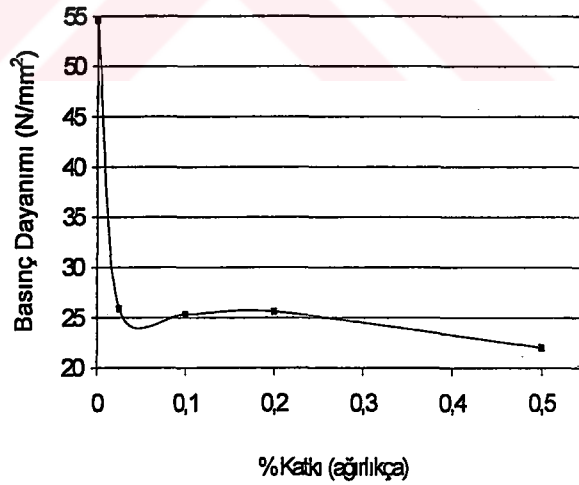
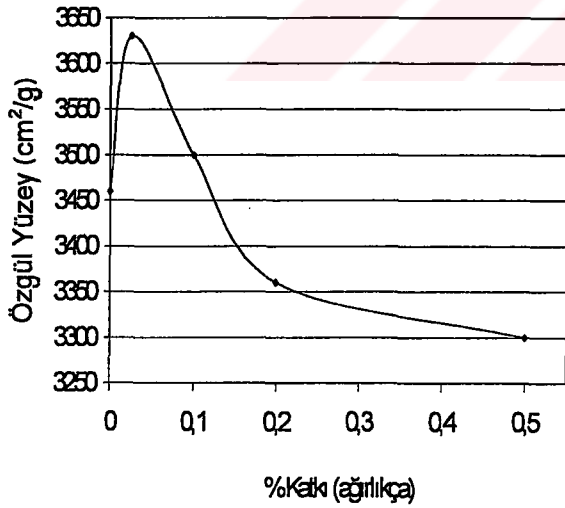
Stearik asidin çimentonun basınç dayanımını arttırdığı bir gerçektir(Şekil 4.4). Bu artma stearik asidin küçük ölçekte katıldığı zaman bile belirgin bir boyutdadır. Stearik asidin bu koşullarda öğütme yardımcısı olarak kullanılabileceği açıktır.

4. 2. 4. Oleik asit' in Etkileri

Oleik asidin doymamış yağ asidi olarak çimentonun özelliklerine etkisi toplu şekilde Tablo 4. 7' de verilmiştir.

Tablo 4. 7 Oleik asit içeren çimentonun özellikleri

		0,5 g oleik asit	2 g oleik asit	4 g oleik asit	10 g oleik asit
Vikata verilen su niceliği ml		110	120	125	130
Saf çimentoya verilen % su niceliği		27,5	30	31,3	32,5
Harca verilen su niceliği ml		225	225	225	225
Donma Süresi (Vikat) (Saat – dakika)	Başlangıç	2:25	2:55	3:05	3:15
	Son	3:10	3:55	4:00	4:10
İncelik (% Elek üstü Kalıntı)	0,045 mm	15,3	8,1	5,3	4,7
	0,090 mm	2,3	0,8	0,5	0,4
	0,200 mm	0,6	0,3	0,2	0,1
Özgül ağırlık (g/ cm ³)		3,15	3,14	3,13	3,12
Özgül yüzey (Blaine)(cm ² / gr)		3630	3500	3360	3300
Basınç Dayanımı (N / mm ²)	1 Gün				
	2 Gün	12,5	12,6	11,9	11,4
	7 Gün	20,6	19,9	18,9	17,6
	28 Gün	25,9	25,3	25,6	22,0



Şekil 4. 5 Oleik asit içeren çimentonun özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim

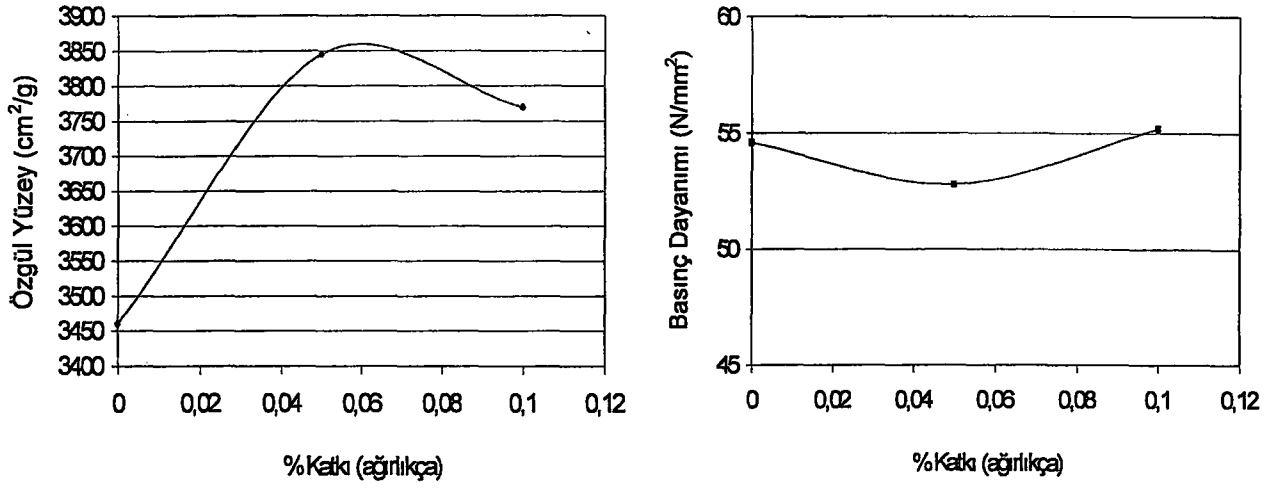
Burada, çimento – oleik asit karışımlarının özgül ağırlığının artan oleik asit niceliğine bağlı olarak azaldığı, inceliğin arttığı, şekil 4.5’de özgül alanın küçüldüğü dikkati çekmektedir.

Çimento - oleik asit karışımlarının basınç dayanımı ise denemelerimizde şimdiye dek gözlenmeyen boyutta bir düşüş, çimentonun basınç dayanımının yarısının altına bir düşüş göstermektedir(Şekil 4.5).

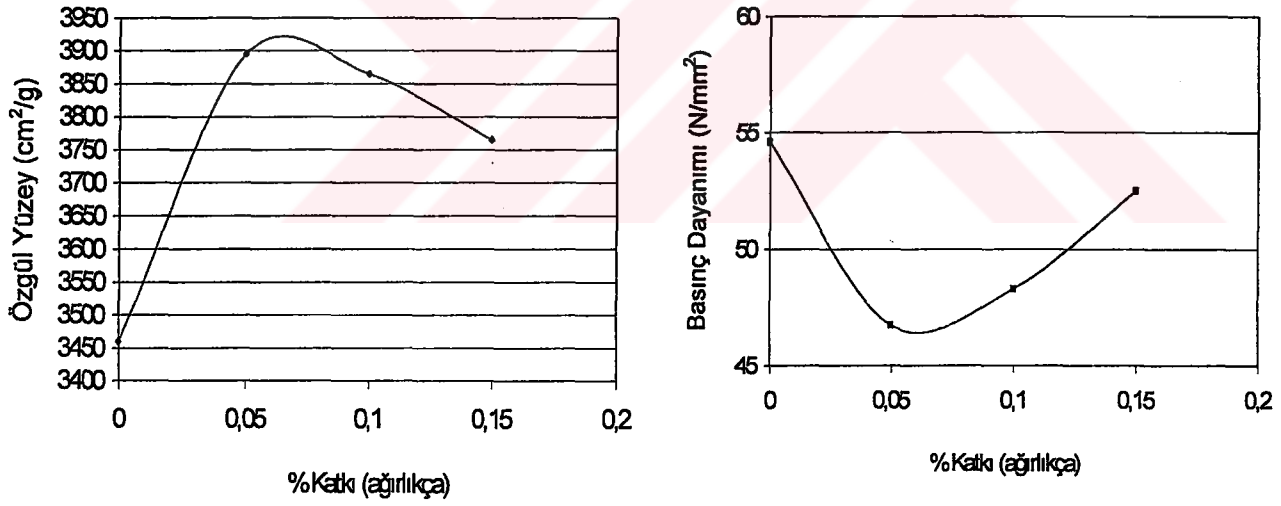
Tablo 4. 8 Miristik asitli çimentonun özellikleri

		1 gr Miristik Asit	1 gr Miristik Asit	2 gr Miristik Asit	2 gr Miristik Asit
Harca verilen su niceliği ml		225	225	225	225
Litre ağırlığı (gr)				1145	
İncelik (% Elek üstü Kalıntı)	0,045 mm	10,5	11,2	6	5,2
	0,090 mm	1,1	1,2	0,8	0,6
	0,200 mm	0,5	0,5	0,2	0,3
Özgül ağırlık (g/ cm ³)		3,13	3,11	3,08	3,10
Özgül yüzey (Blaine)(cm ² / gr)		3890	3800	3730	3810
Basınç Dayanım (N / mm ²)	1 Gün	15,6		18	
	2 Gün	25,9	30	27,3	29,4
	7 Gün	42,7	45,7	43,1	44,5
	28 Gün	49,1	56,5	54,5	55,9

TC MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI
T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI
T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



Şekil 4. 6 - Miristik asitli çimentonun özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim



Şekil 4. 7 – Laurik asitli çimentonun özgül yüzey ve basınç dayanımındaki değişim

Tablo 4. 9 Laurik asitli çimentonun özellikleri

	1 gr Laurik Asit	1 gr Laurik Asit	2 gr Laurik Asit	2 gr Laurik Asit	3 gr Laurik Asit	3 gr Laurik Asit
Vikata verilen su niceliği ml	108	107	110	110	114	116
Saf çimentoya verilen % su niceliği	27,0	26,8	27,5	27,5	28,5	29,0
Harca verilen su niceliği ml	225	225	225	225	225	225
Litre ağırlığı (gr)	1085					
Donma Süresi	2:34	2:14	2:24	2:22	2:31	2:35
(Vikat) (Saat – dakika)	Son	3:06	3:16	3:14	3:20	3:25
Hacim Sabitliği (mm)	1	1	1	2	1	2
İncelik	0,045 mm	8,8	11,4	5,3	3,5	3
(% Elek üstü Kalıntı)	0,090 mm	0,9	1,3	0,6	0,3	0,3
	0,200 mm	0,4	0,4	0,2	0,1	0,2
Özgül ağırlık (g/ cm ³)	3,07	3,09	3,08	3,08	3,08	3,08
Özgül yüzey (Blaine)(cm ² / gr)	3810	3980	3910	3820	3770	3760
Basınç Dayanım (N / mm ²)	1 Gün					
	2 Gün	20	23,8	24,6	25,5	24,2
	7 Gün	37,8	38,0	40,2	40,1	38,8
	28 Gün	46,6	46,9	47	49,6	51,1

TARTIŞMA VE SONUÇ

Çimentonun öğütülmesinde kullanılan enerjinin az bile olsa indirgenmesi bir enerji dar boğazında bulunan yurdumuz için önemlidir. Kuşkusuz burada hemen öğütme yardımcısının parasal değeri akla gelecektir. Bu katkının yeterli miktarda sağlanabilmesi, depolanabilmesi, sorunsuz aktarılabilmesi de buna eklenecektir. Bu çalışmada öğütme yardımcısı olarak kullanılan ayçiçeği yağı asidi bu gerekleri karşılamada uygun görülmektedir. Ancak Tablo 4. 3'de görüldüğü gibi, bu maddenin çimento içine karıştırıldıktan sonra çimentonun özellikle basınç dayanımında yarı yarıya varan düşme yarattığı anlaşılmıştır. Bu durumda bu maddenin çimentonun öğütülebilirliğinde de belirgin bir artma sağlayamadığı da dikkate alındığında kullanılamayacağı açık bir gerçektir.

Böyle çeşitli maddelerin karışımı olan maddenin getirdiği sonuçlar tek tek bileşenler için ne olabilir sorusunu yanıtlamak üzere önemli bileşenlerin öğütme üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu arada bileşimde bulunan, molekülünde karbon sayısı daha düşük olan miristik ve laurik asitlerin de etkileri araştırılmıştır.

Laurik asit çimentonun öğütülebilirliğini arttırmakla birlikte çimentonun basınç dayanımını düşürmektedir. Ancak basınç dayanımındaki düşme ayçiçek yağı asidinin ki kadar kuvvetli değildir. Miristik asit çimentonun öğütülebilirliğini arttırdığı gibi, basınç dayanımında arttırmaktadır.

Stearik asit öğütülebilirliği arttırmaktadır. Basınç Dayanımını üç bileşen içinde en büyük oranda stearik asit yükseltmektedir. Bu sonuçlara göre, özellikle basınç dayanımında değişimler ilginç bir durum göstermektedir. Miristik ve stearik asitler basınç dayanımını oldukça arttırdıkları, laurik asit ise az da olsa düşürmekle birlikte bunların karışımı çimentonun basınç dayanımını yarı yarıya düşürmektedir. Burada karışım içinde başka bileşenlerin varlığı ve bunların dayanıma olağandışı etkileri ilk akla gelen varsayımdır.

Ayçiçeği içinde önemli bir bileşen oleik asittir. Çimento içine oleik asit katıldıktan sonra yapılan öğütme sonunda çimentonun değişen özellikleri içinde basınç dayanımındaki düşüş dikkat çekmektedir. Oleik asitli çimentonun basınç dayanımı olağan çimentonun basınç dayanımının yarısından azdır. Bu durumda çimentonun içine ayçiçek yağı asidinin karıştırılmasıyla basınç dayanımındaki düşüşün sorumlusu oleik asit olduğu (linoleik asit etkisi incelenmediğinden) ortaya çıkmaktadır.

Çimentonun öğütülebilirliği üzerine laurik, miristik, stearik ve oleik asitlerin etkilerinin araştırılmasında, öğütülmüş karışımların inceliği ile özgül alanları arasında gözlenen çelişkidir. Bir maddenin inceliği, bir başka deyişle, tanelerin ufalmasıyla yüzey alanının artacağı bir gerçektir. Ancak bu çalışmada gözlenen bunun tersidir: Öğütme yardımcısı çimento içinde artarken incelik de artmaktadır, ancak özgül alanda önemli bir artma olmamasının yanısıra düşüşler gözlenmektedir. Bu çelişkili durum kanımızca şu nedenlere bağlanabilir:

- 1) İnce taneler özgül yüzey ölçme aygıtı içinde yatak oluşturma aşamasında yığılma yapmaktadır.

2) İnce taneler öğütme sırasında düzgün, birbirine çok yakın büyüklükte oluşmaktadır. Buna bağlı olarak taneler arası boşluklar küçük taneler tarafından doldurulmamakta ve yataktan hava geçişi düşük bir dirençle karşılaşmaktadır.

3) Aygıtın ince taneler yüzünden düzgün, sağlıklı işleyememesi.

Bu varsayımların incelenmesi bu tezin hazırlanması için gerekli süreyi oldukça zorladığından gerçekleştirilememiştir.

Öğütme yardımcısının işlevi deneme koşullarında nasıl açıklanabilir: Öğütme yardımcısı öğütme sırasında

1) Katı malzemenin yüzeyinde önceden bulunan ince çatlakların (Griffith modeli) gelişmesini kolaylaştırabilir.

2) Tanelerin elektrostatik yüzey yüklerini eş kılarak yığılmayı önleyebilir.

3) Öğütücünün, örmeğin bu araştırmada kullanılan bilyaların yüzeyinin öğütülen malzeme tarafından kaplanmasını, sarılmasını önleyebilir.

Bu üç işlevin hangisinin ya da hangilerinin çimentonun kullanılan öğütme yardımcısı ile öğütülmesi sırasında geçerli olduğunu ileri sürmek yerine hepsinin öğütmede rol oynadığını kabul etmek kanımızca doğru bir görüştür. Bununla birlikte biz öğütücünün öğütülen madde ile kaplanmasının – sarılmasının yerini belirleyebilmek için önce, değirmenin içi ve bilyalar olduğunca temizlenmiş; değirmene belli nicelikte öğütme yardımcısı katılmış; 10 dakika süre ile değirmen olağan hızda çalıştırılmış, daha sonra çimento değirmene katılmış ve değirmen standart şekilde çalıştırılmıştır. Elde edilen ürünlerin incelikleri, özgül alanları ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Tablo 4.8, 4.9 ve şekil 4.6, 4.7’de özgül alanın belirgin bir şekilde arttığı gözlenmektedir. Bu da bilyaların başlangıçta öğütme yardımcısı ile sarılmasının bilyaların öğütme gücünü artırdığını göstermektedir.

Çimentonun öğütülmesinde ay çiçek yağı asidi çimentonun basınç dayanımını düşürdüğünden kullanılamaz. Ay çiçek yağı asidinin içindeki oleik asit basınç dayanımını düşüren bileşendir. Laurik asit de basınç dayanımını indirgemektedir. Miristik ve stearik asit öğütme yardımcısı olarak kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. LABAHN, O. – KOHLHAAS, B. BINDER, U. – BOMKE, E. – FUNKE, G. – KLEIN - ALBENHAUSEN, H. K. – KNÖFEL, D. – MECHTOLD, F. – OPITZ, D. – SCHAFFER, G. – SCHAFFER, H. – U. – SCHMIDT, D. – SCHMIEDGEN, G. – SCHNEIDER, M. – SCHUBERTH, H. – SCHWAKE, P. – STEINBIß, E. – XELLER, H. 1983 – Cement Engineers' Handbook – Fourth English Edition – Printed by Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH, Wiesbaden and Guido Zeidler, Wiesbaden
2. TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI – KİMYA MÜHENDİSLERİ ODASI 16- 17 Kasım 1995 – Çimento Sempozyumu ANKARA
3. KIRK, R. E – OTHMER, D. F 1979 – Volume 5 – Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology
4. SANIGÖK, Ü. 1997 – Anorganik Endüstriyel Kimya İ. Ü. Mühendislik Fakültesi Yayın No:99 İSTANBUL
5. ÖZDEMİR, H. İ. 1981 İlaveli Genel Anorganik ve Teknik Kimya – Matbaa Teknisyenleri Basımevi İSTANBUL
6. TAYLOR, H. F. W. 1990 – Cement Chemistry – Academic Press Limited LONDON
7. PERRY, R. H. 1984 – Perry's Chemical Engineers' Handbook – International Edition – Kosaido Printing Co. , Ltd. JAPAN
8. MCCABE, W. L. – SMITH, J. C. – HARRIOTT, P. 1993 – Unit Operations of Chemical Engineering –Fifth Edition – McGraw – Hill, Inc. PRINTED IN THE UNITED STATES OF AMERICA
9. ÇATALTAŞ, İ. 1973 – Kimya Mühendisliğine Giriş 2 – İnkılap ve Aka Basımevi İSTANBUL
10. BLANKS, R. F. – KENNEDY, H. L. 1955 - The Technology of Cement and Concrete – John Wiley& Sons, Inc. Printed in the United States of America
11. OCEPEK, D. 1975 – Rebinder effect, Rud. – Metal. Zb. , (1), 53-70.

7. ÖZGEÇMİŞ

09. 06. 1972 Yılında İstanbul'da doğdum. Lise öğrenimimi 1989 yılında Etiler Lisesi'nde tamamladım. Daha sonra İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünden 1996 yılında mezun oldum. 1998'den itibaren de İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Proses ve Reaktör Tasarımı Ana Bilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım.