

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PİRİNÇ KABUĞU ve KÜLÜNÜN BETONDA
KULLANILABİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

HAZIRLAYAN

İlker BALAYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

169312

DANIŞMAN

Yrd.Doç. Dr Servet YILDIZ

ELAZIĞ, 2005

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONDA KULLANILABİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
PİRİNÇ KABUĞU ve KÜLÜNÜN**

Hazırlayan

İlker BALAYDIN

Yüksek Lisans Tezi

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, ~~24.01.2005~~ tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oy çokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Jüri: Yrd. Doç. Dr. Servet YILDIZ (Danışman)



Jüri: Yrd. Doç. Dr. Ragıp İNCE



Jüri: Yrd. Doç. Dr. Erdiñç ARICI



Enstitü Yönetim k.28.01.2005 tarih ve 3/15 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÜR

Bu çalıŐmaya baŐlamamda ve çalıŐmalarım esnasında bana her tÜrlÜ konuda yardımcı olan bilgi ve tecrÜbelerinden faydalandığım danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr Servet YILDIZ ve bölüm başkanımız Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL'a teŐekkürlerimi sunarım.

Okul hayatım boyunca ekonomik desteğini benden esirgemeyen kardeŐim Sayın Halis Türker BALAYDIN'a, manevi desteklerinden dolayı anne ve babama sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalıŐmamda bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Erdiñ ARICI, ArŐ. Gör.Tahir GÖNEN ve ArŐ. Gör. Ođuzhan KELEŐTEMUR hocalarıma, inşaat mühendisliği laboratuvar sorumlusu Seyfettin ÇİÇEK ve seramik laboratuvar sorumlusu Sayın Ufuk ŐEKERDAĐ ve Öznur AKSOY'a ayrıca, Elazığ Altınova imento Fabrikası A.Ő' çalıŐanlarına teŐekkürlerimi sunarım.

İlker BALAYDIN

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	IX
TABLULARIN LİSTESİ.....	X
SİMGELERİN LİSTESİ.....	XI
ÖZET.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. PİRİNÇ KABUĞU VE KÜLÜNÜN ÖZELLİKLERİ.....	2
2.1. Pirinç Kabuğu.....	2
2.1.1. Pirinç Kabuğunun Yapısı ve Bileşimi.....	3
2.1.2. Pirinç Kabuğunun Özellikleri.....	5
2.1.3. Pirinç Kabuğunun Kullanıldığı Yerler.....	5
2.1.4. Pirinç Kabuğu Yakma İşlemi.....	6
2.2. Pirinç Kabuğu Külü.....	7
2.2.1. Pirinç Kabuğu Külünün Yapısı ve Bileşimi.....	8
2.2.2. Pirinç Kabuğu Külünün Gronülometrik Analizi.....	8
2.2.3. Pirinç Kabuğu Külünün Bileşimi.....	9
2.2.4. Pirinç Kabuğu Külünün Özellikleri.....	10
2.2.5. Pirinç Kabuğu Külünün Kullanıldığı Yerler.....	11
2.2.6. Literatürde Mevcut Çalışmalar.....	13
3. DAYANIKLILIK.....	15
3.1. ASTM'ye göre durabilite.....	15
3.1.1. Eskitme süreçleri.....	15
3.1.2. Hasar tespit deneyleri.....	15
3.1.2.1. İç etkiler.....	16
3.1.2.2. Dış etkiler.....	16
3.1.2.2.1. Fiziksel etkenler.....	16
3.1.2.2.2. Kimyasal etkenler.....	17

4. ZARARLI ORTAMIN BETONA ETKİSİ.....	17
5. PUZOLANLAR.....	20
5.1. Doğal Puzolanlar.....	23
5.1.1. Killer ve Tortul Şiştlar.....	23
5.1.1.1. Montmorillonit	23
5.1.1.2. Kaolinit.....	23
5.1.1.3. İllit.....	24
5.1.2. Opaller.....	24
5.1.2.1. Opalli Şeyler.....	24
5.1.2.2. Diatomeler.....	24
5.1.2.3. Çörtler	24
5.1.3 Volkanik Tüfler ve Sünger Taşları.....	24
5.1.3.1. Riyolitikler.....	25
5.1.3.2. Andezitikler.....	25
5.1.3.3. Fenolitikler.....	25
5.1.3.4. Bazaltikler.....	25
5.2. Yapay Puzolanlar.....	25
5.2.1. Pişmiş Kil.....	26
5.2.2. Uçucu Kül.....	26
5.2.3. Yüksek Fırın Letiyesi (Curuf)	27
5.2.4. Silis Dumanı.....	28
5.2.4.1. Silisin Doğada Bulunuşu ve Allotropik Halleri.....	29
5.2.5. Pirinç Kabuğu külü.....	30
6. PUZZOLANLARIN BETONUN DAYANIM VE DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ...	31
6.1. Puzolanik Aktivite.....	33
7. ÇİMENTOLAR.....	35
7.1 Çimento Çeşitleri.....	35
7.1.1 Portland Çimentoları.....	35
7.1.2 Yüksek Fırın Curuf Çimentolar.....	37

7.1.2.1 Demir Portland Çimentosu (D.PÇ. 32.5)	37
7.1.2.2 Curuf Çimentosu (C.Ç. 32.5)	38
7.1.3 Beyaz Portland Çimentosu (TS 21 , BPÇ 32.5)	38
7.1.4 Renkli Çimentolar.....	38
7.1.5 Hidrofob Çimentolar.....	39
7.1.6 Uçucu Küllü Çimento (U.K.Ç. 32.5 , TS 640)	39
7.1.7 Trashlı Çimentolar (TS 26 , Puzolanlar)	39
7.1.8 Sülfatlı Curuf Çimentosu (S.C.Ç. 32.5)	40
7.1.9 Alüminli Çimentolar.....	40
7.2 Çimentoların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	42
7.2.1 İncelik.....	42
7.2.2 Hacim Genleşmesi.....	42
7.2.3 Priz.....	43
7.2.4 Basınç Dayanımı.....	43
7.2.5 Hidratasyon Isısı.....	43
8. HAFİF BETONLAR.....	44
8.1 Taşıyıcı Hafif Betonun Uygulama Alanları.....	48
8.2 Taşıyıcı Hafif Betonun Yapım Esasları.....	48
8.3 Taşıyıcı Hafif Betonun Avantajları ve Dezavantajları.....	50
8.3.1 Avantajları.....	50
8.3.2 Dezavantajları.....	51
8.4. Yarı Hafif Betonun Yararları.....	51
9. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	53
9.1 Kullanılan malzemeler.....	53
9.1.1 Kum (Standart Kum)	53
9.1.2 Çimento.....	53
9.1.3 Agregası.....	53
9.1.4 Karışım Suyu.....	54
9.1.5 Katkı Malzemesi.....	54

9.1.5.1 Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Özellikleri.....	54
9.1.5.2 Puzolanik Aktivite Dencyleri.....	54
9.1.5.3 Pirinç Kabuğu Külü.....	54
9.1.5.4. Pirinç Kabuklarının Yakma Fırınında Yakılma İşlemi.....	54
9.2 Hazırlanan Harçların Karışım Miktarı.....	56
9.2.1 Hazırlanan Harcın Kalıplara Yerleştirilmesi, Kalıpların Özellikleri ve Boyutları,Saklama Koşulları.....	56
9.3 Deneyler.....	57
9.3.1 Agrega ile İlgili Dencyler.....	57
9.3.2 Çimento ile İlgili Deneyler.....	58
9.3.3 Pirinç Kabuğu Külü ile İlgili Deneyler	59
9.3.3.1 Fiziksel Özellikleri	59
9.3.3.2 Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Özellikleri.....	59
9.3.3.3 Pirinç Kabuğu Külü için Yapılan Puzolanik Aktivite Deneyleri.....	59
9.4 Sertleşmiş Betonda Yapılan Deneyler.....	60
9.4.1 Sertleşmiş Betonda Eğilme Dayanımı Deneyi.....	60
9.4.2 Sertleşmiş Betonda Basınç Dayanımı Deneyi.....	61
9.5 Sertleşmiş Beton Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları.....	62
9.5.1 Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları.....	62
9.5.2 Basınç Dayanımı Deney Sonuçları.....	65
9.6 Pirinç Kabuğu ile Yapılan Deney Sonuçları.....	69
10. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	70
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER

Şekil. 2.1 Pirinç Kabuğunun X-Işını Difraktogramı.....	5
Şekil. 2.2 Pirinç Kabuğunun Bir Bölgesinin SEM (x500 ve x700) Görüntüsü.....	5
Şekil. 2.3 Pirinç Kabuğunun Bir En kesitinden Elde Edilmiş Silis Profili.....	8
Şekil. 2.4 Pirinç Kabuğu Külünün X Işını Kırınım Analizi (K_{α} Cu Filtresi).....	9
Şekil. 2.5 Pirinç Kabuğu Külünün Sınıflandırma Eğrisi.....	10
Şekil. 2.6 Pirinç Kabuğu Külünün Mikro Analizi.....	11
Şekil. 5.1 Trasin X-Ray Difraktogramı.....	21
Şekil. 5.2 Uçucu Külün X-Ray Difraktogramı.....	27
Şekil. 5.3 Curuf'un X-Ray Difraktogramı.....	28
Şekil. 5.4 Silis Dumanının X-Ray Difraktogramı.....	29
Şekil. 5.5 Kuartz'ın Kristal Yapısı.....	30
Şekil.5.6 Pirinç Kabuğu Külünün X-Ray Difraktogramı.....	30
Şekil 9.1 Pirinç Kabuğu Yakma Fırını.....	55
Şekil 9.2 Hidrolik Yük Kontrollü Eğilme ve Basınç Dayanım Aleti.....	61
Şekil 9.3 Karışımların 7 Günlük Eğilme Dayanımları.....	62
Şekil 9.4 Karışımların 14 Günlük Eğilme Dayanımları.....	63
Şekil 9.5 Karışımların 28 Günlük Eğilme Dayanımları.....	63
Şekil 9.6 Karışımların 90 Günlük Eğilme Dayanımları.....	64
Şekil 9.7 Karışımların Günlere Göre Eğilme Dayanımlarının.....	64
Şekil 9.8 Karışımların 7 Günlük Basınç Dayanımları.....	65
Şekil 9.9 Karışımların 14 Günlük Basınç Dayanımları.....	66
Şekil 9.10 Karışımların 28 Günlük Basınç Dayanımları.....	66
Şekil 9.11 Karışımların 90 Günlük Basınç Dayanımları.....	67
Şekil 9.12 Karışımların Günlere Göre Basınç Dayanımları.....	68

TABLÖLAR

Tablo. 2.1 Ülkemizde Yıllara göre Pirinç Ekiliş, Üretim ve Verimleri.....	2
Tablo. 2.2 Türkiye Çeltik İhracatı.....	2
Tablo. 2.3 Türkiye Pirinç İthalatı.....	3
Tablo. 2.4 Dünya Çeltik Üretiminde Önde Gelen Ülkeler ve Üretim Miktarları.....	3
Tablo. 2.5 Pirinç Kabuğunun Analizi.....	4
Tablo. 2.6 Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Bileşiminin (%) Değişim Aralığı.....	11
Tablo. 5.1 Muhtelif Puzolanların Kimyasal Bileşimleri.....	22
Tablo. 5.2 Puzolanlar Arasındaki Granülometri Değerleri.....	22
Tablo. 5.3 Trasin Kimyasal Özellikleri.....	23
Tablo 7.1 Verilen Portland Çimentolarının Ortalama Mekanik Mukavemetleri.....	37
Tablo 7.2 % Olarak Ortalama Bileşim.....	40
Tablo 9.1 Standart Kumun Granülometrisi.....	53
Tablo 9.2 Çimentonun Fiziksel Özellikleri.....	56
Tablo 9.3 Çimentonun Mekanik Özellikleri.....	57
Tablo 9.4 Çimentonun Kimyasal Analizi.....	57
Tablo 9.5 0-8 mm Agregaların Granülometri Değerleri.....	58
Tablo 9.6 0-4 mm Agregaların Granülometri Değerleri.....	58
Tablo 9.7 Pirinç Kabuğu Külünün Fiziksel Özellikleri.....	58
Tablo 9.8 Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal özellikleri.....	59
Tablo 9.9 TS 25'e Göre Üretilen Harç Karışımları (Puzolanik Aktivite Harçları için)....	59
Tablo 9.10 TS 639'a Göre Üretilen Harç Karışımları.....	59
Tablo 9.11 TS 25'e Göre Pirinç Kabuğu Külünün Puzolanik Aktivite Sonuçları.....	60
Tablo 9.12 TS 639'a Göre Pirinç Kabuğu Külünün Puzolanik Aktivite Sonuçları.....	60
Tablo 9.13 Harç Karışımları.....	60

SİMGELERİN LİSTESİ

DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
TG	: Termo Gravimetri
C₃S	: Tri Kalsiyum Silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)
C₂S	: Di Kalsiyum Silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)
CSH	: Kalsiyum Silikat Hidrat
C₃A	: Tri Kalsiyum Alüminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
RHA	: Rice Husk Ash (Pirinç Kabuğu Külü)
SEM	: Sismik Elektron Mikroskopu
ASTM	: American Society for Testing and Materials

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PİRİNÇ KABUĞU ve KÜLÜNÜN BETONDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İlker BALAYDIN

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

2005, Sayfa : 76

Endüstriyel üretimlerde esas ürünlerin yanında atıl ürünlerde ortaya çıkmaktadır. Atıl olarak elde edilen bu ürünlerin depolanması ve uzaklaştırılması gibi güçlüklerin yanında çevre kirliliği gibi büyük bir sorunu da beraberinde getirmektedir. Üretim sonucu ortaya çıkan atıl malzemelerden biri de pirinç kabuğudur. Bu atıl madde yöre halkı tarafından yakacak ve/veya hayvan yemi olarak kullanılmasına rağmen yinede sorun çözülememektedir. Çevresel kirlenmeye sebep olan bu atıl ürünün inşaat sektöründe değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir.

Bu tez çalışmasında; pirinç kabuğu 600⁰C' de elektrikli bir fırında yakılarak kül elde edilmiştir. Kül daha sonra çimento inceliğine kadar öğütülmüştür. Çimento inceliğine getirilen kül ağırlıkça %10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarda çimento ile yer değiştirilmiştir. Numunelerden elde edilen eğilme ve basınç dayanım sonuçlarına bağlı olarak optimum değer tayin edilmiştir. Bundan başka pirinç kabuğunun hafif beton yapımında kullanılabilirliği üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan çıkan sonuçlar pirinç kabuğu külünün puzolan olarak kullanılabileceği, pirinç kabuğunun ise aşırı su emme özelliğinden dolayı hafif beton yapımında kullanılamayacağı şeklinde özetlenebilir.

Anahtar kelimeler: Pirinç kabuğu külü, pirinç kabuğu, beton, puzolan

ABSTRACT

Master thesis

THE INVESTIGATION OF USABILITY OF RICE HUSK AND ITS ASH IN CONCRETE

Ilker BALAYDIN

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

2005. page: 76

It is appear that waste products other than main products occur in industrial production. There is difficulty storing and removing to these products obtained as waste. Moreover, they are cause to a big problem like pollution of the environment. One of the waste products is rice husk. The problem has dissolved however, neighborhood people use the rice husk as fuel for heating. For this reasons, it is studied on usability of the rice husk caused to pollution of the environment in concrete.

In this thesis study, the firstly rice husk ash was obtained from rice husk by burning at 600 °C in an electric furnace. Then the ash was ground to cement fineness. Test specimens are produced by replacing (10, 15, 20, 25 and 30% by weight) cement with ash powdered. Optimum value was obtained from compressive and bending strengths of the specimens. Furthermore, a study was carried out about usability the rice husk at lightweight concrete produce. The rice husk was used by replacing to sand. Results obtained from these studies may be summarized that the rice husk ash can be used as pozzolan but the rice husk cannot be used in lightweight concrete produce due to high water absorption properties.

Key words: Rice husk ash, rice husk, concrete, pozzolan

1. GİRİŞ

Dünya da nüfus artışı ve teknolojinin gelişimiyle beraber yeni sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlardan biri de fabrikalardaki atık maddelerin artışıdır. Atık maddelerin artması, bilim dünyasını yeni arayışlara yöneltmiş ve değişik kullanım alanları geliştirilmiştir.

Pirinç üretimi sonucu atık olarak aşırı derecede pirinç kabuğu ortaya çıkmakta ve üretimin fazla olduğu bölgelerde, çevrede büyük stok alanları kaplayarak çevrenin bozulmasına neden olmaktadır [1]. Pirinç kabukları, o bölgedeki halk tarafından sobalarda yakılarak ısınmada kullanılmaktadır, kabuklar yandığı zaman yaklaşık olarak 13×10^6 J/kg kadar ısı vermektedir [2,3,4]. Ayrıca kabuklar; çelik endüstrisi, refrakter malzeme, aktif karbon elde edilme, yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır [5].

Pirinç üretiminin atığı olan kabukların tanelerden ayrılması sırasında iki kabuk oluşur.

Birinci kabuk ; Pirinç tanezinin etrafını sarar ve ince zar gibidir, buna kepek denir. Besleyici yönden zengin olduğu için hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Bazen bu kepekli kısım, pirinç üstünde bırakılır ve pirinç bu şekil ile besleyici yönden daha yararlıdır.

İkinci kabuk ; Pirinç tanezinin en dışındaki kabuktur. İçteki kabuğa göre daha serttir. Bu kabuğa “kavuz” veya “kapçık” da denir. Kavuz silis, karbon içerir. Yapısındaki silis, kabukların iskeletini meydana getirir ve amorf haldedir [1].

Bu çalışmada kabuklar, kontrollü şekilde yakılıp elde edilen kül, sahip olduğu puzolan etkisinden dolayı çimento içerisine, belli oranlarda katılacak ve agregaya ile belli oranlarda yer değiştirilerek katılan pirinç kabuğu ile beraber beton harcında kullanılarak kül katkıli hafif beton üretilecektir.

Pirinç kabuğu içerisindeki silis oranının fazlalığından dolayı, puzolanik katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Puzolanlar yalnız başlarına bağlayıcı özelliğe sahip olmayan fakat çimento veya kireçle karıştırıldıklarında su ile yaptıkları reaksiyon sonucu bağlayıcılık özelliği kazanan maddelerdir [6]. Puzolanlar elde edilme şekillerine bağlı olarak doğal ve yapay olmak üzere iki grupta incelenirler [7, 8, 9, 10].

Doğal puzolanlar; volkanik küller, killi şist, diatome toprağı ve pomza taşıdır. Bunlar dünyanın belirli bölgelerinde bulunmaktadır. Doğal puzolanların en önemlisi Almanya’da Ren Vadisi’nden çıkarılan ve Trass adı verilen puzolandır. Bu puzolan gayet üstün özelliklere sahip

olduğundan bir çok ülkede olduğu gibi bizim ülkemizde de puzolan sözcüğünün yerini almıştır [7]. İkinci önemli puzolan ise İtalya, Yunanistan ve ülkemizde de aşırı derecede bulunan volkanik tüflerdir. Bunlar jeolojik oluşumlarına bağlı olarak değişik sınıflara ayrılmaktadırlar, her sınıfın kendine has özelliği ve elde edilme tarzı vardır [11].

Ayrıca pirinç kabuklarının gevşek birim ağırlıkları genel olarak 96-160 kg/m³ arasında değişmektedir. Bundan yola çıkarak pirinç kabuğunun betonda direk kullanımı da ortaya çıkmaktadır. Pirinç kabuğu agrega olarak kullanıldığında hafif beton elde edilmekte [12] ve bunun yanında betonun bazı özellikleri de iyileştirilmektedir.

2. PİRİNÇ KABUĞU VE KÜLÜNÜN ÖZELLİKLERİ

2.1. Pirinç Kabuğu

Pirinç, dünyada 1.6 milyar kişinin besin maddesinin yarısını oluşturur. Ekilebilen alanların % 11'inde yani yaklaşık olarak 145 milyon hektar'da pirinç ekimi yapılmaktadır. Bu 1982 yılı için 411 milyon ton çeltik üretimi demektir[1].

Tablo. 2.1 Ülkemizde yıllara göre pirinç ekiliş, üretim ve verimleri [13]

Yıllar	Ekiliş Alanı(Ha)	Üretim(Ton)	Verim(Kg/Da)
1998	60.000	189.000	315,0
1999	65.000	204.000	313,8
2000	58.000	210.000	362,1
2001	59.000	216.000	366,1
2002	-	216.000	-

Tablo 2.1' Ülkemizde 1998-2002 yıllarına göre pirinç ekim alanlarında ki üretimi ve elde edilen verimler verilmiştir. Tablo 2.2' de Ülkemiz'de ki 1998-2002 yıllarında ki pirinç ihracat miktarı verilmiştir.

Tablo. 2.2 Türkiye çeltik ihracatı [14]

Yıllar İhracat	Miktar(Ton)	Değer(1.000 \$)
1998	652	554
1999	1.555	863
2000	5.785	1.788
2001	4.285	1.214

Tablo. 2.3 Türkiye pirinç ithalatı [14]

Yıllar İthalat	Miktar(Ton)	Değer(1.000 \$)
1998	290.032	96.456
1999	304.654	97.606
2000	450.185	107.819
2001	273.036	57.683
2002	369.339	71.450

Tablo 2.3’de Ülkemiz’in 1998-2002. yıllarında ki pirinç ithalat miktarı verilmiştir.

Çeltik bitkisi, yeryüzünde buğdaydan sonra en fazla üretilen tahıldır. Kavuzlu tane üretimine çeltik denir. Çeltik fabrikalarında işlenerek pirinç elde edilir. İşleme sırasında çeltiğin % 9-10’u kepek, % 20’si kavuz olarak ayrılır[15].

Dünya çeltik üretiminde önde gelen ülkelerin üretim miktarları Tablo 2.4’ de verilmiştir.

Tablo. 2.4 Dünya çeltik üretiminde önde gelen ülkeler ve üretim miktarları [16]

Ülkeler	Ekilen Alan(Ha)	Üretim(Ton)	Verim(Kg/Da)
Dünya	146.029.456	579.476.722	396,8
Çin	28.360.000	177.589.000	626,2
Hindistan	40.000.000	123.000.000	307,5
Endonezya	11.500.000	48.654.048	423,0
Bangladeş	10.900.000	39.000.000	357,8
Vietnam	7.539.000	31.319.000	415,4
Tayland	9.920.000	27.000.000	272,1
Myanmar	6.200.000	21.200.000	341,9
Filipinler	4.034.350	12.684.800	314,4
Japonya	1.700.000	11.264.000	662,5
Brezilya	3.174.840	10.489.400	330,3
Amerika	1.297.840	9.616.750	740,9
Türkiye	85.000	400.000	470,5

2.1.1. Pirinç Kabuğunun Yapısı ve Bileşimi

Pirinç kabuğu, çeltik ürününün % 16,3-26'sını oluşturur[17]. Kabukların yapısı, mevsim, jeolojik yapı, su, özel kültür uygulamasına göre değişkenlik gösterir. Kabuk organik ve inorganik bileşiklerden oluşur. Kabuğun bileşiminde C, H, O, N, Si, Fe, Al, Ca, Mg, Na, K, P, Mn, Zn elementleri bulunur [18].

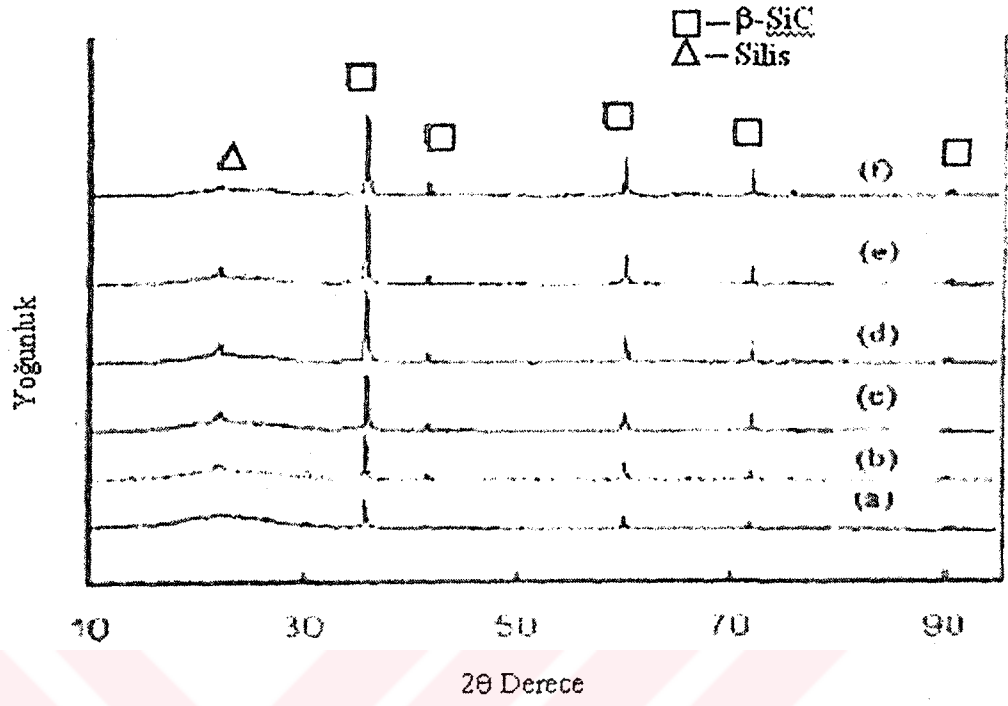
Pirinç kabuğunun kimyasal bileşiminin ağırlık yüzdesi değişiktir. Kabuktaki su, protein, yağ, ekstraktif madde, lif, kül, pentozan, selüloz, lignin oranlarını bir çok araştırmacı değişik oranlarda bulmuştur. Örneğin, kabuktaki kül yüzdesi 15,27-29,04 arasında değişmektedir. Kabuktaki silis, kabuğun iskeletini oluşturur ve amorf silis, $SiO_2.nH_2O$ şeklinde ; monosilisli asit veya silikat olarak bulunur [19].

Pirinç kabuğunun kimyasal olarak yapılmış olan analizi Tablo 2.5'de gösterilmiştir.

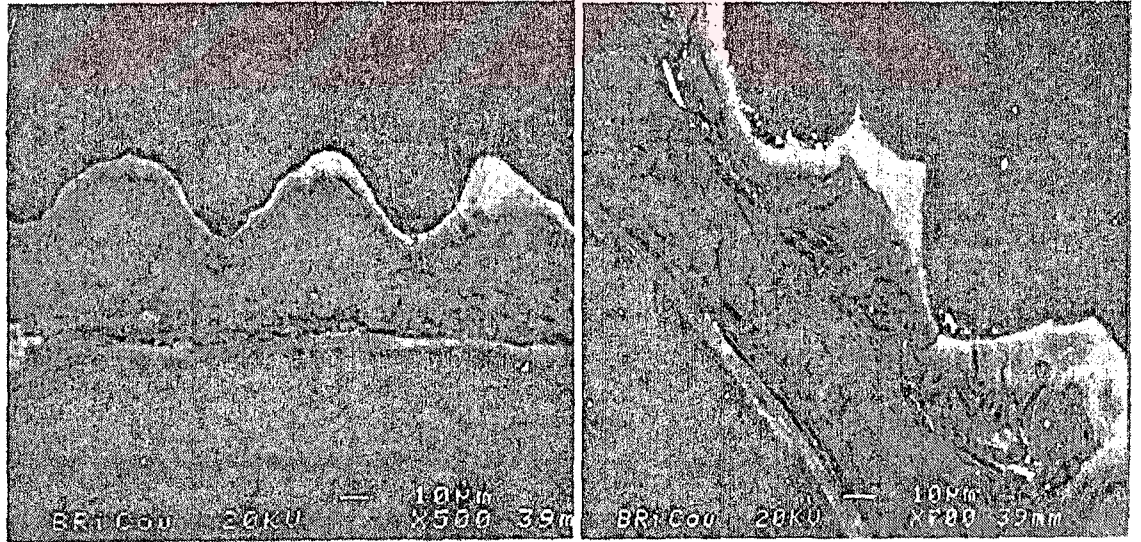
Tablo. 2.5 Pirinç kabuğunun analizi [20]

	Islak	Kuru
Ca (%)	34.61	38.43
Hidrojen (%)	3.79	2.97
Nitrojen (Azot) (%)	0.44	0.49
Oksijen (%)	41.58	36.36
Sülfür (%)	0.06	0.07
Uçucu Madde (%)	55.54	61.68
Sabit Carbon (%)	14.99	16.65
Kül (%)	19.52	21.68
Nemlilik (%)	9.95	0.00
Isı Değeri (kj/kg)	13 800	15 324

Kabuktaki silisin opal camı şeklinde oluşu X-RD ve mikroskop ile yapılan incelemelerle de kanıtlanmıştır [26,29]. Aşağıdaki Şekil.2.1'de pirinç kabuğunun zamana bağlı olarak X-Işını Difraktogramı, Şekil.2.2'de de SEM fotoğrafı görülmektedir. Difraktogram da belirgin bir kristal pike rastlanmamaktadır.



Şekil. 2.1 Pirinç kabuğunun X-ışını difraktogramı [40]



Şekil. 2.2 Pirinç kabuğunun bir bölgesinin SEM (X500 ve X700) görüntüsü [20]

2.1.2. Pirinç Kabuğunun Özellikleri

Kabukların gevşek birim ağırlığı 96-160 kg/cm³ arasında değişir. Kabuktaki opalin silis'in MOHS sertliği 5-6 dır [21]. Oysa kuartz'ın sertliği 7'dir [5]. Kabukların ısı değeri 13,8-15x10⁶ J/kg dır [1,2,3,30] diğer katı yakıtlar ve fuel-oil'in ısı değerlerinden düşüktür. Odunun 18,8x10⁶ J/kg, kömürün 29,7x10⁶ J/kg, fuel-oil'in 38, 8x10⁶ J/kg'dır. Böylece 1 ton pirinç kabuğu 0,48 ton kömür, 0,36 ton fuel-oil'e denktir.

Kabukların ısı izolasyon özelliği de iyidir. Isı iletkenlik katsayısı istiflemeye göre değişir. 0,036-0,086 W/m.k dır.Bu aspette 0.041 W/m.k, cam yününde 0.030 W/m.k, granülo mantarda ise 0,028 W/m.k dır [21].

2.1.3. Pirinç Kabuğunun Kullanıldığı Yerler

1. **Yakıt olarak kullanım** : Kırsal bölgelerde kışın kabuklar ısı gereksinimini karşılamak üzere sobalarda yakılır. Böylece ısı enerjisinden yararlanılır. Endüstriyel bölgelerde ise buhar kazanlarında yakıt olarak kullanılır. Örneğin ABD'de P.K.Mehta, İtalya'da Gariboldi özel tip buhar kazanlarında kabuklardan yakıt olarak yararlanmışlardır [22].

2. **Çelik endüstrisinde kullanım** : Kabuk veya yarı yanmış kabuk şeklinde kullanılır. Çelik üretimi sonunda kabuklar, çelik külçelerin üzerine serilir. Böylece çeliğin soğuması yavaşlatılır ve kristal yapı oluşur, ayrıca kalıbın düzgün şekilde çıkması sağlanır. Kabuklardan bu şekilde yararlanma Kanada, İngiltere, Romanya, İspanya, Hindistan, Japonya ve ülkemizde de görülür.

3. **Refrakter malzeme olarak kullanım** : Özellikle Mısır, Japonya ve bazı diğer ülkelerde refrakter malzeme üretiminde ve izolasyon malzemesinde pirinç kabuklarından yararlanılır.

4. **Aktif karbon eldesinde kullanım** : Pirinç kabukları havasız yerde yakılarak aktif karbon elde edilebilir. Aktif karbon adsorbsiyon yeteneğinin yüksek oluşu nedeniyle sanayide

renk, koku giderici olarak kullanılır. Aktif karbon amorf karbon içerir. Gözenekliliği ve özgül yüzeyi büyüktür. Özgül yüzey 0,08-0,1 m²/g arasında değişir [23].

5. Yapı malzemesi olarak kullanım : Çeltik kapçığı, hafif beton imalinde hafif agrega olarak kullanılır [24].

2.1.4. Pirinç Kabuğu Yakma İşlemi

Pirinç kabuğu yakılarak kül elde edilir. Külün kullanım şekline göre kabuğun yakma şeklide değişiktir. Kabuk yakıt olarak kullanılıyorsa yakma koşullarını sabit tutmaya gerek yoktur. Ancak yapı malzemesi olarak bir puzzolan olarak kullanılmak istendiğinde kabukların yakılması ve külün soğutulması belli koşullarda gerçekleştirilmelidir[3,4,10,25,19,17, 21; 26, 27 28].

Fırında, yakma ve soğutma koşulları sabit tutularak yani kontrol edilerek amorf durumda SiO₂ içeren puzzolanik özellikte kül elde etmek mümkündür[26]. Bu yapıdaki pirinç kabuğu külü, çimento veya kireç ile karıştırıldığında, çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan Ca(OH)₂ ile veya çimentoda bulunan serbest kireç (CaO) ile birleşerek kalsiyum silikat hidrati (C-S-H) şeklinde harç ve betona mukavemet kazandıran ve suda çözünmeyen bileşikler oluşturur.

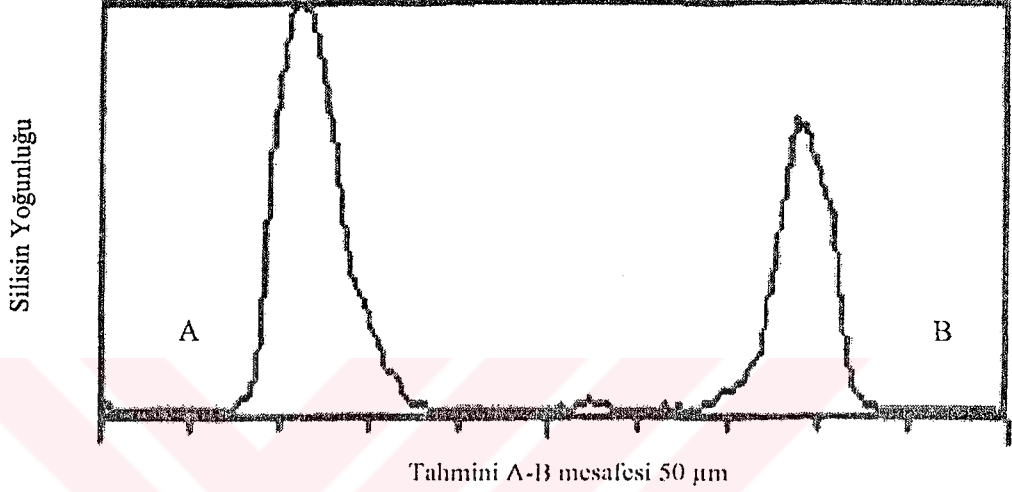
Kabukların yanması sırasında 600⁰C de silis'in kuartz şekli kısmen oluşmaya başlar[36]. Yanma sıcaklığı artırıldığında kuartz, kristobalit dönüşümü 800⁰C-900⁰C ve ileriki sıcaklıklarda tamamlanır. DTA (Diferansiyel Termal Analiz) ve TG (Termo Gravimetri) eğrilerinde de amorf silis faz dönüşümlerinin 750⁰C de başlayıp 860⁰C de tamamlandığı görülür[1].

Yakma işlemi sırasında pirinç kabuklarındaki selüloz ve lignin bozunur. Termal analizler sonunda bu bozunma sıcaklıkları selülozda 327-377 ⁰C, ligninde ise 227-500 ⁰C dir [29].

Dass [27], pirinç kabuklarını 500-1000⁰C arasında 7 değişik sıcaklıkta 1,2,3,5 saat yakarak elde ettiği küllerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Dass, 500⁰C de 1 saat

de elde ettiği küllerin kireç reaktivitesinin (puzzolanik aktivite) diğer küllere göre en yüksek olduğunu, hatta 700°C ye kadar bile amorf yapıda olduğunu göstermiştir.

R.Jauberthie ve arkadaşlarının yapmış oldukları araştırmada pirinç kabuğunun bir enkesitinden elde etmiş oldukları silis profili Şekil.2.3’de verilmiştir[20].



Şekil. 2.3 Pirinç kabuğunun bir en kesitinden elde edilmiş silis profili

James ve Rao [30] da buna bağlı olarak bir çalışmada en aktif pirinç kabuğu külünü 500°C’ de elde ederek Dass’ın [27] çalışmasını desteklemişlerdir.

Cook, Pama, Damer [31] de puzzolanik karaktere sahip külleri 350-500°C de elde etmişlerdir.

Bidin [25] ve arkadaşları 340°C den 1000°C ye kadar değişik sıcaklıklarda pirinç kabuklarını 5, 30, 60 dakikada yakmışlardır. Yakma sıcaklıkları içinde 500°C ve 600°C de en aktif silisi elde etmişlerdir. Tüm yakma sıcaklıklarında 5 dakikada amorf silis elde ederken, yakma sıcaklığı 400°C, 500°C, 600°C iken süre 1 saate çıkarıldığında aktif silisin arttığını görmüşlerdir [1].

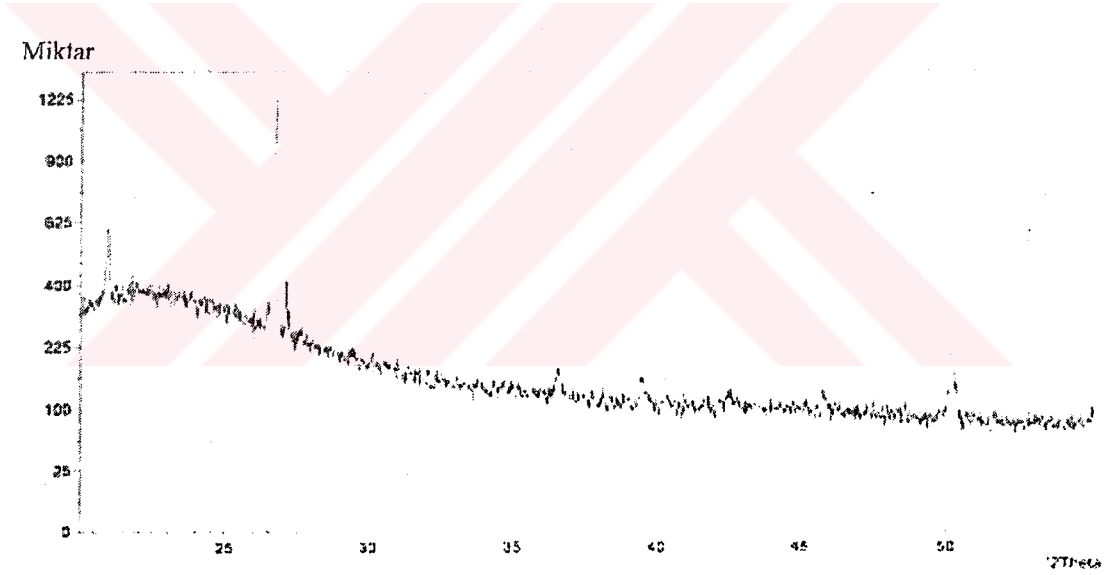
2.2. Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç kabuğu yandığı zaman %20 kül verir. Külün puzolanik karakteri, yakma ve öğütme koşullarına göre değişir[18].

2.2.1. Pirinç Kabuğu Külünün Yapısı ve Bileşimi

Pirinç kabuğu külünün yapısı, pirinç kabuğunun yapısı ile ilgilidir. Yakma sonucu oluşan külde organik bileşiklerden gelen az miktarda karbon (C) bulunur. Kabuktaki karbon miktarına göre kül iki şekilde tanımlanır. Karbon miktarı %1,5'ten az ise kül, %1,5'ten büyükse odun kömürü denir[32].

R. Jauberthie [20] ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada pirinç kabuğu külünün X ışını kırınım analizinin grafiğini aşağıda şekil.2.4'de vermişlerdir.

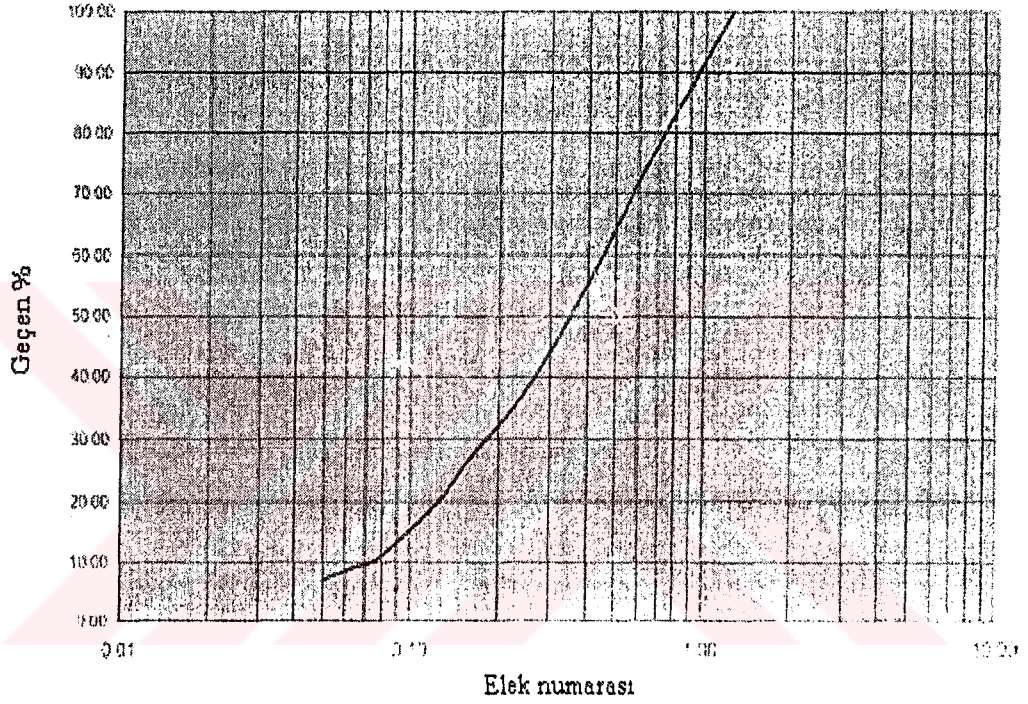


Şekil. 2.4 Pirinç kabuğu külünün X ışını kırınım analizi (K_{α} Cu Filtresi)

Kabukların yanma sıcaklığına ve süresine bağlı olarak külün rengi siyah, koyu gri, gri, beyaz, pembemsi leylak rengine göre değişir. Yakma işlemi sırasında karbon'un büyük bir kısmı CO_2 şeklinde uzaklaşır, kabuktaki silis ise yapının iskeletini oluşturur. Kabuklar yandıktan sonra elde edilen kül, elektron mikroskopunda incelenmiştir.

2.2.2. Pirinç Kabuğu Külünün Granülometrik Analizi

R. Jaubertie [20] ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada pirinç kabuğu külünün granülometrik sınıflandırma eğrisi Şekil.2.5'de gösterilmiştir. Bu eğride pirinç kabuğu külünün 1mm ve 0.1 mm arasında elde edilmiş olması olumlu bir sonucu ortaya çıkarmıştır. Bu çalışma sonucu SONACO laboratuvarında toz haline getirilerek yakılmış pirinç kabuğu külünün sınıflandırılması ile hemen hemen aynı olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil. 2.5 Pirinç kabuğu külünün sınıflandırma eğrisi

2.2.3. Pirinç Kabuğu Külünün Bileşimi

Pirinç kabuğu külünün bileşimi, kabuğun yapısına ve yakma koşullarına göre değişir. Genelde kimyasal olarak SiO_2 miktarı %80-90 arasındadır, diğer bileşiklerde buna bağlı olarak değişmektedir. Külün kimyasal bileşimi Tablo.2.5'de verilmiştir.

Tablo. 2.6 Pirinç kabuğu külünün kimyasal bileşiminin (%)’ce değişim aralığı [18].

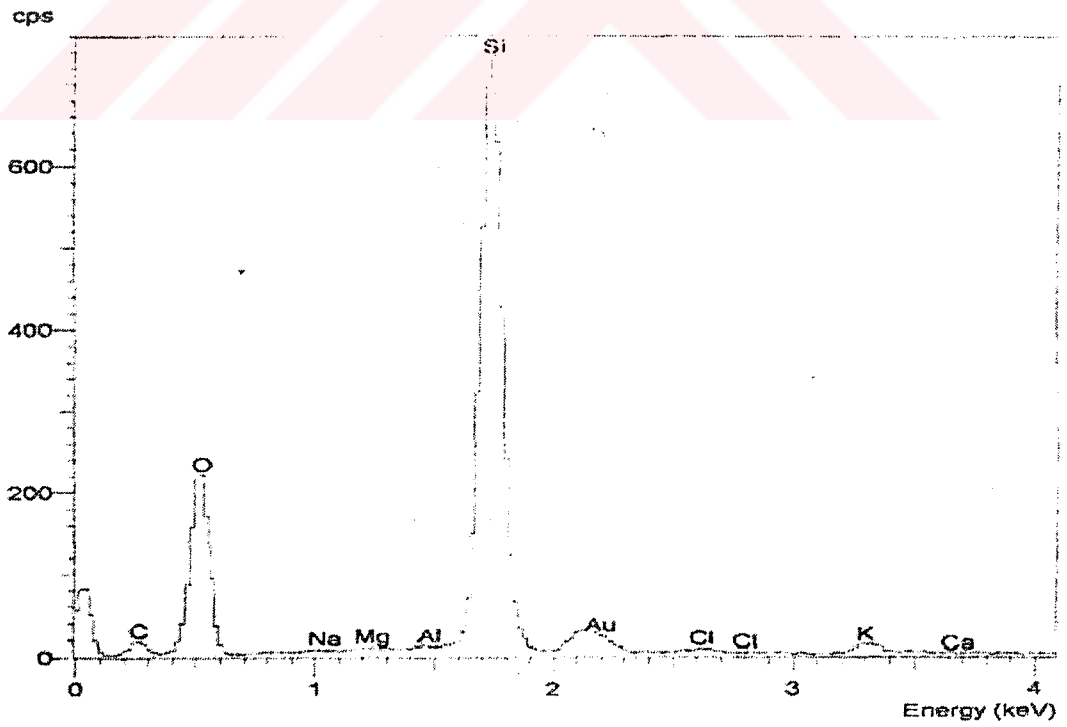
SiO ₂	% 86-97,3
CaO	% 0,20-1,5
MgO	% 0,12-1,96
Fe ₂ O ₃	% cser-0,54
Na ₂ O	% cser-1,75
K ₂ O	% 0,58-2,50
SO ₃	% 0,10-1,13
P ₂ O ₅	% 0,20-2,85
Cl	% cser-0,42

2.2.4. Pirinç Kabuğu Külünün Özellikleri

Pirinç kabuğu külünde silis %80-90 oranında bulunur. Bu araştırma açısında da külün en önemli özelliği amorf silis’ten ileri gelen puzolanikliliğidir.

Pirinç kabuğu külünün gözenekliliği, özgül yüzeyinin büyüklüğü, amorf silise sahip olması külün puzolanikliliğini kanıtlamaktadır.

Pirinç kabuğu külünün mikro analizi Şekil.2.6’da verilmiştir[20].



Şekil. 2.6 Pirinç kabuğu külünün mikro analizi

Gözeneklilik : Kabuklar yandığı zaman organik yapı bozularak gözenekli boşluklu kül oluşur. Ankra, külün gözenekliliği ile spesifik yüzeyi arasında lineer bir bağlantı olduğunu belirtmiştir[1].

Özgül yüzey : Külün gözenekliliğinin yanı sıra spesifik yüzeyde önemlidir. Külün spesifik yüzeyi BET adsorpsiyon yöntemi ile saptanır. Spesifik yüzey, kabuk yakma sıcaklığı, süresi, öğütme şekli ve sıcaklığı ile değişir. Puzolanik özellikte spesifik yüzey ile değişir [28].

Alkhalaf[28] 500 °C de 2 saat yakarak elde ettiği külleri 12 saat öğütmüştür ve spesifik yüzeyini 2,1 m²/g bulmuştur.

Mehta[10] ise çalışmasında 50 m²/g, Cook [1] da 150 m²/g olarak saptamıştır. Cook ve Suwanvitaya[33] kabukları 2 m uzunluğunda elektrikli fırında 35 dakika yakarak daha sonra öğütmüşler ve bu külün spesifik yüzeyini de 152 m²/g olarak bulmuşlardır.

2.2.5. Pirinç Kabuğu Külünün Kullanıldığı Yerler

Pirinç kabuğu külü aktif karbon eldesin de, su saflaştırma işleminde, ince malzemenin filtrasyonun da, adsorpsiyon aracı ve koagülatör olarak kullanılır. Ortamda istenmeyen katı, sıvı veya gazların uzaklaştırılmasında, örneğin deniz ve göller üzerindeki kirler, döküntülerin yok edilmesinde yararlanır.

Silisyum tetraklorür (SiCl₄) gibi Si ve türevlerinin eldesin de kullanılır. Cam ve seramik endüstrisinde Si gereksinimini karşılar. Si ve C içermesi nedeniyle kauçuk üretiminde dolgu malzemesi olarak da yararlanır [34].

Dolgu malzemesi olarak, diş macunlarında, sabun endüstrisinde, boya, cila, vernik, mürekkep imalinde dolgu ve katkı şeklinde değişik yerlerde kullanılır.

Yüksek ısı absorblama yeteneğinden dolayı refrakter malzemede, ısı izolasyon tuğlaları ve özel seramiklerin üretiminde de kullanılır.

Temizlik malzemesi olarak yer döşemeleri ve metal malzeme üzerinde kir ve pasın temizlenmesi, parlatılmasında külün abrasif özelliğinden yararlanır.

Yapı malzemesi olarak çimento veya kirece katılarak harç üretmek mümkündür. Çimentoya katarak puzolan gibi kullanılır [1]. Ancak pirinç kabuğu külü çimentoya katılırken

uygun bir şekilde öğütülmelidir [35]. Kül çimentoya öğütülmüş şekilde katıldığı gibi klinker ve alçı taşı ile birlikte öğütülebilir. Bu şekilde çimentoyla birlikte öğütüldüğünde mekanik özellikler daha iyidir [1, 36].

Pirinç kabuğu külünden blok, tuğla, çini ve briket üretiminde yararlanmak amacıyla da çalışmalar yapılmıştır [1, 37, 38, 39].

Bazı ülkelerde kül, basit sıva ve harç işlerinde halen kullanılmaktadır [26,1]. Ancak külü gerek çimentoda gerekse harç işlerinde ekonomik olarak kullanabilmek için kabuk yakma fırını ve değirmen, çeltik fabrikalarının yakınında inşa edilmelidir[40]. Pirinç üretiminin fazla olduğu ülkelerde (Taylant, Pakistan, Malezya v.s) özellikle kırsal bölgelerde bölgesel konut yapımında, külden geniş ölçüde yararlanır. Bu bölgelerde yapılan bu tür konutların maliyetinin daha ucuz olduğu görülmüştür [28,1].

2.2.6. Pirinç Kabuğu ve Pirinç Kabuğu Külüyle Yapılmış Bazı Çalışmalar

Della, Kühn, Hotza'de tarafından yapılan bir çalışmada, pirinç kabuğu külü üzerinde yapılan bir araştırmada, külün, bir yan ürün olarak yüksek miktarda Silis içerdiği tespit edilmiştir. Pirinç kabuğunda ki ayrışmaz silisin, ısı yalıtımında ve seramik yapımında önemli bir rol oynayabileceği ayrıca yapısında % 1 oranında alkalinin de bulunduğunu ortaya çıkarmışlardır[41].

Assureira, tarafından yapılan bir çalışma da, pirinç kabuğunun alternatif bir yakıt olarak evlerde kullanılabileceği çalışmalarla ispat edilmiştir. Peru'da yapılan bu çalışma sonucunda, yakıt olarak kullanılmasının yanı sıra, pirinç kabuğu briketleri yapılabileceği de ortaya çıkarılmış, kırsal bölgelerin çoğunda briket yapım uygulamasına geçilmiştir[42].

TORBED, tarafından yapılan bir çalışma da, pirinç kabuğunun bir çok bölgesinde gaz veya direk yakma ile enerji üretimi için halen kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Üretilen külden, bir silis dumanı olarak faydalanmanın mümkün olmadığını, genellikle enerji teknolojisiyle pirinç kabuğundan bir yan ürün olan külden içerdiği silisten faydalanmak suretiyle yararlanılabileceği, burada da iki kusurun ortaya çıkabileceğinden bahsetmişlerdir[43].

Bu sorunların ilki: Kül içerisinde yüksek miktarda oluşabilecek olan karbonun bir araya toplanmasıdır.

İkinci sorun ise: Amorf silisin bir kısmının silis kristallerine dönüştürülebilirliği.

Kül, yakma ve öğütme koşullarına bağlı olarak büyük parçacıklar halinde, amorf yapıda çimento da kullanılabilirliği ortaya çıkmaktadır.

Jauberthica , Rendella, Tambab [20], tarafında yapılan araştırma da, pirinç kabuğu külünün düşük maliyetli beton üretiminde, içerdiği silisten dolayı puzolan olabileceğini ayrıca dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğini belirlemek için, Senegal' de yetiştirilen pirinç üzerinde kimyasal analiz, granülometrik analiz ve XRD analizi yapmışlardır. Bulunan yüksek miktardaki silisten kaynaklanabilecek bir puzolan olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Bouzoubaa, Ottawa Anka Gelişim Anonim Ltd (DCR) ile birlikte yaptıkları bir çalışmada, RHA'nın üzerinde iki aşamadan oluşan bir çalışma yapmışlardır. İlk çalışmada, minimum enerji ile RHA'nın kısa bir sürede öğütülmesi üzerinde çalışılmış. İkinci aşamada ise, Rha'nın beton içerisindeki performansı hakkında çalışılmıştır[44].

Kireç ile yapılan aktivite araştırılmış, aynı W/C oranına sahip olan portland çimentosu ve RHA katılarak üretilen portland çimentosu arasında kayda değer bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Yalnız klor iyonlarına karşı koyma direncini önemli ölçüde artırmıştır.

Singh, tarafında yapılan diğer bir araştırma da, pirinç kabuğu yüksek ısı uygulanarak ayrıştırıldığı zaman, selüloz ve su ile bileşik yaparak , amorf yapıda silis içerdiği ve yüksek ısı ile pişirildiği zaman, karbon ve silis arasında bir reaksiyona sebep olduğu ve bu sayede de SiC'nin oluştuğunu ortaya çıkarmışlardır. Bu çalışma da, XRD ve SEM ve ısıl plazma tekniğinden faydalanmışlardır[45].

3. BETONDA DAYANIKLILIK

3.1. ASTM'ye göre durabilite : Malzeme, yapı bileşeni veya yapı elemanının yapı sistemi içindeki servis yeteneğini belirli zaman boyunca sürdürübilme yeteneğidir[46].

Beton veya harç üzerinde durabiliteyi belirlemek için eskitme süreçler uygulanır. Yapılan bu deneylerden sonra veya harçta, hasar düzeyini, ürünlerini saptamak amacıyla hasar kontrol deneyleri (=hasar tespit deneyleri) yapılır.

3.1.1. Eskitme süreçleri : Betonun durabilitesinde, betonun geçirimsizliği; kimyasal etkilere karşı direnci, taze ve sertleşmiş betonda don etkisi, betonun termik, elektriksel özellikleri, bunların zaman içinde değişimi anlaşılır [6]. Betondaki eskitme süreçleri arasında, ıslatma-kurutma, donma-çözünme, çözeltilerde bekletme şeklinde deneyleri saymak mümkündür.

3.1.2. Hasar tespit deneyleri : Eskitme süreçleri sonunda hasarı belirlemek ve hasar tespiti için kontrol deneyleri yapılır. Bu deneyler fiziksel, kimyasal, mekanik olabilir.

Fiziksel deneyler arasında, ağırlık boy değişimi, kılcallık, geçirimsizlik, porozite, özgül ağırlık, birim ağırlık deneyleri sayılabilir.

Kimyasal deneyler beton veya harcın bünyesindeki veya çözeltilerdeki, kimyasal değişimi, oluşan yeni ürünleri, kristal yapıyı inceleyen X-Ray Difraktometresi, S.E.M., T.E.M. ile yapılan deneyler ve kimyasal analizlerdir.

Mekanik deneyler ise eğilme, basınç dayanımı, elastiklik modülü tayini v.s dir.

Beton dayanıklılığı, iç ve dış etkilere belli süre içinde en az şekilde etkilenmesi olarak düşünülebilir. Betonun durabilitesinde ana faktör, bağlayıcı madde çimentonun mukavemetidir. Çimentonun mukavemetine dolayısıyla betona fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal etkenleri içeren dış ortam etki eder. Betonun dayanıklılığına etki eden iç ve dış etkenler birbirleri ile de ilgilidir[1].

3.1.2.1. İç etkiler

Betonun içindeki agrega ve suyun ; çimentonun hidratasyonu sırasında ve/veya sonunda oluşan ürünlerle yaptığı hasar iç etkilerle oluşur. Bu tür hasar, çimento, agrega, su özelliklerine göre şiddetli veya zayıf olur.

Çimentonun hidratasyonunun ürünlerinin çözünürlüğü, çimentonun yapısı, bileşenleri, korozyona neden olabilir. Bu nedenle çimentodaki bileşikler (C_3S , C_3A v.s), alkaliler, serbest CaO , MgO , SO_3 , kızdırma kaybı çimentonun cinsine göre standartlarda sınırlandırılmıştır.

Betonda iç etkilerle oluşan alkali-agrega reaksiyonu, çimentodaki alkalilerle, agraada ki aktif silis'in reaksiyonu sonunda ortaya çıkar. Reaksiyon sonucu hacimce genişleme meydana gelir. Bu nedenle çimentoda bulunmasına izin verilen alkali değeri ve agraadaki silis sınırlandırılarak alkali-agrega reaksiyonu önlenir[47].

3.1.2.2. Dış etkiler

Sertleşmiş beton, dış ortam nedeniyle fiziksel, kimyasal etkenlerle hasar görebilir .

Betonun ömrünü azaltan bu dış faktörleri şöyle sıralayabiliriz;

a. İklim koşulları ve su ile temas betonun ömrünü azaltır. Özellikle nem oranı, donma-çözünme ve sıcak soğuk suyla temas betonun direncini azaltır.

b. Kimyasallarla temas eden betonlar çabuk yıpranır. Kimyasalın tipi, konsantrasyonu, temas süresi, sıcaklığı yıpranma da oldukça etkindir. Konsantrasyonu ve ısıyı yüksek, kuvvetli kimyasalların beton yüzeyi dökülmesi, özellikle bunlarla uzun süreli temas betonun mukavim olmadığı faktörlerdir ve beton üzerinde son derece yıpratıcı etki yaparlar.

c. Yeterince ve doğru şekilde yapılmayan bakımlarda betonun ömrünü azaltan faktörlerden biridir. Endüstriyel zeminlerin en fazla darbe de aşınmaya maruz kalan kısmı üst yüzeyidir. Dolayısı ile bu bölgenin korunması, günümüzde büyük önem taşımaktadır[44].

3.1.2.2.1. Fiziksel etkenler : İklim nedeniyle donma-çözülme, ıslanma-kuruma, kum fırtınaları, trafik araçlarının yaptığı aşınmalar olabilir [34,1].

3.1.2.2.2. Kimyasal etkenler : Korozyona neden olan dış ortam olabilir. Bu, çeşitli kimyasal bileşenlerden oluştuğu için literatürde kimyasal ortam olarak da adlandırılır. Kimyasal bileşikler katı, sıvı, gaz şeklinde bulunabilir. Kimyasal etkenlerin en çok rastlanan şekli çözelti ortamında olur. Betondaki kimyasal korozyonun şiddeti, çözeltinin sıcaklığına, çözeltideki tuz ve asitlerin cinsine, konsantrasyonuna bağlıdır [47].

Betonda iç ve dış etkiler nedeniyle çeşitli şekil ve büyüklüklerde boşluklar oluşur. Betonun dayanıklılığında en önemli nokta, bu boşluklar nedeniyle oluşan geçirimsizliktir. Dayanıklılığın iyi olabilmesi için beton dış ortamdaki sıvılara ve buhar akımına karşı geçirimsiz olmalıdır. Boşluklu malzemelerde sıvı, doymuş akım (=basınçlı geçirimsizlik), doymamış akım (=kılcallık), buhar akımı şeklinde hareket eder[49]. Betonda geçirimsizlik ve kılcal su emme olayını önlemek mümkündür.

Geçirimsizlik, büyük özgül alanı olan puzolanları çimentoya katmakla, kılcal geçirimsizlik ise su itici katkılarla sağlanabilir [1].

4. ZARARLI ORTAMIN BETONA ETKİSİ

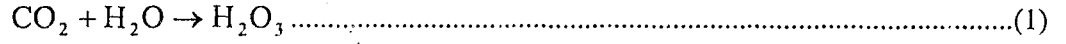
Beton için zararlı dış ortam genellikle kimyasal çevredir. Doğadaki sülfat, klorür, nitratlı sular korrozif kimyasal ortamı oluşturur. Doğada nehir, göl, ırmak, deniz sularının yanı sıra kimya endüstrisinin neden olduğu kimyasal atık maddeler de şekilde betonu tahrip eder. Kimya endüstrisinde üretim sırasında ve/veya sonunda oluşan tuz ve asit çözeltileri aşınmaya neden olur.

Betonu etkileyen organik maddeler bitkisel, hayvansal, metalik yağlar, yosunlar, bakteriler gibi organizmalardır. Bunlara ilave olarak asetik asit, laktik asit gibi organik asitler de sayılabilir.

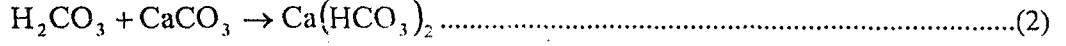
Kimyasal etkilerin neden olduğu çözeltiler beş grupta toplanır [47,1].

1. Saf sular : Çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan Ca(OH)_2 'i çözerek boşluklu geçirimsiz beton oluşumunu kolaylaştırır.

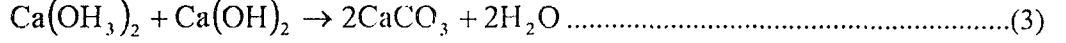
2. Karbonatlı çözeltiler : Havadaki CO_2 su içinde H_2CO_3 'e dönüşür. Oluşan H_2CO_3 betona korrozif şekilde etki eder.



Meydana gelen H_2CO_3 , CaCO_3 'a etki eder ve :



oluşan $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ise ortamdaki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile tekrar karbonat oluşturur.



Eğer CO_2 az ise (3) ile reaksiyon biter ve CaCO_3 boşlukları doldurarak daha dayanıklı bir yapı meydana gelir. CO_2 miktarı fazla ise (2) reaksiyonu ile korozyon devam eder.

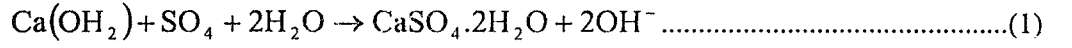
3. Klorlu çözeltiler : Çözeltideki klorürler çimentodaki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in çözünmesini kolaylaştırır, betonarme yapıdaki donatının korozyonuna neden olur. Bu olumsuz etkilerin yanı sıra, sülfat iyonlarının C_3A ' da ki etkisini yavaşlatması olumlu bir etkiye şeklidir. Klorürler özellikle deniz suyunda CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl , KCl şeklinde ve bunların birkaç tanesinin bir arada karışımı halinde bulunabilir.

4. Nitratlı çözeltiler : Nitratlar , çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girer. Meydana gelen ürün , C_3A 'nın C_3AH_6 ile reaksiyona girerek hacimce genleşmeye neden olan tuzlar oluşturur[1].

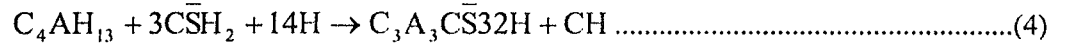
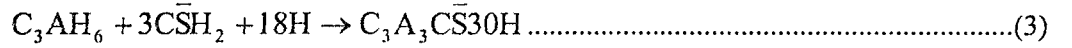
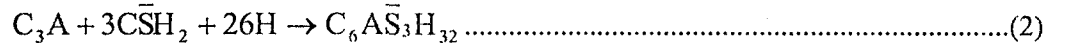
5. Sülfatlı çözeltiler : Sülfatlı bileşiklere doğada çok sık rastlanır. Toprakta %0.01-0.05 hatta %5 oranında bile bulunabilir. Sülfat , az veya çok tüm sularda , temel sularında , akarsular deniz suyunda veya kimya endüstrisinde ürün ve/veya atık şeklinde , Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} alkali ve toprak alkalilerin tuzları , NH_4^+ tuzu bileşimindedir. Ayrıca fabrika baca gazında oluşan SO_2 'nin atmosferdeki su ile yaptığı asit yağmuru da sülfat asidi şeklindedir.

Betonda sülfat etkileşimi, sülfatlara , çimento ve betonun yapısına , tuzların konsantrasyonuna , dış koşullara, zamana , çözeltinin yenilenmesine ve hareketine v.s. bağlıdır. Betonla sülfatlı çözeltiler arasında oluşan reaksiyon ürünleri , sülfata bağlı katyonlar , farklı sülfat karışımları , bunların birbirine bağlı oranları , çözeltideki klorür iyonları miktarı , çimentodaki , C_3A miktarı , C_3A 'nın kristal şeklinin kübik , tetragonal , ortorombik olması , hidrate çimento hamurundaki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'e göre değişir ve sülfat etki mekanizması çok karmaşıktır.

Sülfatlı çözeltilerde ortamdaki sülfat iyonları çimentonun hidratasyon ürünü $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile birleşerek aşağıda denklem 1'de görüldüğü gibi $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 'yu meydana getirir.

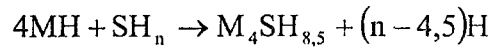
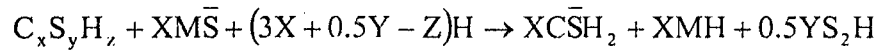


Bu reaksiyon Na_2SO_4 'lı ortamda ise NaOH , MgSO_4 'lı ortamda ise $\text{Mg}(\text{OH})_2$ meydana gelir. Reaksiyon sonunda oluşan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, çimentodaki C_3S , hidratasyon ürünü C_3AH_6 , C_4AH_{13} , $\text{C}_4\text{ASH}_{12-18}$ ile Candlot tuzuna dönüşür. Candlot tuzu doğal mineral olan Ettringit'e çok benzer 30 molekül H_2O bağlanması nedeniyle harç veya betonda hacim artışına neden olur[6,1].



Sülfatlı çözeltilerde sülfata bağlı kationun rolü önemlidir. Na_2SO_4 ve MgSO_4 çözeltilerinin korrozif etkisi karşılaştırıldığında MgSO_4 çözeltisinin sülfat korozyonunun daha etkili olduğu görülmüştür[34].

MS , çimentoda C_3S 'in hidratasyon ürünü CSH ile reaksiyona girerek MSH oluşturur. NS ise C_3A 'nın hidratasyon ürünleri ile reaksiyon yapmaktadır. Na_2SO_4 ile MgSO_4 'ın beton üzerindeki etkisi bu bakımdan farklıdır. Magnezyum sülfatı'nın CSH reaksiyonu şöyledir;



Yukarıdaki reaksiyona göre MSH, CSH'da ki C'nin M ile yer değiştirmesi sonucu oluşur. Halbuki bu reaksiyonu Na^+ iyonları gerçekleştirmez. Bunun nedeni ; Ca^{++} ile Mg^{++} 'nın periyodik cetvelde aynı grupta yer alması ve Mg' un iyon çapının Ca'dan daha küçük olmasıdır. Mg ile Ca'nın yer değiştirmesi sonucu oluşan ürün MSH, CSH'a benzemez. Çözünerek betonu veya harcı hasara uğratar[1].

5. PUZOLANLAR

İçinde fazla miktarda kolloidal elemanlar özellikle silis ve daha az miktarda alümin bulunan maddelerdir. Puzzolanların tek başlarına bağlayıcılık özelliği yoktur. Ancak başka bir bağlayıcı ile kireç veya çimento ile, karıştırılınca bağlayıcılık özelliği kazanırlar. bundan anlaşılıyor ki, bu maddenin reaksiyonunu sağlamak için kirecin bulunması gereklidir. yine aynı sebepten dolayı, hakiki bir puzzolanda az miktarda genel olarak %4 den daha az kireç CaO bulunmalıdır[1].

Puzolan içindeki Al_2O_3 ve SiO_2 'in reaktif özelliği yoktur. Reaktif özellik ancak kireçle meydana gelir. Bu nedenle bir puzzolanda CaO miktarı az olmalıdır. Al_2O_3 ve SiO_2 miktarı ise fazla olmalıdır. ASTM C 618-72'ye göre bir puzzolanda :

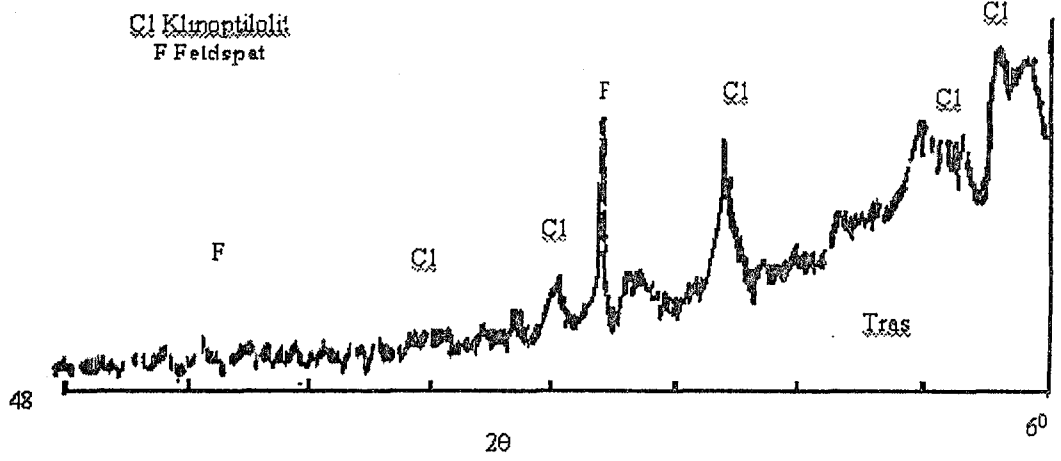
$$Al_2O_3 + SiO_2 + Fe_2O_3 > 0.70 \text{ ve } CaO < \% 70 \text{ olmalıdır.}$$

Bu koşulun sağlanması o maddenin mutlak puzolan olduğunu göstermez. Maddenin içerdiği Al_2O_3 ve SiO_2 amorf yapıya sahip değil ise yine puzzolanik özellik göstermez. Puzolanlar da etkin amorf/camsı kristalleri olan silis vardır. Silis saf suda çözünmez. Çözünebilmesi için pH değerinin 11'in üzerine çıkması gerekir. Örneğin pH=12 iken silisin çözünürlüğü %2 ise, pH=12,4 olunca çözünürlük %4'e çıkmaktadır. Puzolanla kireç birleşince çözeltinin pH'ı yükseltilmiş olmaktadır. Bu durumda silis daha fazla çözünerek kireçle birleşir, onu bağlar ve puzzolanik özellik gerçekleşmiş olur [48].

Puzolan adı İtalya'daki bir kasabadan gelir. İtalya'da Puzzouli kasabası yakınında yukarıdaki tanımlara uygun olan doğal volkanik taşlar vardır. Bunlar SiO_2 , Al_2O_3 ' den oluşur, içinde az miktarda Fe_2O_3 , CaO, MgO' de bulunur. Almanya'da bu özelliklere sahip taşlar ilk kez Ren nehri vadisinde bulunmuştur ve tras adı ile anılmıştır.

Pişmiş ve öğütülmüş kil yapay bir tras, doğal volkanik camlar ise doğal bir tras türü olmaktadır. Puzolanlar (traslar) kimyasal olarak SiO_2 ve az miktarda Al_2O_3 'den oluşan maddelerdir. su ile karıştırıldıklarında çamur haline gelir, kurduktan sonra tekrar eski hallerine dönerler. Ancak bunlar kireçle karıştırılırsa bağlayıcılık kazanır ve suda erimeyen bir kalsiyum silikat tuzuna dönüşürler. SiO_2 içeren her toprağın puzolan olmayacağı açıktır. Hangi toprağın

bu özelliğe sahip olduğu, aktivite testleri yapılarak belirlenir[51]. Şekil.5.1'de trasın X-Ray Difragtogramı verilmiştir[1].



Şekil. 5.1 Trasın X-ray difragtogramı [1]

Puzolanlar kirece katıldıkları gibi çimentoya da üretim sırasında katılırlar. Böylece katkıli Portland Çimentosu, traslı çimento dediğimiz türde çimentolar elde edilir.

Puzolan-kireç bileşiminin daha başarılı olması için bazı koşullar vardır; puzolan çok ince öğütülmelidir, ortam sulu olmalıdır, gerekli uzun zaman geçmelidir.

Puzzolanların kireci tespit etmeleri, çimento yönünden önemlidir. Böylece çimentolarda su etkisiyle eriyen kireç, erimez duruma geçer ve çimento kimyasal etkilere daha dayanıklı olur[51].

Puzzolanik özelliği iyi olan diğer bir önemli puzolan ise Santorin toprağıdır. Bu puzzolanda Yunanistan'ın Santorin Adası'nda bulunur. Ülkemizde de İç Anadolu, İç Ege, Marmara, Karadeniz, Akdeniz Bölgelerinde puzzolanik reaktivitesi değişik traslar vardır.

Muhtelif puzzolanların kimyasal bileşimleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo. 5.1 Muhtelif puzzolanların kimyasal bileşimleri

	Ren Trası	Santorin	Napoli	Kayseri Trası	Uçucu Kül
SiO ₂	% 54.2	% 63.2	% 55.7	% 68.08	% 42-50
Fe ₂ O ₃	% 3.8	% 4.9	% 4.6	% 5.58	% 10
Al ₂ O ₃	% 16.4	% 13.2	% 19.0	% 18.63	% 16-30
CaO	% 3.8	% 4.0	% 5.0	% 5.07	% 2-4
MgO	% 1.9	% 2.1	% 1.3	% 1.55	% 0.5-9
Diğer Maddeler	% 12.5	% 12.6	% 14.4	% 6.09	% 4-10

Tablo 5.1'deki değerlerden anlaşıldığı gibi puzzolanlar da en fazla SiO₂ bulunmaktadır. CaO ise yaklaşık %4 miktarında bu madde içinde yer almaktadır[48].

Tablo 5.2'de farklı sıcaklıklar da yakılmış olan pirinç kabukları ile diğer puzzolanlar arasındaki Granülometri değerleri verilmiştir.

Tablo. 5.2 Puzolanlar arasındaki granülometri değerleri

Elek Boyutu (µ)	Elekten Geçen %					
	Pirinç Kabuğu Külü (400 ⁰)	Pirinç Kabuğu Külü (500 ⁰)	Silis Dumanı	Uçucu Kül	Curuf	Tras
192	100	100	100	100	100	100
128	100	100	100	100	98,2	99,8
96	97,9	97,3	100	100	93,1	95,7
64	87,1	85,8	100	97,0	81,7	86,1
48	79,6	76,8	100	92,8	75,2	79,1
32	60,0	57,4	98,8	77,5	61,9	65,0
24	51,2	49,9	98,3	62,4	52,4	54,8
16	41,3	38,3	90,9	43,9	49,9	43,3
12	33,7	30,6	85,4	32,7	32,0	35,2
8	24,2	22,1	71,9	23,2	24,2	28,3
6	18,3	16,6	61,4	18,2	18,7	22,9
4	11,6	10,6	46,3	13,6	14,2	17,6
3	8,0	7,2	36,1	10,8	10,8	13,7
2	4,0	3,6	25,6	7,6	8,0	8,5
1,5	1,7	1,5	18,7	4,8	5,3	3,8
1	1,1	0,9	14,9	3,7	4,3	2,4

Puzzolanlar oluşum şekline göre, doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır[7,8,9,10,52].

Bazı puzzolanlar ve pirinç kabuğu külünün granülometrik değerleri arasındaki ilişkide en ince puzzolan olarak silis dumanı belirlenmiş. Puzolanlar arasında özgül alanı en yüksek olarak ta pirinç kabuğunun olduğu görülmüştür. Puzolanlar arasındaki Granülometri değerleri aşağıda tablo 8'de verilmiştir[1].

5.1. Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanlar, doğada eski volkanik kütlelerin bulunduğu yerlerde görülür. Puzolanların kimyasal yapısı, aktivitesi bulunduğu bölgeye göre değişiktir, özgül ağırlıkları 2000 ile 2200 kg/m³ arasındadır. Doğal puzolanlara örnek olarak volkanik tüfler, tras, diatome toprağı (kieselgur), bims (=sünger taşı, =pomza taşı), sayılabilir.

Doğal puzolanlar kalsinasyon işlemine tutulabilir. Böylece kalsinasyon sonunda varsa yapıdaki karbonatlar bozunarak oksitli bileşenlere dönüşür. Doğal puzolanlar üçe ayrılır [6]. Bunların özellikleri ve farklılıkları aşağıda özetlenmiştir [11].

Doğal puzolanlarda aranan kimyasal özellikler TS 25'e göre Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo. 5.3 Trasin kimyasal özellikleri [7]

SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	En az	% 70
MgO	En çok	% 5
SO ₃	En çok	% 3
Rutubet	En çok	% 10

5.1.1. Killer ve Tortul Şişter

Kalsinasyonla aktif puzolan elde etmek mümkündür. Bu gruba giren killer Montmorillonit, Kaolinit, İllit'dir.

5.1.1.1 Montmorillonit (Al_{1,67}Na_{0,33}Mg_{0,33}) : Si₄O₁₀(OH)₂ şeklindedir. Volkanik kütlelerin ve tüflerin ayrışması ve bozunması ile oluşan montmorillonitlerin oluşturduğu kaya tipine bentonit denir.

5.1.1.2 Kaolinit : ((OH)₄.Al₂Si₂O₅) bileşimindedir. Feltspatlardaki (KAlSi₃O₈+H₂O) alüminosilikatların bozunması veya düşük sıcaklıklardaki hidrotermal etmenlerle ayrışması ile oluşurlar.

5.1.1.3 İllit : (Al_{4a+b}M_aFe_cK₂Si_{8-y}Al_yO₂₀(CH)₄) bileşiminde, yapı bakımından montmorillonit'e benzer.

5.1.2. Opaller

Bu tip puzolanlar da aktiflik kalsinasyon ile sağlanabilir veya kalsinasyon gerekmez. Opaller, camı silis içerir. Opalli şeyler, diatomeli topraklar, çörtler olarak üç gruba ayrılır.

5.1.2.1 Opalli şeyler : Kil ve siltlerin sıkışması sonucu taşlaşarak ince tabakalara ayrılır ve şeyler oluşur. Diatome ve silisli sünger gibi organik kalıntılar eriyip çökelse opalli şeyler oluşur.

5.1.2.2 Diatomeler : Diatome denilen silisli alglerin kalıntılarının birikmesiyle oluşur. Yoğunlukları çok düşüktür, boşlukludur, düzensiz parçacıklardan, hücrelerden oluşur. Bileşiminde %65.2 SiO₂ vardır.

5.1.2.3 Çörtler : Organik ve kimyasal kökenli çok küçük kristalli silikatlardır. Organik tipleri silisli, kavkılı organizmaların birikimi ile, kimyasal çörtler ise göl ve denizler deki koloidal silisin buharlaşma sonunda çökmesiyle oluşur.

5.1.3. Volkanik Tüfler ve Sünger Taşları

Bu tip puzolanlar da kalsinasyona gerek yoktur[1]. İçerisinde silis ve alüminyum bileşikleri bulunan tüfler çok gevşek yapılı ve kırılabilirler. Tabiatta toz halinde kum ve çakılla karışık olarak buldukları gibi sıkışmış kütleler halinde, çok gözenekli iri çakıl büyüklüğünde de olurlar. Kolayca aşınıp toz haline gelirler ve birim ağırlıklarının küçük olması sebebi ile bazen su yüzeyinde dahi yüzebilirler.

Genel bir kural olarak bir tüf ocağındaki malzemenin sertliği yüzeye doğru artmaktadır. Tüfün priz yapma özelliği, içerisindeki ince tanelerin çokluğuna ve kimyasal yapısına bağlı olarak değişir[53].

Bu gruba giren tüfler ; Riyolitik, Andenzitik, Fonolitik, Bazaltik'tir.

5.1.3.1 Riyolitikler : Kuvars ve alkali feldispatlardan oluşan kayalardır. Kuvarslar iri tanelidir. %60 -75 SiO₂ içerir.

5.1.3.2 Andezitikler : İçinde kuvars bulunmayan feldispatlarla birlikte koyu minerallerden oluşan kayalardır. Kimyasal olarak bünyelerindeki SiO₂ oranı yaklaşık olarak % 46-60 arasında değişir. Yarı camsı bir hamur içinde ince, uzun feldispat kristalleri gözlenir. Nadiren hamuru camsıdır.

5.1.3.3 Fenolitikler : İçinde % 45-60 oranında SiO₂ bulunan volkanik kayalardır.

5.1.3.4 Bazaltikler : Yeryüzünde en çok rastlanan volkanik kayadır. Bazik bileşim olan kimyasal yapılarındaki SiO₂ oranı ise % 46-60 civarındadır. Doğada genel olarak boşluklu bir yapıda bulunan bazaltikler bazen boşlukları kalsit, klorit, opal, kuvarsla dolu olarak da bulunabilir[1].

5.2. Yapay Puzolanlar

Yapay puzolanlar sanayi santral atığıdır. Yapısında, doğal puzolanlar da ki oksit bileşenler (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO) olduğundan dolayı puzolan ve üretimdeki reaksiyonlar sonunda oluştuğu için yapay sıfatı verilerek yapay puzolan denmiştir. Atıktaki silis'in aktifliği, puzolanın aktifliğini belirler[1].

Yapay puzolan olarak bilinen maddelerin en önemlilerinden biri pişmiş kildir. Bu amaçla kil bileşimine bağlı olarak 600⁰C-900⁰C arasında pişirilir. Elde edilen madde çimento inceliğinde öğütüldükten sonra çimentoya belirli oranlarda katılarak kullanılır. Tuğla ve kiremit tozunun bir bağlayıcı madde ile karıştırılması da aynı sonucu verir. Ülkemizdeki mevcut eski eserlerin, kırsalların, köprülerin yapımında tuğla tozu ve kireç karışımından ibaret Horasan denilen bu bağlayıcı madde oldukça geniş ölçüde kullanılmıştır. Bu bağlayıcı madde, yağlı kireçten çok üstün özelliklere sahip olmakla ve özellikle su karşısında çözülmemektedir. Bu bakımdan deniz yapılarında kullanılmaya elverişlidir. Nitekim çimento icat edilmeden 1786'da inşaa edilen Cezayir Limanı'nda bağlayıcı madde olarak pişirilmiş kil ve kireç karışımı kullanılmıştır[7].

Belli başlı yapay puzolanlar şunlardır: Pişmiş kil, uçucu kül, yüksek fırın letiyesi (curuf) [48], silis dumanı, pirinç kabuğu külü[10].

5.2.1. Pişmiş Kil

Kil bileşimine bağlı olarak 600-900⁰C arasında ısıtılır. Elde edilen madde çimento inceliğinde öğütüldükten sonra çimentoya karıştırılarak kullanılır. Tuğla ve kiremit tozunun da bir bağlayıcı madde ile karıştırılması aynı sonucu verir. Memleketimizde eski eserlerin yapımında tuzla tozu ve kireci karışımından ibaret Horasan denilen bir bağlayıcı madde kullanılmıştır. Bu bağlayıcı madde, kireçten daha üstün özelliklere sahip olmakta ve özellikle su karşısında erimemektedir[48].

5.2.2. Uçucu Kül

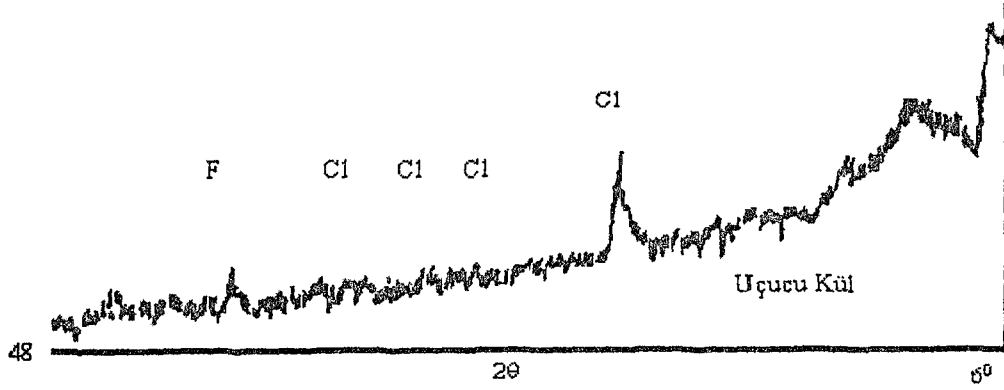
Termik santrallerde toz halinde kömürün yanmasından geriye kalan küle verilen isimdir. Çimento inceliğinde olan bu maddenin genel olarak puzzolanik özelliği vardır[48].

Uçucu kül puzzolan olarak kullanılmanın dışında da bu malzemeden şu şekillerde de yararlanmak mümkündür;

a. Uçucu külü çimentonun ilkel maddesi olarak kullanmak da mümkündür. Bu şekilde hareket edildiği vakit fırındaki sıcaklık derecesi 1450⁰C'den 1350⁰C'ye düşürülebiliniyor ki bu yakıttan bir ekonomi sağlıyor. Ayrıca pişirme sonunda serbest CaO kilinkeri içinde daha az bulunuyor.

b. Uçucu kül beton üretilirken karışıma katılırsa tanelerin küresel olması dolayısıyla taze betonun işlenebilme özelliği artıyor. Bu da daha az miktarda yoğurma suyu kullanılmasını sağlıyor. Su miktarının azalması ise beton mukavemetini yükseltiyor [7].

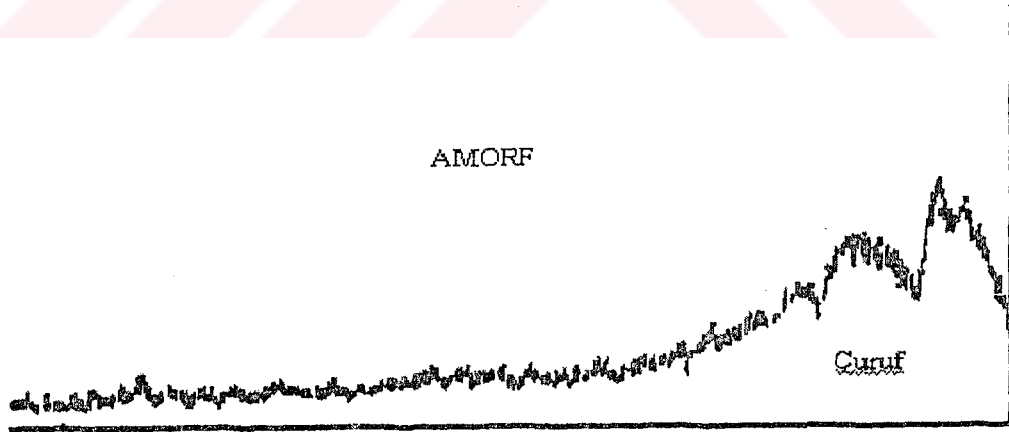
Termik santrallerde kömürün yanması sonucu oluşan kül ; bacalardaki elektrofiltreler veya torbalı filtrelerde tutulur. Küldeki CaO miktarının düşük veya yüksek oluşuna göre puzzolanik özellikte değişir. Külün yapısı, kömür cinsine ve yakma koşullarına bağlıdır. Şekil 5.1'de uçucu külün X-Ray difraktogramı verilmiştir [1].



Şekil. 5.2 Uçucu külün X-ray difraktogramı [1]

5.2.3. Yüksek Fırın Letiyesi (Curuf)

Demir üretiminde kullanılan yüksek fırında demir cevherinden demir alındıktan sonra geri kalan maddeye letiye denilmektedir. Bunun içinde alümin, silis ve kireç bulunmaktadır. Çok az miktarda kireç veya çimento ile karıştırılınca bağlayıcı madde özelliğini kazanması bakımından letiyeyi puzolan olarak kabul etmek mümkündür[48]. Aşağıda Şekil.5.2*'de curuf'un X-Ray Difraktogramı verilmiştir[1].



Şekil. 5.3 Curuf'un X-ray difraktogramı[1]

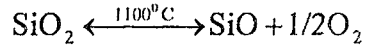
Yüksek fırın curufu hafif bağlayıcı özelliği olan bir maddedir. Demir çelik üretimi yüksek fırınlarda oluşan curufun değerlendirilmesi ile elde edilir. Curufun bileşimi CaO , SiO_2 ,

Al₂O₃, MgO, FeO, MnO, CaS, MnS, gibi karmaşık bir bileşimdir. Curuf aniden soğutulur , böylece amorf, camı bir yapı kazanır. Portland klinkeri ile karıştırılmamış curufun bağlayıcılığı yetersizdir[51].

5.2.4. Silis Dumanı

Silis dumanı elektrik ark fırınlarında ferrosilikon ve metalik silisyum üretimi sırasında kömürle kuvartzın indirgenmesi sonucu yan ürün olarak elde edilir.

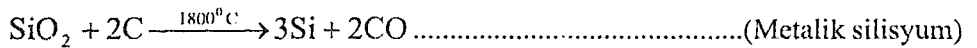
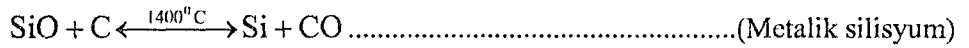
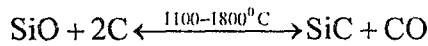
Ark fırınlarında yaklaşık 1100⁰C de kararsız bir ara ürün olan SiO (Silisyum mono oksit) oluşur.



fırında sırasıyla şu reaksiyonlar görülür:

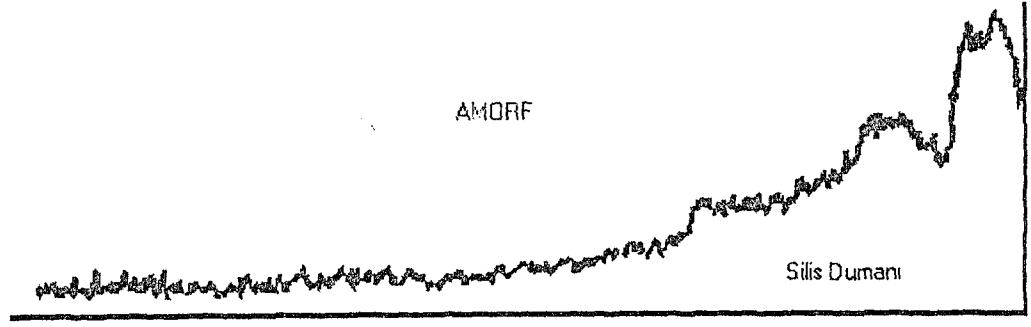


Oluşan SiO, C ile SiC (Silisyum carbür) ve metalik Si meydana getirir. Bu arada CO açığa çıkar.



diğer yönden oluşan SiO ani olarak soğuk bölgeye geldiğinde SiO₂'ye dönüşür ve kondense silika füme denen silis dumanı meydana gelir[54].

Ark fırınından çıkışı sırasında gaz filtrelerinde toplanan ve yoğuşan silis dumanı, amorf ve çok küçük küresel parçacıklardır. Spesifik yüzeyi 20-23 m²/g olan silis dumanının puzzolanik aktivitesi çok yüksektir[10]. Şekil.5.2.4.1'de silis dumanının X-Ray difraktogramı verilmiştir [1].

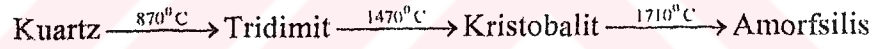


Şekil. 5.4 Silis dumanının X-Ray difraktogramı

5.2.4.1. Silisin Doğada Bulunuşu ve Allotropik Halleri

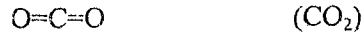
Silis veya silisyum dioksit doğada bol miktarda bulunur. Florür asidi (HF) dışında su asitlerde çözünmez. Silis, doğada feldispat, talk, amyant, mika v.s. de silikatlar halinde görülür. Kuartz daki SiO_2 ise serbest yapıdadır.

Kuartz, Tridimit, Kristomalit, Silis'in üç kristal şeklidir ve belli sıcaklıklar da birbirine dönüşür[23].



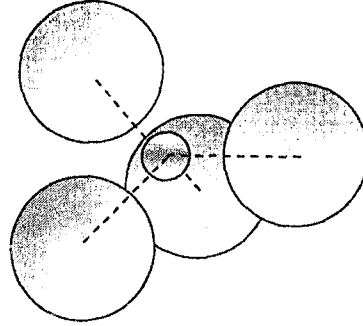
Bu kristaller α ve β şeklinde kendi aralarında değişime uğrar.

Her ne kadar periyodik cetvelde karbon'un bir altında bulunuyorsa da bu iki elementin oksijen ile yaptıkları bileşiklerden karbondioksit (CO_2), bir gaz olduğu halde kendisine çok yakın olan silis (SiO_2) 1400°C de eriyen katı bir maddedir. Bunun sebebi, CO_2 'in her bir molekülü, iki oksijen atomunun birer çifte bağ ile bir karbon atomuna bağlanan moleküllerden meydana gelişidir:



Burada çift bağlardan dolayı meydana gelen moleküllerin aralarında birbirlerini çekme kuvveti çok az olduğundan bileşik gaz halindedir. buna karşılık silisyum hiçbir zaman çifte bağ yapmaz.

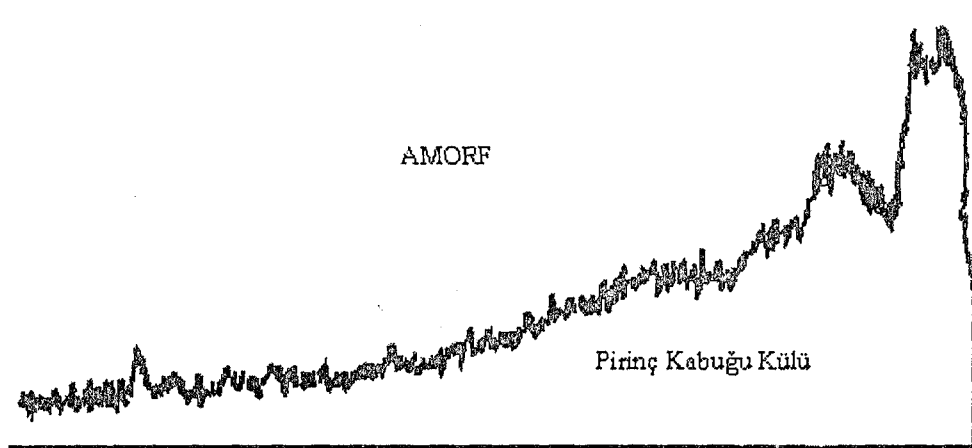
Örneğin, kuartz kristalinde Şekil.5 2.4.1.1’de görüldüğü gibi silisyum atomuna dört ayrı oksijen atomu birer tek bağ ile bağlanmış olup, her bir oksijen atomu da iki ayrı silisyum atomuna bağlanmıştır.



Şekil. 5.5 Kuartz’ın kristal yapısı

5.2.5. Pirinç Kabuğu külü

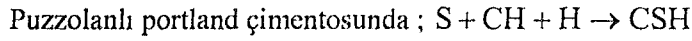
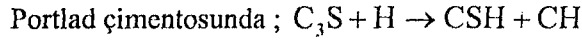
Pirinç kabuğu, çeltik üretimi sonunda elde edilen zirai ürün artığıdır. Pirinç kabuğunun yapısındaki SiO_2 , kabuklar yandıktan sonra elde edilen kül hızlı bir şekilde soğursa amorf SiO_2 , yavaş soğursa kristal SiO_2 şeklinde oluşur. Amorf şekilde özgül yüzeyi $50\text{-}60 \text{ m}^2/\text{g}$ gibi büyük bir değerdedir. Bu nedenle puzzolanik aktivitesi yüksektir. Aşağıda şekil.5.2.5.1’de pirinç kabuğu külünün X-Ray Difraktogramı verilmiştir [1].



Şekil.5.6 Pirinç kabuğu külünün X-ray difraktogramı

6. PUZZOLANLARIN BETONUN DAYANIM ve DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

Portland çimentosundaki C_3S , C_2S hidratasyon reaksiyonu sonunda genel bir ifade ile gösterilen CSH (kalsiyum silikat hidrat) ve CH oluşur. Çimentoya katılan puzzolanlardaki aktif silis ise bu CH ile birleşerek CSH'e dönüşür. Puzolanın yaptığı bu reaksiyona puzzolanik reaksiyon denir. Reaksiyon , portland çimentosunda hızlı , puzzolanlı çimentosunda ise yavaş olur.



Yukarıda her iki reaksiyonda da CSH oluşmaktadır. Ancak puzzolanik reaksiyon sonucunda oluşan CSH , portland çimentosunun CSH' inden daha küçük özgül ağırlığa sahiptir.

Puzolanın CSH'ı kimyasal ortamda mekanik ve kimyasal özellikler açısından diğerine göre daha dayanıklıdır. Ayrıca CSH'da ki C/S oranı puzzolanik CSH'da 1.2 , portland çimentosunda ise 1.7 dir[1].

Puzzolanlı çimentoların sülfatlı ortamda portland çimentosuna göre daha dayanıklı oluşumunu Lafuma [1] şöyle açıklamakta;

Çimentoda C_3A 'nın hidratasyonu sonucunda oluşan C_3AH_6 katı halde iken çözeltilerdeki sülfatlı bileşik örneğin Na_2SO_4 ile birleşirse hacince genişlemeye neden olan tuz oluşur , harç veya beton korozyona uğrar. Yani , harcın SO_4^{2-} 'dan etkilenmesi , C_3AH_6 'nın katı halde olmasına bağlıdır ve bu etkilenme sertleşmiş çimento hamurunda gerçekleşmektedir. C_3AH_6 bileşiği çözünerek çözeltilerde sülfatlı bileşikle reaksiyona girerse , yeni ürün hacince genişlemeye neden olmaz. Yani C_3A 'nın sülfatlı ortamdaki hasarı C_3AH_6 hidratasyon ürününün çözünüp çözünmemesine bağlıdır. Diğer yandan C_3AH_6 'nın doymuş CH' da çözünürlüğü azdır. Puzzolanlı çimentonun hidratasyonu sonunda ise çözeltilerde CH miktarı da azdır. Çünkü puzzolanlar da ki aktif silis puzzolanik reaksiyona göre CH' ı bağlamaktadır. CH' ın az olduğu bu ortamda C_3AH_6 'nın çözünürlüğü artar ve C_3AH_6 , çözeltilerdeki sülfat iyonları ile genişleyen tuz oluşturur.

Lafuma, puzolanlı çimentonun sülfatlı ortamdaki dayanıklılığını böyle açıklamasına karşın ;bazı araştırmacılar, puzolanların sülfat etkisine dayanıklılığını, neden dayanıklı olduğunu hala tartışmaktadırlar. Örneğin Caaleja, sülfat iyonlarının hidrate çimentoda yayılabilirliğinin saf suda az, Ca(OH)₂ çözeltisinde ise çok daha büyük olduğunu belirtmektedir.

Sonuç olarak sülfat etkisi puzolanlı çimentolarda görülmemektedir veya puzolanla önlenmiş olmaktadır[55].

Massazza[56] ise, puzolanın sülfatlı ortamda daha dayanıklı oluşunu, Ca(OH)₂'in az oluşuna, düşük geçirgenliğe, çimento jelinin farklı kompozisyonuna, puzolanlı çimentoda oluşan ettringit 'in kararsızlığına bağlanmaktadır.

Puzolanlı çimentoların, Portlad çimentosuna göre üstünlükleri;

a. Kimyasal mukavemette gayet önemli bir artış vardır. Bundan dolayı puzolanlı çimentolar her türlü zararlı suların etkisine, karıştırıldığı çimentodan, çok daha fazla dayanıklıdır.

b. Puzolanlı çimentolarda priz esnasında açığa çıkan ısı miktarı, çimentoda meydana gelenden çok daha azdır. Bu nedenle bu çimentolar baraj inşaatında kullanılmaya elverişlidir.

c. Puzolanlı çimentoları kullanmakla, serbest kirecin tesbit edilmiş olmasıyla, geçirimsizliği daha az olan harç ve beton üretmek mümkündür.

d. Bu çimento ile üretilen betonlar, geçirimsizliğin daha az olmasından dolayı donmaya karşı daha dayanıklıdır.

e. Puzolanların çimentoya karıştırılması ile bağlayıcı maddenin maliyet bedelinde önemli bir azalma sağlanır[7].

Puzolanların çimentoya karıştırılmasının bazı sakıncalı tarafları da vardır. Bunları da şöyle sıralayabiliriz:

a. Puzolanların çimentoya karıştırılması mekanik mukavemetlerin bir miktar düşmesine sebep olur. Mukavemetteki azalma daha ziyade ilk günlerde meydana gelmekte, zamanla azalmaktadır. En son mukavemet bakımından puzolanlı çimento ile normal çimento

arasında önemli bir fark yoktur. Mukavemetteki bu azalmanın belirli bir miktarı geçmemesi düşünülerek çimentoya karıştırılacak puzolan miktarı saptanmalıdır.

b. Puzolanlı çimentolar soğuk havada kullanılmaya elverişli değildir.

c. Puzolanlı çimento kullanılarak üretilen betonlarda gerekli muhafaza şartlarının daha uzun süre uygulanması lazımdır.

d. Puzolanların kullanılması halinde meydana gelen sakıncalı durumlar, sağlanan faydalar yanında önemsiz olduğundan puzolanlı çimentoların üretimi ve kullanılması içtenlikle önerilir.

e. Memleketimizde üretilmesine başlanmış olan puzolanlı çimentolar TS 26'ya göre aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

1. Bağlayıcı madde puzolan (tras) oranı %30-40 arasında olacaktır.
2. Le Chatelier deneyinde normal portland çimentosunda aranan özelliği yerine getirecektir.
3. Piriz başlama süresi 1 saat evvel, priz sona erme süresi de 10 saatten fazla olmayacaktır.
4. İncelik; 950 gözlü elek üzerinde kalıntı % 0,5'den, 4700 gözlü elek üstünde bakiye % 8'den fazla olmayacaktır.
5. Mekanik mukavemetleri normal portland çimentosunda aranan mukavemetlerden daha küçük olmayacaktır[48].

6.1. Puzolanik Aktivite

Puzolanik aktivite, puzolanların kireç bağlama özelliğidir. Bir malzemenin puzolanlığının kanıtlanması için puzolanik aktivite deneyinde olumlu sonuç vermesi gerekir. Bu deneyler yapay ve doğal puzolanlar da mekanik ve kimyasal deneyler şeklindedir. Mekanik deneyler, puzolanlı çimento ile üretilen harçlar üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Kimyasal deneyler ise puzolanlı çimentonun su ile yaptığı hidrasyon sonunda çözüldüğüde oluşan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'i saptamaya dayanır. Ayrıca, puzolanların reaktivitesi spektrofotometrik ve kolorimetrik yöntemlerle de saptanabilir. Puzolana, puzolanik özellik

kazandıran silisin amorf yapısıdır. Amorf silis'e çözünen silis de denir. Çözünen silis, doğrudan doğruya tayin edilebildiği gibi, çözünmeyen SiO₂, toplam SiO₂'den çıkartılarak ta bulunabilir.

Amorf silis,(çözünen silis) kalitatif olarak X-Işını Difraktometrisinde, kantitatif olarak ta kimyasal gravimetrik yöntemlerle bulunur[1].

Mekanik deney yolu ile puzolanik özelliğın mevcut olup olmadığını anlamak için aşağıda belirtilen miktarlarda puzolan sönmüş kireç ve standart kum ile karıştırılarak 4x4x16 cm. boyutunda prizmalar belirli koşullar altında üretilir. Numuneler 24 saat kalıplarda tutulduktan sonra sökülmeden ve açık yüzleri kapalı olacak şekilde 55±2⁰C lik bir etüv içinde 6 gün bekletilir. Bu süre sonunda kalıptan çıkartılarak çimento deneylerinde olduğu gibi eğilme deneyi ve kırılan parçalar üzerinde basınç deneyleri yapılır.

Eğilme mukavemetinin 10 kgf/cm² 'den

Basınç mukavemetinin 40 kgf/cm² 'den

Büyük olması halinde maddenin puzolanik özelliğe sahip olduğu kabul edilir. Bu amaçla üretilen harcın bileşimi standart kum tanesi boşluklarınının kireç,puzolan ve su tarafından puzolan hacmi kireç hacminin iki misli olacak şekilde doldurulması şeklinde belirlenir. Yaklaşık 1dm³ harç elde etmek için önerilen miktarlar şöyledir:[7]

Standart kum : 1350g

Sönmüş kireç : 150g Ca(OH)₂

Puzolan : $2 \times 150 \times \frac{\delta_p}{\delta_k} = T$

δ_k = kirecin özgül ağırlığı δ_p = puzolanın özgül ağırlığı

Su : 0.50(150+T)

7. ÇİMENTOLAR

Çimento içerisinde %22-40 oranında kil bulunan kalker taşlarının 1400-1600°C'ye kadar, yani sinterleşmeye kadar (erimeye yakın sıcaklık) pişirilmesi ile elde edilir. Pişirme derecesi ise; taşın içindeki kil miktarına ve elde edilecek çimentonun cinsine göre değişir.

Ocaktan çıkarılıp fabrikaya getirilen killi kalkerli taşların bileşimindeki kil ve kalker oranı çimento üretimine uygun değilse, kil veya kalkerin eksik olan kısmını tamamlayacak şekilde ilaveler yapılır ki, böyle çimentoya "Yapay Çimento" denir. Çimentonun kalitesine bağlı olmakla beraber, örneğin portland çimentosunun içine ayrıca alçı, silisli kum ve demiroksit de katılır.

7.1 Çimento Çeşitleri

7.1.1 Portland Çimentoları

Portland çimentoları inşaatlarda en çok kullanılan çimentolardır. Bu çimentolar, çimentonun üretimi başlığı adı altında açıklandığı üzere; uygun oranlardaki kalker taşı ve kilin karıştırılıp 1400°C sıcaklıkta pişirilmelerinden oluşan klinkerin öğütülmesi ile elde edilir. Çimentonun sertleşmesinin uygun süre geciktirilmesi için, öğütme sırasında klinkere yaşlık %3-6 oranında alçı taşı katılır. Normal portland çimentoları tam mukavemetlerinin %70'ini ilk 28 günde kazanır.

Bu tür çimentolar, yurdumuzda mevcut çimento fabrikalarında standartlara göre üretilmekte ve fabrikaların kendi laboratuvarlarında kalite kontrolleri yapılmaktadır[57].

Fırından gri renkte ve mm. mertebesinde boyutları haiz ufak taneler halinde çıkan klinker, su karşısında hiçbir etki göstermez. Bu taneler öğütüldükten ve bu suretle boyutları 90 µ'nun altına indirildikten sonra bağlayıcı madde özelliği kazanır. Portland çimentolarının prizi, hidrasyon olayının bir sonucudur. Bu çimentolarda hidrasyon olayının ne şekilde cereyan ettiği henüz kesin bir şekilde anlaşılmamıştır. Bununla beraber portland çimentosunun en fazla miktarda içinde bulunan SiO_2CaO ile SiO_2CaO su karşısında yaptıkları reaksiyon sonunda muhtelif bileşimde kalsiyum silikat hidrateler ile serbest kireç denilen Ca(OH)_2 'nin teşekkül etmekte olduğu saptanmıştır.

Zira bu kirecin varlığı bağlayıcı maddenin zararlı sulara veya her türlü sulara karşı mukavemetini azaltır. Bu duruma sebepte $\text{Ca}(\text{OH})_2$ suda oldukça kolay bir şekilde erimesidir. Böylelikle su içinde bulunan yapılarda kireç eriyerek zamanla betonun porozitesi artar. Bu durum suların beton kütlesinin içine daha kolay girmesine sebep olarak zararlı etkinin hızlanmasına yol açar. Ayrıca boşluğun artması betonun mekanik mukavemetini azaltır.

Çimentonun prizi ekzotermik bir olaydır. Diğer bir deyişle priz esnasında önemli bir ısı açığa çıkar. Meydana gelen bu ısı önemsiz yapılarda, dökülen beton hacminin küçük olması halinde fark edilmeyecek derecede azdır.

Fakat büyük hacimli beton işlerinde örneğin barajlarda meydana gelen ısıdan dolayı, sıcaklık kolaylıkla $20-30^{\circ}\text{C}$ artar. bu hallerde gerekli tedbirlere baş vurularak meydana gelen ısının zararlı etkilerinden korunulmalıdır.

Priz başlama ve sona erme süreleri bakımından portland çimentoları, çimentolarda aranan genel özelliklere uygunluk göstermektedir.

Portland tipi çimentolar adı altında memleketimizde TS 19'a göre dört tip çimento bulunmaktadır. Bu çimentolar şunlardır.

- Normal portland Çimentosu (PÇ 32.5)
- Katkılı Portland Çimentosu (KPÇ 32.5)
- Portland Çimentosu 42.5 (PÇ 42.5)
- Portland Çimentosu 52.5 (PÇ 52.5)

Son iki çimento ile normal portland çimentosunun yapıları ve fiziksel özellikleri arasında önemli farklar bulunmamaktadır. Yalnız bu çimentolarda kalker miktarı artırılmış, ilkel malzeme daha iyi karıştırılmış ve pişirilmeye çok daha büyük bir özen gösterilmiştir. Bu suretle portland çimentosunun en aktif karmaşık bileşeni olan $\text{SiO}_2\text{3CaO}$ 'nın hemem hemen tamamen teşekkülü sağlanmıştır.

PÇ 42.5 ve PÇ 52.5' un fırından çıkan klinkerleri çok daha ince bir şekilde öğütülmüştür. Üretimde alınan bu tedbirlerden dolayı bu iki çimentonun özellikleri normal portland çimentolarının özelliklerinden ayrılmaktadır.

Bu iki çimentoda PÇ 32.5' a göre daha fazla Ca(OH)₂ teşekkül etmektedir. Böyle bir durum PÇ 42.5 ve PÇ 52.5'un kimyasal etkilere dayanıklılığını azaltmaktadır.

Bu iki çimento priz yaparken PÇ 32.5' a göre daha fazla ısı meydana gelir. Bir çok bakımdan sakıncalıdır.

Daha ince bir şekilde öğütülmelerinden dolayı PÇ 32.5'a göre PÇ 42.5 ve PÇ 52.5 daha fazla suya ihtiyaç gösterirler. PÇ 32.5 beton üretiminde kullanıldığı vakit çimento için gerekli olan su miktarı ağırlığının %23' üne eşit alınır. PÇ 42.5 ve PÇ 52.5' da çimentolar için gerekli su miktarı ağırlığının %27-30' u arasında değişir.

SiO₂3CaO' nın, bu iki çimentoda daha fazla bulunmasından ve bunların daha ince bir şekilde öğütülmesinden dolayı PÇ 42.5 ve PÇ 52.5 'un mekanik mukavemetleri PÇ 32.5' kinden belirli bir derecede büyüktür. TS 19'a göre bu dört çimentonun ortalama mekanik mukavemetleri aşağıda Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1 Verilen portland çimentolarının ortalama mekanik mukavemetleri

Çimento	Gün	Basınç Mukavemeti (kgf/cm ²)			İğilme Mukavemeti (kgf/cm ²)		
		3	7	28	3	7	28
Pç 32.5		-	210	325	-	40	55
KPÇ 32.5		-	210	325	-	40	55
PÇ 42.5		200	315	400	40	55	65
PÇ 52.5		250	355	500	50	60	70

TS 19'da portland tipi çimentolarda kimyasal bakımdan şu şartların yerine getirilmesi istenmektedir:

MgO %5' ten, SO₃ %3' ten, yabancı maddeler (alçı taşı hariç) %1' den, erimez kalıntı miktarı %1' den fazla olmayacaktır. Ayrıca kızdırma kaybı da %4'ü geçmemelidir[48].

7.1.2 Yüksek Fırın Curuf Çimentolar

Birdenbire soğutulmuş taneli hale getirilen yüksek fırın curufu ile portland çimento kiinkeri ve alçı taşının belirli oranlarda karıştırılarak gayet ince öğütülmeleri sonucu elde edilen bağlayıcı bir malzemedir. Yüksek fırın curuf çimentoları karışım oranına göre iki gruba ayrılır.

7.1.2.1 Demir Portland Çimentosu (D.PÇ. 32.5)

Ağırlıkça %70-85 oranında portland çimento klinkeri ile karşılıklı olarak %30-35 oranında granüle yüksek fırın curufunun alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

7.1.2.2 Curuf Çimentosu (C.Ç. 32.5)

Curuf çimentosu ağırlıkça %15-69 oranında portland klinkeri ile karşılıklı olarak % 31-85 oranında yüksek fırın curufunun, alçı taşı ile öğütülmesi sonucu elde edilir.

Portland çimentosunun kullanıldığı yerlerde kullanılmakla beraber, deniz içinde ve zararlı sulara maruz yerlerde de kullanılabilir.

7.1.3 Beyaz Portland Çimentosu (TS 21 , BPC 32.5)

Bu çimentolar genellikle beyaz pişen kireç taşı ve kilden üretilir. Beyazlığının dışında diğer özellikleri aynı portland çimentosundaki gibidir. Pişirme sırasında püskürtülen kömür tozu, klinkerin rengini bozacağından, beyaz portland çimentosu üretiminde gaz veya sıvı yakıt kullanılır.

Ambalajlanması, normal portland çimentosu gibidir. Ancak torbanın üzerine enine olarak beyaz bant basılır. Normal portland çimentolarının kullanıldığı yerlerde kullanılmakla beraber suni taş, mozaik, süs betonu yapımı ve betonarme inşaatlarda kullanılır[57].

TS 21'de Fe_2O_3+MnO miktarının %8'den küçük olma şartı aranmaktadır. Aranılan diğer özellikler PÇ 32.5 için istenilenlerden fark etmemektedir. Yapılan mekanik deneyler sonucunda Tablo 7.1.1'de verilen PÇ 32.5'a ait ortalama mukavemetlerin altına düşmemesi lazımdır[48].

7.1.4 Renkli Çimentolar

Bu çimentolar beyaz çimentoya %1-5 arasında daha ziyade metal oksitlerden ibaret olan pigmentlerin ilave edilmesi ile elde edilir. Bu maksatla şu oksitlerin kullanılması mümkündür.

Sarı renk için; demir oksit hidratı, yeşil; krom oksit, mavi; lazurite ($\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{S}$), siyah; magnetik demir oksit, beyaz; titan oksit. Kullanılacak pigmentlerin çimento inceliğine getirilmiş olması gerekmektedir.

7.1.5 Hidrofob Çimentolar

Bu çimentolar, klinkere hidrofob bir elemanın ilave edilmesi ve sonra öğütülmesi sonunda elde edilir. Bu suretle çimento kullanılmadan evvel hava etkisine ve özellikle rutubete karşı son derece iyi bir şekilde korunur. Yalnız bu çimento ile beton üretilirken diğerlerinden daha uzun süre karıştırma işlemine devam edilmelidir.

7.1.6 Uçucu Küllü Çimento (U.K.Ç. 32.5 , TS 640)

Ağırlıkça karşılıklı olarak %10-30 oranında TS 639'a uygun uçucu kül ile TS 19'a uyan %70-90 oranında portland çimento klinkerinin bir miktar ile karıştırılması ile elde edilir. 28 günlük basınç mukavemeti 325 kg/cm^2 olmalıdır.

7.1.7 Tralı Çimentolar (TS 26 , Puzolanlar)

Aktif volkan tüfleri (tras) ile, normal portland çimento klinkerinin belirli oranlarda, bir miktar alçı taşı ile karıştırılıp öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcıdır. Ağırlıkça %20-40 oranında tras ile %60-80 oranında portland çimentosu klinkerinin, bir miktar alçı ile karıştırılması sonucu elde edilir.

Tralı çimentolar zararlı sulara karşı dayanıklı olup betonda hacim değiştirmeyi (rötre) önler. Geç katılaştıkları ve katılaşırlarken az ısı çıkardıkları için temeller ve barajlar gibi kütle betonlarında kullanılır. Geçirimsizliği ise azdır. Çimento torbalarının üzerindeki kahverengi bant bu çimentoyu diğerlerinden ayırır.

Puzolanlar (traslar) kimyasal olarak SiO_2 ve az miktarda Al_2O_3 den oluşan maddelerdir. Suyla karıştırıldıktan sonra çamur haline gelir fakat kurduktan sonra eski halini alır.

Ancak; bunlar kireçle karıştırılınca bağlayıcı özellik kazanır ve kalsiyum silikat tuzuna dönüşür. Her SiO₂ bulunan toprak puzolan olamaz. İçerisindeki diğer aktivitelerinde tam olup olmadığına deneyler sonucunda karar verilir.

7.1.8 Sülfatlı Curuf Çimentosu (S.C.Ç. 32.5)

Sülfatlı curuf çimentosu, ani olarak soğutulmuş taneli hale getirilmiş yüksek fırın curufu ile portland çimentosu klinkeri veya portland çimentosunun, öğütülerek karıştırılmasından meydana gelen bağlayıcı bir malzemedir.

Genelde diğer çimentolar gibi ambalajlanır. Fakat torbanın üzerine kırmızı renkte “Bu çimentoyu diğer bağlayıcılarla karıştırarak kullanmayınız” cümlesinin yazılması gerekir.

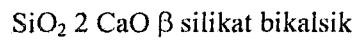
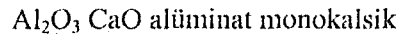
7.1.9 Alüminli Çimentolar

Bu çimentolar, bauxite ile kalkerin bir reverbir fırında ergitilinceye kadar pişirilmesi sonunda elde edilir. Bauxite denilen doğal malzemenin içinde %50'den fazla alüminin bulunmasından dolayı bu çimentoların içinde bulunan alümin (Al₂O₃) miktarı %30'dan fazladır. Genel olarak bu çimentolar aşağıdaki Tablo 7.2'de verilen ortalama bileşime sahiptir.

Tablo 7.2 % Olarak ortalama bileşim

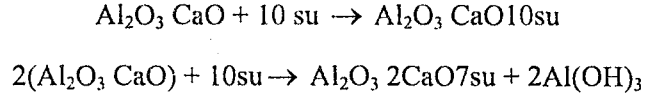
Al ₂ O ₃	%40-45
CaO	%35-42
Fe ₂ O ₃	%5-15
SiO ₂	%4-10

Üretimi sırasında ilkel malzeme ergitildiğinden dolayı bu bağlayıcı maddeye ergitilmiş çimentoda denir. Alüminli çimentonun esas karmaşık bileşimleri ;



dir. Bu karmaşık bileşiklerden başka 5Al₂O₃, 3CaO, 3Al₂O₃, 5CaO'da bu çimento içinde bir miktar vardır.

Al₂O₃ CaO'nun hidratasyonu şu reaksiyonlara göre oluşur;



Bu reaksiyonlar sonunda özellikle Ca(OH)₂'nin teşekkül etmemesi çok önemlidir. Bu bakımdan portland tipi çimentolarından tamamen ayrılmaktadır. Reaksiyonların diğer önemli bir özelliği bunların gayet hızlı bir seyirle vuku bulmasıdır.

Hidratasyon olayının bu karakterlere sahip olmasının sonucu olarak alüminli çimentolar aşağıdaki özelliklere sahiptirler;

1. Bu çimentoların mekanik mukavemetleri gayet hızlı bir şekilde artmaktadır. Normal atmosfer şartları altında bir günlük mukavemeti portlandın 8 aylık mukavemetine eşdeğerdir.
2. Bu çimentoların prizi ve sertleşmesi esnasında önemli derecede ısı meydana gelir. Bu bakımdan aynı anda suya geçen alüminli çimento miktarı fazla olmamalıdır. Bu nedenle bu çimentonun büyük hacimli beton yapılarda kullanılması doğru değildir. Baraj ve yol yapılarda alüminli çimentonun kullanılması halinde, meydana gelen ısı birçok zararlara bu arada betonun çatlamasına veya mukavemetinin düşmesine sebep olur.
3. Alüminli çimentolarla üretilen betonlar, Ca(OH)₂'nin bu çimentoda teşekkül etmemesinden ve diğer bazı sebeplerden dolayı kimyasal etkilere karşı son derece dayanıklıdır.
4. Alüminli çimentolara hidratasyonu için, ağırlıklarının %40'ı miktarında su kullanılmalıdır.
5. Priz başlangıcı ve sona ermesi süreleri bakımından portland çimentosundan farklı bir durumları yoktur. Yalnız bu çimentolarda priz başlaması ile priz sona ermesi arasında geçen süre portland çimentosundan daha azdır.
6. Başka bağlayıcılarla karıştırıldığı vakit özelliklerinin büyük bir kısmını kaybeder.

7.2 Çimentoların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Standartlar, çimentoların fiziksel ve mekanik özelliklerine sınırlamalar koyar. Bu sınırları sağlayamayan çimentolar beton üretiminde kullanılmaz. Öte yandan hangi tür yapıda hangi tür çimentonun kullanılacağına karar verebilmek için çimentonun kimyasal özelliklerini de bilmek gerekir. Bu nedenle çimentoların özelliklerinin belirlenmesi beton teknolojisi açısından çok önemlidir.

Çimentoların fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini TS 24'e uygun olarak yapılır. TS 24'ten ilgili deney yöntemleri ayrıntılı olarak öğrenilebilir. Aşağıda çimentoların belli başlı özellikleri incelenmiştir.

7.2.1 İncelik

Fırında üretilen klinker ya katkısız olarak veya çimento tipine bağlı olarak seçilen puzolanların katılmasıyla birlikte, genellikle 90µ dan küçük taneler elde edilinceye kadar değirmenlerde öğütülür.

İncelik esas olarak çimentonun hidrasyon hızı üzerine etkili olur. İncelik ne kadar fazla ise çimentonun dayanım gelişimi ilk yaşlarda o kadar hızlıdır. Çimento hamurundaki çimento tanelerinin etrafını saran su filminin ortalama kalınlığı su-çimento oranına ve çimento inceliğine bağlıdır.

Çimentonun inceliği özgül yüzeyi ile belirlenir. Özgül yüzey, 1 g çimentonun içindeki tanelerin cm^2 olarak yüzeylerinin toplamıdır. Özgül yüzeyin belirlenmesinde "Blaine" aletinden yararlanılır. Bütün çimento türleri için özgül yüzeyin $2800 \text{ cm}^2/\text{g}$ dan daha az olmaması istenir.

7.2.2 Hacim Genleşmesi

Çimentolarda magnezyum oksit (MgO)' in belirli bir değerin üstünde bulunması zararlıdır. Çünkü bu madde su ile yaptığı reaksiyon sonunda önemli derecede hacim artmasına neden olarak yapılarda çatlamalara yol açabilir. Bu bakımdan hacim genleşmesi deneyi sertleşmiş bir çimento hamurunun katılaştıktan sonra hacminin sabit kalıp kalmayacağını belirlemek için yapılır. Hacim genleşmesi tayininde Le Chatelier (l6 şatöliye) aleti kullanılır.

7.2.3 Priz

Priz, toz halindeki çimentonun suyla karıştırılması ile oluşturulan hamurun katılaşmasını tanımlamak için kullanılır. Katılaşma çimento hamurunun sıvı halden katı hale geçişini ifade eder. Çimento hamurunun sıvı halden katı hale geçişi priz deneyi ile tayin edilir.

Vicat aletinin kullanılması ile yapılan priz deneyinde çimento hamurunun priz başlama ve sona erme süreleri belirlenir. Bu priz süreleri çimento hamurunun normal hidrasyon reaksiyonlarını gerçekleştirip gerçekleştirmediğini ortaya koyar.

Priz başlama süresi çimento ile suyun karıştırıldığı andan itibaren vicat iğnesinin kalıp tabanındaki cam levhaya 3-5 mm uzaklıkta durduğu zamana; priz sona erme süresi ise iğnenin hamura üstten 1mm den fazla giremediği zamana karşı gelmektedir.

İncelenen bütün çimento türlerinden priz başlangıcının 1 saatten az olmaması, priz sona erme süresinin ise 10 saatten fazla olmaması istenir. Ancak yalnızca beyaz portland çimentosu istisna teşkil ederek, bu çimentolar için priz başlama süresi 45 dakikaya çekilmiştir.

7.2.4 Basınç Dayanımı

Eski çimento standartların da eğilme dayanımının da tayin edilmesi şart koşularken, yeni standartlarda yalnızca basınç dayanımının belirlenmesiyle yetinilmiştir. Çimentoların basınç dayanımı tayini TS 24 madde 7' de açıklanan Rilem Cembureau metoduna göre yapılır[58].

7.2.5 Hidrasyon Isısı

Bağlayıcı maddeler priz ve sertleşme esnasında bir miktar ısı açığa çıkarırlar ki buna hidrasyon ısı denir. Bu ısı doğrudan doğruya çimentoyu teşkil eden karmaşık bileşimlerin su ile yapmış oldukları kimyasal reaksiyonda veya hidrasyon da meydana gelmektedir. Hidrasyon olayının uzun sürmesi sonunda ısıda uzun müddet meydana gelmekte veya açığa çıkan ısının toplam miktarında ki artış senelerce devam etmektedir.

Hidrasyon ısı miktarı çimentonun muhtelif özelliklerinin önemli derece de etkisi altında bulunmaktadır. Bu etkime şeklini bağlayıcı maddelerin hidrasyon olayındaki seyrinin

değişmesi ile açıklamak mümkündür. Hangi özellikler hidratasyon olayının hızlı bir şekilde gelişmesine sebep oluyorsa bu özellikler aynı zamanda hidratasyon ısısının büyük değerler almasına yol açarlar. Bunun gibi hidratasyon olayının yavaş bir şekilde değişmesine sebep olan özellikler de hidratasyon ısısının düşük değer almasına sebep olurlar.

Hidratasyon olayının seyrini etkileyen özellikleri, biri fiziksel ve diğeri kimyasal olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür[48].

8. Hafif Betonlar

Birim ağırlığı klasik betonlardan belirli şekilde küçük olan betonlara hafif beton denilmektedir. Genel olarak birim ağırlığı 1,8 kg/lt'den küçük bulunan betonlar hafif beton sınıfına girer. Bu böyle olmakla beraber bazı hafif betonların birim ağırlığı 0,25 kg/lt gibi çok küçük değerlerde olabilir[48].

Hafif betonlarda ana amaç termik izolasyon açısından gerekli malzeme elde etmektir. Ancak malzemenin hafif oluşu ana amaca paralel olarak daha pek çok yararlar sağlar. Hafif malzeme yapının öz ağırlığını düşürür. Betonarme yapılarda öz ağırlık, sistemin taşıdığı hareketli faydalı ağırlığa hemen hemen eşittir. Bu durum ekonomik olmayan bir çözümdür. Malzemeden yeterince yararlanamamak yanında, temele aktarılan yükler de artar ve temel inşaat masrafları yükselir. Hafif betonlar bu bakımdan büyük yararlar sağlarlar, ne var ki hafif betonların tümü istenilen mekanik mukavemeti sağlamaktan uzaktırlar. Öte yandan depremler sırasında yapının ağırlığı, yani eylemsizliği önemlidir. Ağır bir yapının alacağı yatay kuvvetler daha büyük olur, ve bu yatay kuvvetlerin etkisinde oluşan kesit tesirleri de büyüktür.

Hafif beton yapılar bu açıdan da yarar sağlarlar, ancak bunların elastisite modüllerinin düşük olması sonucu deprem sırasındaki deplasmanları da büyük olacaktır[51].

Hafif beton için değişik birim ağırlığı kabulleri vardır: birim ağırlıkları 1840 kg/m³' ü geçmeyen ve 28 günlük silindirik basınç mukavemeti 17 N/mm²'yi aşan betonlar hafif beton sınıfına girerler. Ancak ülkemizde ve diğer bazı ülkelerin standartlarında hafif beton birim ağırlığının 1900 kg/m³' e kadar çıkmasına izin verilir. Genel olarak hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı 300-1800 kg/m³' tür. Taşıyıcı hafif betonların birim ağırlığı 1450-1800 kg/m³ arasında değişmekte, çoğunlukla birim ağırlığı 1600-1700 kg/m³ arasında

bulunmaktadır. Mukavemetleri 7-17 N/mm² arasında olan betonlar yalıtım betonu ile orta mukavemetli beton sınıfına girerler[59].

TS 2511 “Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları ” isimli Türk Standardı’ nda taşıyıcı hafif beton ; havada kurumuş haldeki birim ağırlığı 1900 kg/m³’ den az olan ve en az B160 dayanım sınıfındaki betondur.TS 500’ e göre en az II b dayanım niteliğindeki ($W_{b28} \geq 16$ N/mm²) betondur[53].

Taşıyıcı hafif beton üretiminde başvurulan yöntem hafif agrega ile birim ağırlığı istenen düzeyde tutmaktır [59].

Bu malzemenin hafif olma sebebi; içinde fazla boşluk bulunmasından dolayıdır. Bunun için hafif betonların mukavemetinin büyük olması beklenmez. Ancak bazı önlemler alınarak ve bazı koşullar altında üretilen hafif betonların taşıyıcı malzeme olarak kullanılması kabul edilir.

Hafif betonların sahip oldukları üstünlüklerden dolayı bu malzemenin üretimi son senelerde çok artmış ve bu alanda önemli bir endüstri gelişmiştir.

Hafif betonlar; çimento, birim ağırlığı düşük hafif agrega ve normal agregadan meydana gelmektedir. Agregada karışımında hafif agrega miktarının artırılmasıyla daha hafif veya birim ağırlığı daha düşük olan betonlar elde edilmektedir.

Hafif beton üretiminde üç değişik yöntem vardır;

a. Normal ağırlıklı agrega yerine, boşluklu hafif agrega kullanılmaktadır. Bu tip hafif betonlar kullanılan hafif agrega cinsine göre adlandırılırlar. Genişletilmiş kil, şist gibi taşıyıcı betonlar ile perlit betonu, pomza taşı betonu gibi yalıtım veya orta mukavemetli betonlar örnek olarak verilebilir.

b. Betonda fiziksel veya kimyasal yolla geniş boşluklar oluşturmaktır. Bu boşlukları hava sürükleyici katkı maddeleri ile elde etmek en yaygın yöntemlerden bazılarıdır. Bu tip betonlar gaz betonu, köpük betonu veya hava sürüklenmiş beton olarak adlandırılır.

c. Betonun ince agregasının çıkartılmasıyla betonda büyük boşluklar oluşturularak elde edilen betonlardır. İri agregalar birbirlerine 1-3 mm kalınlıkta çimento hamuruyla bağlıdır. Çimento dozajı yaklaşık 70 kg/m³~130 kg/m³’tür. Bu tip betonlar genellikle kumsuz betonlar olarak adlandırılır.

Tüm yöntemlerde beton yoğunluğundaki düşüşün nedeni meydana getirilen hava boşluklarıdır. Bu boşluklar agreganın içinde, harç içinde veya iri agregaların arasında olabilir ve bu boşlukların beton mukavemetini düşüreceği bir gerçektir.

Hafif agregaların en önemli özellikleri, yüksek poroziteli ve düşük birim ağırlıklı olmalarıdır. Hafif agregalar ya doğal olarak bulunurlar ya da yapay yolla üretilirler.

Yapay agregalar kil, şist, arduvaz benzeri killi veya konsolide killi malzemelerinin pişirilerek genişletilmeleri veya yüksek fırın cürufunun, uçucu küllerin pişirilerek kırılmasıyla elde edilirler. Bunlar küresel, düzgün yüzeyli ve sırlanmış olan agregalardır. Cüruf agregalarının yüzeyleri ise pürüzlüdür.

Doğal agregalar, pomza taşı, volkanik cüruf ve volkanik tuf gibi agregalardır. Doğal agregalar sadece belirli bölgelerde buldukları için büyük miktarlarda kullanım alanlarına sahip değildirler. Pomza taşı içlerinde en çok kullanım alanına sahiptir.

Pomza taşı açık renkli, köpük şeklinde volkanik camdan oluşmuştur. Kuru birim ağırlığı 500 ile 900 kg/m³ arasında değişir. Pomza taşının ısı yalıtım özelliği yüksek buna karşın su emmesi ve rötresi fazladır [6].

Pomza taşı tarihte bilinen en eski hafif agregadır. M.Ö.100'de Romalılar tarafından tavanlarda, duvarlarda, banyolarda ve tapınaklarda kullanılmıştır. Ülkemizde pomza taşı Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde oldukça geniş rezervlere sahiptir.

Doğal hafif agregaların su emme kabiliyetinin fazla olmasından dolayı bu betonlarda agrega taneleri ile çimento hamuru arasında daha kuvvetli aderans vardır. Bundan başka ince agregaya emdirilmiş olan ve agrega taneleri boşluklarında yer alan su bir bakıma su deposu işlevini görür. Gerektiği zaman çimento buralardan bir miktar su emerek hidrasyon olayını sürdürür [59].

Hafif betonların sahip oldukları üstünlüklerinden dolayı bu malzemenin üretimi son senelerde çok artmış ve bu alanda önemli bir endüstri gelişmiştir. Aşağıda ki metotlar uygulanarak hafif betonların üretimi mümkün olmaktadır.

- a. Hafif agrega kullanarak
- b. Kum kullanılmadan boşluklu beton üreterek
- c. Köpüklü beton

d. Gaz beton

e. Muhtelif metotları aynı zamanda uygulayarak hafif betonları üretmek

Hafif agregalar kullanılarak üretilen betonlarda birim ağırlığı düşük olan iri agregadır. Diğer bir deyişle bu betonlar çimento, hafif iri agregalar ve kum'dan meydana gelmektedir. Hafif agreganın mineral ve organik olmak üzere iki çeşidi vardır. Mineral hafif agregalar arasında en önemlisi volkanik bir yapıya sahip olan sünger taşıdır. Bundan başka şişt, vermiculite ve perlite gibi taşlar genişleme işlemine maruz bırakılarak hafif agregalar olarak kullanılırlar.

Organik agregalar clyaf, talaş ve testere tozu halinde ahşap artıklarıdır. Bunlar mineralizasyon işlemine maruz bırakılarak içlerindeki canlı hücreler öldürülür ve ateş almaz hale getirilir. Bu cins agregalar ile üretilen betonlar ayrıca bir olgunlaşma işlemine tabi tutulur ve bu suretle rutubet değişikliğinin hiçbir zararlı etki yapmaması sağlanır.

Mineral agregalar ile üretilen betonların birim ağırlıkları 0,5 kg/lt'ye kadar düşük değerler kolaylıkla alabilir. Bu betonların mukavemeti birim ağırlıkla beraber azalmaktadır. Birim ağırlığı 0,5 kg/lt olan 300 dozlu betonun 28 günlük basınç mukavemeti 35 kgf/cm² mertebesindedir.

Kum kullanılmadan beton üretmek suretiyle elde edilen hafif betonların birim ağırlıklarının 1,6-1,8 kg/lt arasında bulunması sebebiyle o kadar ilginç bir malzeme değildir. Çimento dozajı 140-250 kg arasında değişen bu malzemenin 28 günlük mukavemeti 50-95 kgf/cm² arasındadır.

Köpüklü beton ve gaz betonu aynı yapıya sahip bulunmaktadırlar. Bu iki malzemeye boşluklu beton veya sellüler beton denilmektedir. Bu betonlar her biri ile bağıntısı olmayan gözle görülebilen büyüklükte küresel boşluklar bulunur. Boşlukların işgal ettiği toplam hacim malzemenin görünen hacminin %60'ına kadar hatta daha fazlasına da çıkabilir. Yapı bakımından büyük bir benzerlik gösteren köpük ve gaz betonları üretim bakımından birbirinden ayrılırlar.

Muhtelif faktörlere etki yapmak suretiyle sellüler betonların özelliklerini büyük limitler arasında değiştirmek mümkündür. Bu betonların birim ağırlığının 0,5 kg/lt altına düşmesi halinde hafiflikten önemli faydalar sağlanır. Birim ağırlığı 0,5 kg/lt'den küçük olan betonların basınç mukavemeti 20-40 kgf/cm² arasında değişir. Bazı tedbirlere başvurmak suretiyle sellüler betonları da bir strüktür (taşıyıcı) malzeme olarak ta kullanmak mümkündür[48].

8.1 Taşıyıcı Hafif Betonun Uygulama Alanları

Taşıyıcı hafif beton, bir taraftan mukavemeti sayesinde taşıyıcı ödevi görmek, diğer taraftan uygun ısı yalıtımı sayesinde izolasyon ödevi görmek suretiyle başka hiçbir malzeme ile yapılamayacak bir şekilde kullanılabilir. Böylece taşıyıcı hafif beton iki ayrı fonksiyonu aynı anda yerine getirmektedir. Ayrıca hafif beton görünen cephe betonların da da kullanılmaya son derece uygundur. En ince kalıp detaylarını normal betondaki kadar iyi şekilde aksettirir. Kolay işlenmesi sayesinde güzel görünümlü yüzeyler elde edilebilir. Traş etmek yoluyla çeşitli görünümler ortaya konulabilir. Esmer renkli agrega ve açık renkli çimento veya bunun tersi kullanılarak güzel görünüm sağlanabilir. Kum püskürtmek suretiyle traş edilen yüzeyler donmaya dayanıklı olmakla beraber bu işlem hafif agrega tanelerini yerlerinden söktüğü için delikli bir yüzey oluşur. İşlenecek yüzeylerde hafif betonun traş edileceği kalınlık donatının konulacağı pas payına eklenmiş olmalıdır.

Hafif betonarme ve hafif ön gerilmeli beton Avrupa'da son yıllarda bir çok ilginç yapıda ve gittikçe artan bir biçimde uygulanmıştır. Bu uygulamaları en çok bünyesinde bulunduran ülkelerin başında Almanya gelmektedir. Buna örnek verecek olursak Wiesbaden'da inşa edilen Dickerhoff Köprüsü, Langerich' de Herrmanwes köprüsü, Frankfurt'taki beşinci hava terminali ve Münih'teki BMW idare binası sayılabilir.

Hafif betonarmenin daha çok okul idare binaları ve hal yapıları gibi yüksek binalarda kullanıldığı görülmektedir. Bu yapılardaki uygulama hem yerinde dökme hem de prefabrik şeklinde olmaktadır. Hafif betonarmenin hafiflik, taşıyıcılık ve ısıya karşı izolasyon özelliklerinden ekonomik bir şekilde yararlanılmaktadır.

Gün geçtikçe ve hafif betonarme ile mühendislik yapıları inşa edildikçe hafif beton yapma tekniği de gelişmektedir [60].

8.2 Taşıyıcı Hafif Betonun Yapım Esasları

a. Karışımlarda minimum 300 kg/m^3 çimento kullanılmalıdır. Ortalama olarak, çimento dozajının %20 artması dayanımda %10'luk artış sağlar. Genelde dozajın 450 kg/m^3 'ün üzerine çıkarılması gereksizdir.

b. Su/Çimento oranı iyi tayin edilmelidir. Betonda S/Ç oranını muhafaza edebilmek için çimento dozajının artırılmasına ihtiyaç vardır.

c. Normal betonlarda olduğu gibi plastikleştirici, hava sürükleyici vb. katkıları kullanılabilir.

d. Normal betonun aksine, hafif agregalı betonun dayanımı, katı çimento hamurunun dayanımından ve S/Ç oranından hareketle hesaplanmaz. Çünkü hafif agreganın dayanımı çok düşüktür ve betonun dayanımını tayin eder. Bunun için istenen dayanımın ya belli bir yoğunluk sınıfında ki agregadan değişik granülo-metrik kompozisyonlarda elde edilmesi ya da belli granülo-metrik kompozisyon içindeki değişik yoğunluktaki agregalarla elde edilmesi yolları aranır. Bu da deneyle mümkün olur. Temel amaç, istenen dayanımı ekonomik olarak elde etmektir. Numunelerin küründe, normal betondan farklı olarak, bunları suya batırmamak gerekir, plastik kılıflara sarmak yeterlidir. Aksi halde çok su emerek farklı sonuçlar verebilirler.

e. Hafif agregalı betonun taşınma, dökülme sıkıştırılması normal beton gibidir. Çok sulu harçlardan agreganın taşınırken yüzeye çıkması, katılığın fazla olması durumunda, da betonun iyi sıkıştırılmaması maruzlar olabilir. Agreganın yoğunluğu 600 kg/m^3 'den fazla ise yüzeyde kabarma olmaz. Şayet kabarmalar oldu ise, beton sertleştikten sonra el aletleri ile düzeltilebilir. Kabarmaların önlenmesi için, betona hava katılmalıdır. Böylece betonun akıcılığı artar, çimento hamurunun yüzürücülüğü azalır, ancak yoğunluk düşer.

f. Yüzeye dökülen betonda agregaların kabarak ayrışmasını önlemek için uygun delikli plak yada agregalarla üstten bastırmak gerekebilir.

g. Hafif agregalı betonda agregalar arasında ve çimento agrega arasında yoğunluk farkından dolayı segregasyon olur, iri agregalar yüzer. Bu nedenle pompalama yapılması çok zordur. Yeterli bir akıcılık için agrega (özellikle 4mm'den küçükler) 24 saat önceden ıslatılmalıdır.

h. Betonun kıvamı tayin edilmelidir. Özellikle betonun imal edildiği yer ile döküldüğü yer arasında geçen süre kadar kıvamda beklemek gerekir. İri agreganın yüzeye çıkması betonun koyu kıvamlı olduğu izlenimini vererek yanıltıcı olabilir. Taze beton yoğunluğu istenen dayanımın elde edilmesi bakımından oldukça önemlidir. Buradan sertleşmiş betonun yoğunluğu

kestirilebilir. Yoğunluk; istenen yoğunluğun üst limitinden %10, alt limitinden de %5'den küçük olmamalıdır.

ı. Hafif agregalı betonlar sıkıştırılırken daha yüksek enerji ister. Vibratörler daha sık aralıklarla (yaklaşık 20cm) tutulmalıdır.

i. Betonun içi ile dışı arasındaki ısı farkından dolayı iç gerilme olmaması için kalıp geç alınmalıdır. Hafif betonlar yavaş fakat hafif kür edilmelidir.

j. Çimentonun hidrasyonunun dan dolayı çıkan sıcaklık yüksek derecelere varabilir. Çünkü hafif betonun iletkenliği düşüktür.

8. 3 Taşıyıcı Hafif Betonun Avantajları ve Dezavantajları

Bütün ürünlerde olduğu gibi hafif ve taşıyıcı hafif betonlarda da avantajlarının yanında dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar;

8.3.1 Avantajları

Hafif ve taşıyıcı hafif betonların avantajlı olma sebepleri ekonomik olmalarından dolayıdır. Avantajlarını sıralayacak olursak;

a. Birim hacim ağırlığındaki azalma nedeniyle beton kalıbında daha küçük basınç oluşur. Bunun sonucunda üretim ve yerleştirme kolaylaşır.

b. Hafif betonla üretilen betonların birim ağırlıklarının düşük olması nedeniyle yapıdaki ölü yükler azalır. Böylece temeller ve diğer yapı elemanlarını daha küçük boyutlarda dizayn etmek mümkün olur.

c. Termik iletkenlik katsayısının düşük olması sonucu ısı yalıtımları yüksektir.

d. Ölü yüklerin azalması ve dolayısıyla hesap momentlerinin küçük çıkması sonucu daha az donatıya ihtiyaç gösterir. Özellikle deprem etkisinde, düşey yüklerle orantılı olarak oluşan yanal deprem kuvvetlerinin azalması taşıyıcı hafif betonun kullanılması ile sağlanır.

e. Kolay işlenebilme sayesinde en ince kalıp detaylarını bile aksettirebilir, güzel görünümlü yüzeyler ortaya konulabilir [53].

8.3.2 Dezavantajları

Hafif ve taşıyıcı hafif betonların ekonomikliğinden dolayı avantajlı olmalarına rağmen bunların yanında dezavantajları da vardır. Dezavantajları ise;

a. Boşluklu olmaları yani porozitenin büyük olması dolayısıyla mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle yüksek mukavemetli beton ve ön gerilmeli beton uygulamalarında tercih edilen bir yapı malzemesi değildir.

b. Rutubete karşı yalıtım yapılması zorunluluğu vardır.

c. Aşınmaya karşı dayanıksızdır.

d. Özellikle depo gibi yapılarda yoğun olan faydalı yükün taşınması gerektiği için daha kalın döşemelere lüzum vardır.

e. Dış etkilere maruz donatılarda daha kalın bir beton örtü (Pas payı) tabakasına ihtiyaç vardır.

f. Normal betona göre daha düşük bir kesme kuvvetine sahiptir.

g. Elastisite modülünün düşük olmasından dolayı hafif ve taşıyıcı hafif beton kirişlerde sehimler ve dönmeler daha büyüktür.

h. Tam olarak doğrulanmamasına rağmen, hafif betonların elastisite modüllerinin düşük olması nedeniyle sünme bir dereceye kadar yüksektir. Sabit yük altında uzun süreli davranış özellikle kullanılan agreganın rijitliği ile ilgilidir. Agreganın rijitliğinin azalması (hafif ve taşıyıcı hafif betonlarda olduğu gibi) sünmeyi artırması yanında sabit yükü uygularken oluşan ani şekil değiştirmeyi de artırır. Bileşimleri aynı olan hafif betonun rötresi normal betona göre daha fazla olmasına karşılık rötre süresince çatlama meydana gelme olasılığı daha düşüktür[60].

8.4. Yarı Hafif Betonun Yararları

Yarı hafif betonların birim ağırlıkları 1900-2100 kg/m³ arasında değiştirilirse normal betona göre %10-%15 gibi bir ağırlık azalması olur. Yarı hafif betonlarda bu orandaki ağırlık azalması elastiklik modülünde %25 gibi bir düşmeye sebep olur. Hafif betonun ise normal betona göre ağırlığı %20-%40 ve elastiklik modülü de %50 kadar azdır.

Özellikle, son yıllarda Almanya'da kullanılması düşünülen bu betonlar için şu yararlar ileri sürülmektedir :

a. Düşük birim ağırlıkları nedeniyle büyük boyutlu prefabrikte elemanlar için yüksek güçte yükleme ve kaldırma araçlarına daha az gerek duyulur.

b. Uzak yerlere taşımada ekonomi sağlanır.

c. Zayıf zeminlerde temel problemlerini biraz daha kolaylaştırır.

d. Kuyu ve kazık masraflarını azaltır.

e. Elastiklik modülünün düşük olması, yapının rijitliğini ve dolayısıyla mesnet oturmaları durumunda momentlerin az olmasına neden olur ve bu durum donatıda azalmayı sağlar.

Ancak elastiklik modülünün belirli bir alt sınırı da olmalıdır. Örneğin; DIN 4226 da normal beton elastiklik modülünün beton sınıfına göre alması gereken değeri belirlenmiştir. Hafif betonun elastiklik modülünün düşük olması nedeniyle $E_{çelik}/E_{beton}$ ($E_ç/E_b$) oranı büyüktür, bu bir anlamda taşıyıcı hafif betonların elastiklik modüllerinin de sınırlandırılmasını gerektirir. Betonarme sistemlerin servis yükleri altındaki çökmelerin ve çatlak genişliklerinin sınırlandırılmasıyla dinamik yükler altında çelik gerilmelerinin sınırlandırılması tahkiklerinde ($E_ç/E_b$) oranı gereklidir. Alman standartlarında bu oran 10 olarak alınmaktadır.

1900-2100 kg/m³ arası birimi ağırlığa sahip yarı hafif betonların ısı iletkenlik katsayısı, normal betonun yaklaşık yarısı kadardır. Ayrıca yarı hafif betonların üretimi için ileri sürülen yararlardan biride, taze durumdaki yarı hafif betonun aynı durumdaki hafif betona göre daha az ayrışması ve yerleşimcinin daha az sorun yaratmasıdır[61].

9. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, deneylerde kullanılan malzemeler, bu malzemelerle üretilen harç karışımları ile yapılan deneyler, deneylerde kullanılan aletler hakkında bilgi verilecektir.

9.1 Kullanılan Malzemeler

Bu araştırma da, sertleşmiş beton üzerindeki deney uygulamaları için harçların üretiminde kum, çimento, agrega ve puzolan olarak pirinç kabuğu külü kullanılmıştır. Aktivite deneyleri için ise, çimento, standart kum ve puzolan katkı malzemesi olarak pirinç kabuğu külü kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

9.1.1 Kum (Standart Kum)

Puzolanik aktivite deneylerinde, özel karışıma sahip olan standart kum, Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş'den temin edilmiş olup, temin edilen standart kumun granülometrisi aşağıda Tablo 9.1'de verilmiştir.

Tablo 9.1 Standart kumun granülometrisi

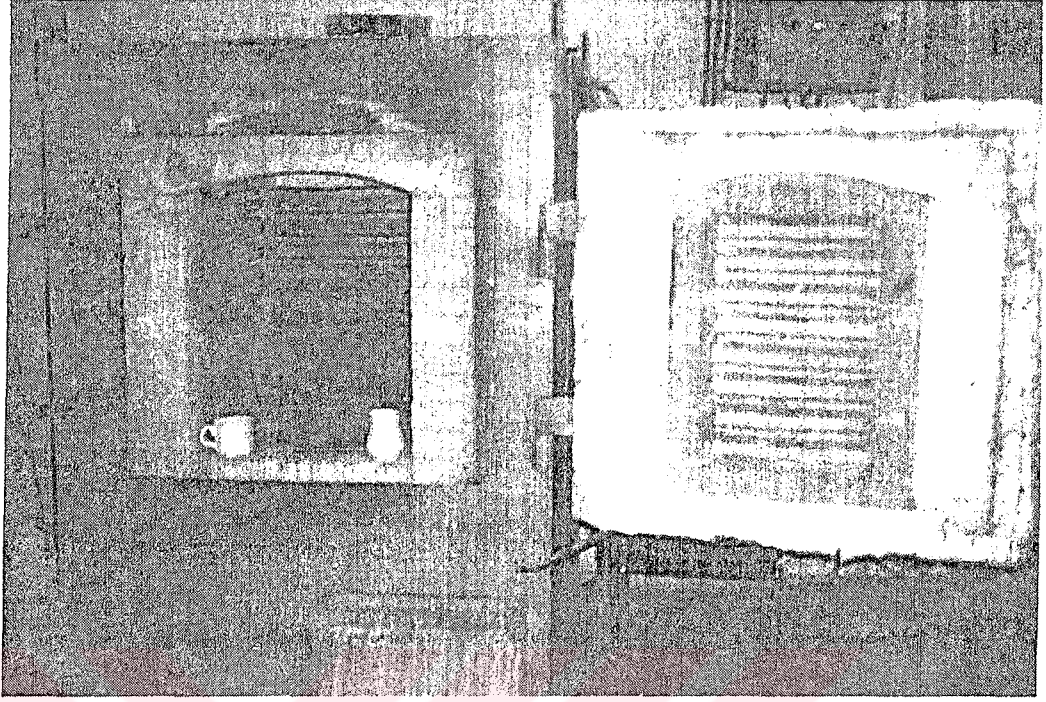
Elek boyutu (mm)	2	1,6	1,0	0,5	0,16	0,08
Elekten geçen (%)	100	95± 5	67± 5	33 ± 5	13 ± 5	2 ± 2

9.1.2 Çimento

Araştırmada, Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş'nin üretimi olan PÇ 42,5 (Normal Portland Çimento) kullanılmıştır, Çimento, fabrikadan alındıktan sonra deney süresi boyunca uygun koşullarda saklanarak, tüm serilerin aynı şartlar altında dökülmesine dikkat edilmiştir. Çimento üzerinde fiziksel, kimyasal ve mekanik deneyler yapılmıştır.

9.1.3 Agrega

Beton deneylerinde kullanılan agregalar, Elazığ ili, Palu ilçesi'nden geçen Murat nehri yakınında bulunan kum ocağından temin edilmiştir. Nehir kumu olması nedeniyle içersinde bulunan millerden arındırmak için kum yıkama işlemine tabii tutulmuştur. Alınan agregaların



Şekil 9.1 Pirinç kabuğu yakma fırını

Pirinç kabukları, ısıya dayanıklılığı açısından ve yanan kabukların mineral yapısını bozmamasından dolayı piyasada hazır olarak satılmakta olan toprak yapımı küplere konularak yakılmıştır. Yakma işleminin tam olarak meydana gelmesi için kabuklar fırın içerisinde yaklaşık olarak 3 saat bekletilerek yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen küllerin rengi açık grimsi ve açık leylak tonuna yakın renktedir. Yakma işleminin 3 saat olması sonucunda düşünülen, topaklanma olmamıştır. Halen daha tam olarak yanmayan, kömür tarzında yanmaların olduğu da görülmektedir.

Yüksek sıcaklıklar sonucunda amorf yapının azalması, yakma işleminden sonra yapılan soğutma koşullarına da bağlıdır. Ani soğutmalarda bu bir miktar da olsa engellenmiş olur. Fırında yakılan küller fırının kendi soğuma koşulları ile soğumaya bırakılmıştır. Fırın sıcaklığı 15°C 'ye düştüğü zaman, küller fırından çıkarılarak soğumanın gerçekleşmesi beklenmiştir.

Yakma sonucunda elde etmiş olduğumuz küllerin bu inceliği, çimento içersine katmak için yeterli değildir. Bu sebepten dolayı küllerin öğütülerek inceltilmesi gerekmektedir. Küllerin, tamamı 200μ 'luk elek altına geçecek şekilde öğütülmüştür.

9.2 Hazırlanan Harçların Karışım Miktarları

Hazırlanan harçlar, şahit ve küllü harçlar olmak üzere iki tiptir. Küllü harç olarak, pirinç kabuklarının yakma sıcaklığı 600⁰C elde edilen küller kullanılarak hazırlanmıştır. Harç karışımında külden kaynaklanan su artışının olması nedeni ile belirlenen 220 gr su yerine, su miktarı artırılarak gerekli kıvam sağlanmaya çalışılmıştır. Çünkü küllün su ihtiyacı incelğinden dolayı artmaktadır. Süper akışkanlaştırıcının dayanımı artıracağı düşünülerek, karışımlarda kullanılmamıştır. Hazırlanan harç karışımları Tablo 9.2’de verilmiştir.

Tablo 9.2 Harç karışımları

Harç Cinsi	Kül Oranı (%)	Çimento (kg)	Kül (kg)	Kum (kg)	Su (kg)
Şahit	0	415	0	1580	220
Küllü Harç Karışımı	10	374	41	1580	260
	15	353	62	1580	280
	20	332	83	1580	300
	25	311	104	1580	320
	30	291	124	1580	340

Küllü harçlarda, pirinç kabuğu külü, çimento ağırlığının %10, 15, 20, 25 ve %30’u oranında çimento ile yer değiştirilmesi ile harçlar hazırlanmıştır.

9.2.1 Hazırlanan Harcın Kalıplara Yerleştirilmesi, Kalıpların Özellikleri ve Boyutları, Saklama Koşulları

Tablo 9.2’de karışımları verilen harçlar, ortam sıcaklığı 25⁰C ± 2 bağıl nem ise yaklaşık 40⁰C ± 5 olan laboratuvar koşullarında üretilmiştir. Numuneler hazırlanmadan önce, çelik ve dökme demirden imal edilmiş olan kalıpların iç yüzeyleri madeni ince bir yağ ile aşırıya kaçmadan yağlanmıştır. Bunun nedeni hazırlanan beton harcın katılaştıktan sonra yüzey kısımlarının pürüzlü olmaması ve kalıplardan rahatlıkla çıkarılabilmesidir.

Hazırlanan beton karışımları, kalıplara ilk aşamada kalıbın 1/3’ü doldurularak 25 kez şişlenmiş, daha sonra kalıbın ½’si doldurularak kalıp zeminine kadar şişleme indirilmeden 25 kez, daha sonra tamamı doldurulup ilk 1/3’e indirilmeden 25 kez şişlenerek kalıplara yerleştirilmiştir.

4x4x16 cm, boyutlarındaki kalıba numuneler döküldükten 24 saat sonra çıkarılmış ve $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ şehir içme suyunda 7, 14, 28 ve 90 gün bekletilmiştir. Numuneler 8, 15, 29 ve 91'inci günlerde sudan çıkarılmış, aynı numuneler mekanik deneylere tabi tutulmuş eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir.

9.3 Deneyler

Deneyler için hazırlanan malzemeler üzerinde ve karışımlarla elde edilen beton üzerinde gerekli deneyler yapılmıştır. Su içerisinde bekletilen numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarına bakılmıştır.

9.3.1 Agregaya İlgili Deneyler

TS 706'ye uygun olarak yapılan deneysel çalışmayla agrega özgül ağırlığının $2,68 \text{ gr/cm}^3$ olduğu tespit edilmiştir. Granülometrik bir karışım elde edilmesi amaçlanarak TS 706'da ki sınır değerlere uygunlukta agrega karışımı hazırlanmıştır[60]. Agregalara ait granülometrik değerler aşağıda Tablo 9.3'de verilmiştir.

Tablo 9.3 0-8 mm çapındaki agregaların granülometri değerleri

Elek No	Elek Üzerinde Kalan		Kümülatif (%)	
	Gr	Kalan	Geçen	Kalan
8	0	0	100	0
4	350	35	65	35
2	133	13,3	51,7	48,3
1	148	14,8	36,9	63,1
0,5	229	22,9	14	86
0,25	99	9,9	4,1	95,9
Kap	41	4,1	0	100

Karışım da kullanılan agregaların diğer bazı özellikleri aşağıda Tablo 9.4'de verilmiştir.

Tablo 9.4 Agregalara ait diğer özellikler

Özgül ağırlık (gr/cm^3)	Su emme (%)	Aşınma kaybı (%)	Kil miktarı (%)	Donma kaybı (%)
2,68	4	16,6	2,0	1,83

9.3.2 Çimento İle İlgili Deneyler

Çalışmada kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 9.5 ve Tablo 9.6'da, çimentonun sahip olduğu kimyasal özellikler ise Tablo 9.7'de verilmiştir.

Tablo 9.5 Çimentonun fiziksel özellikleri

Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3,05
Priz başlangıcı (saat)	03:10
Priz sonu (saat)	04:15
Hacim Genleşmesi (mm)	7
Özgül alan (Blaine) (cm ² /g)	3470
Dansite	935
90 µ ,elek kalıntısı (%)	0,2
45µ ,elek kalıntısı (%)	4,0

Tablo 9.6 Çimentonun mekanik özellikleri

Gün	Basınç dayanımı (N/mm ²)
2	24,2
7	43,5
28	54,5

Tablo 9.7 Çimentonun kimyasal analizi

	% Miktarı
SiO ₂ (çözünen)	20,4
Çözünmeyen kalıntı	0,52
Al ₂ O ₃	5,61
Fe ₂ O ₃	3,27
CaO	63,01
MgO	2,49
SO ₃	2,26
Cl ⁻	0,006
Kızdırma kaybı	1,64
Tayin edilemeyen	1,68

Çimentonun fiziksel ve mekanik analizleri Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş tarafından yapılmıştır.

9.3.3 Pirinç Kabuğu Külü ile İlgili Deneyler

9.3.3.1 Fiziksel Özellikleri

Araştırmada puzolan olarak kullanılan pirinç kabuğu külünde özgül ağırlık, birim ağırlık deneyi yapılmış ve tamamı 200 μ 'luk elekten geçebilmesi için inceliği, öğütme işlemi ile azaltılmıştır. Elde edilen fiziksel deney sonuçları Tablo 9.8'de verilmiştir.

Tablo 9.8 Pirinç kabuğu külünün fiziksel özellikleri

Puzolan	Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Özgül Ağırlığı (g/cm ³)
Pirinç kabuğu Külü	0.685	1.97

9.3.3.2 Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Özellikleri

Pirinç kabuğu külünün kimyasal analizi, Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş tarafından yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 9.9'da verilmiştir.

Tablo 9.9. Pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O ₃	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
91,15	3.84	1,87	0,81	0.59	-	0,7 1	0,17	0,21	0,65

9.3.3.3 Pirinç Kabuğu Külü için Yapılan Puzolanik Aktivite Deneyleri

Puzolanların aktivitesi mekanik ve kimyasal deneylerle belirlenmektedir. TS 25[58] ve TS 639'a[59] göre puzolanik aktivite için üretilen harçlarda, karışımda kullanılan malzeme miktarları aşağıda Tablo 9.10 ve Tablo 9.11'de verilmiştir. Araştırma için kullanılan kireç, Elazığ Usallar Kireç Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Yapılan deneyle kirecin birim ağırlığı 2.176 gr/cm³ olarak tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan kireç TS 4022'ye uygun ve 2004 yılı üretimidir.

Tablo 9.10 TS 25'e göre üretilen harç karışımları (puzolanik aktivite harçları için (gr))

TS 25	(gr)
Ca(OH) ₂	150
Puzolan	250
Standart kum	1350
Su	385

Tablo 9.11 TS 639'a göre üretilen harç karışımları

TS 639 Çimento yerine puzolan	Ağırlık (gr)
Çimento	292,5
Puzolan	82,46
St.kum	1350
Su	230

Tablo 9.10'da TS 25'egöre hazırlanan puzolanlı harçlarda 7. günde eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur[58]. Deney sonuçları Tablo 9.12'de verilmiştir.

Tablo 9.12 TS 25'e göre pirinç kabuğu külünün puzolanik aktivite sonuçları

Puzolan	Eğilme dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Pirinç Kabuğu Külü	1,6	5,4
TS 25	1,0	4,0

Pirinç kabuğu külünün puzolanik aktivitesi TS 639'a[59] göre üretilen harçlarda da belirlenmiştir. Tablo 9.11'de verilen çimento yerine puzolan olarak katılan pirinç kabuğu külü ile hazırlanan harçların dayanım sonuçları Tablo 9.13'da verilmiştir.

Tablo 9.13 TS 639'a göre pirinç kabuğu külünün puzolanik aktivite sonuçları

Puzolan	Eğilme dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	W/C
Pirinç Kabuğu Külü	5,9	31,18	0,61
Şahit Harç	6,3	34,56	0,61

Tablo 9.12 ve 9.13 incelendiği zaman, pirinç kabuğu külünün kireç ve çimentoyla yapmış olduğu reaksiyon sonucunda puzolanik aktiviteye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Çünkü TS 639'a göre dayanım koşulunun, şahit harcın dayanımının %70'ini sağlaması gerekmektedir[59]. Tablodaki dayanım değerlerinin de bu koşulu sağladığı görülmektedir.

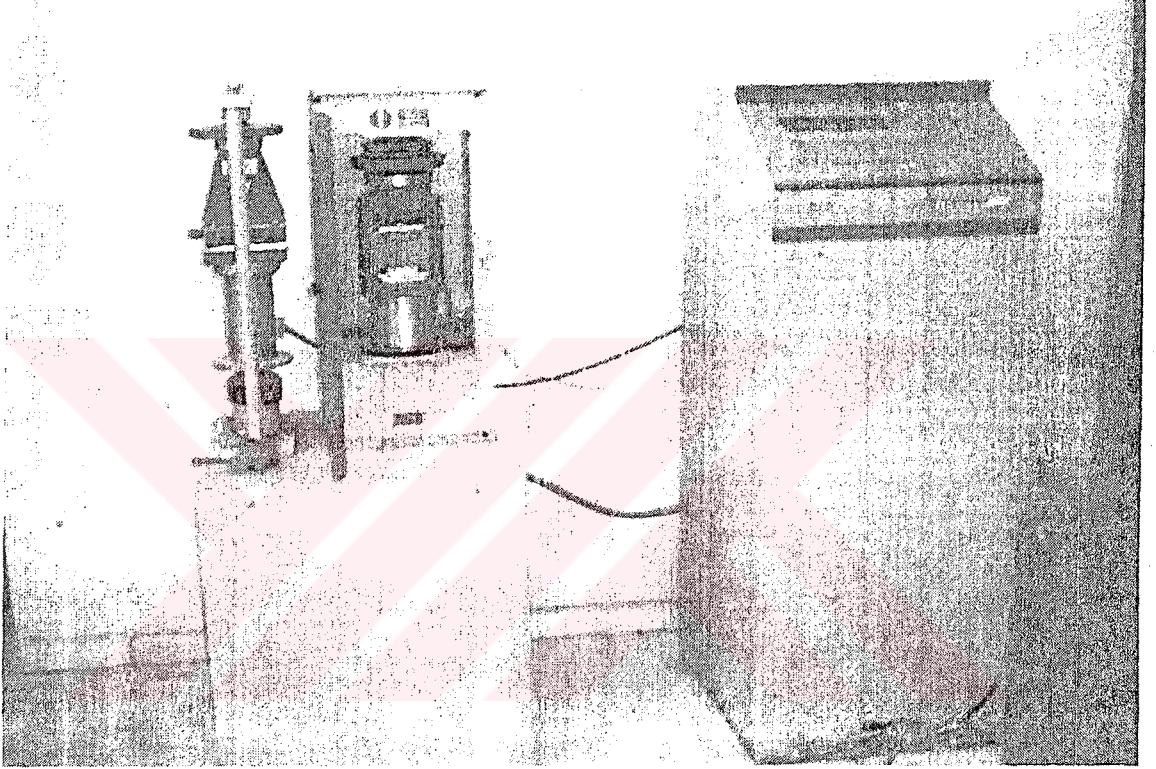
9.4 Sertleşmiş Betonda Yapılan Deneyler

9.4.1 Sertleşmiş Betonda Eğilme Dayanımı Deneyi

Sertleşmiş betonda eğilme deneyleri belirlenen günlerde, yükleme hızı 0.05 kN/s hıza ayarlanmış, hidrolik yük kontrollü eğilme aletinde yapılmıştır. Maksimum yük uygulamasında

malzemenin kırılma anında, pres otomatik olarak yüklemeyi kesmektedir. Uygulanan maksimum kırılma yükü dijital ekranda okunabilmektedir.

Her karışım oranı için üçer adet numune dökülmüş, daha sonra bu değerlerin ortalamaları alınarak tablo ve şekiller de verilmiştir. Aşağıda Şekil 9.2’de hidrolik yük kontrollü eğilme aleti görülmektedir.



Şekil 9.2 Hidrolik yük kontrollü eğilme ve basınç dayanım aleti

9.4.2 Sertleşmiş Betonda Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı deneyinde kırılan numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi aynı özelliklere sahip, şekil 9.2’te görülen yükleme hızı 2.400 kN/s olarak ayarlanan hidrolik yük kontrollü preste, yükleme işlemine tabi tutulmuştur.

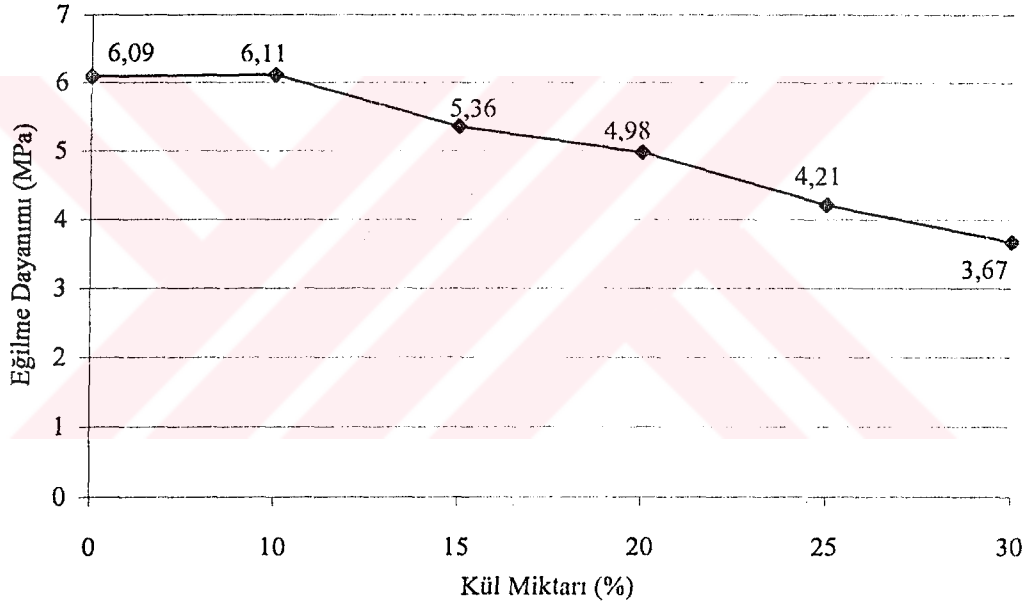
Maksimum yüke ulaşarak numunenin kırılmasına sebep olan pres, kırılma anında otomatik olarak yüklemeyi kesmiştir. Uygulanan maksimum yük değerleri dijital olarak ekranda görülebilmektedir.

9. 5 Sertleşmiş Beton Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları

9.5.1 Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

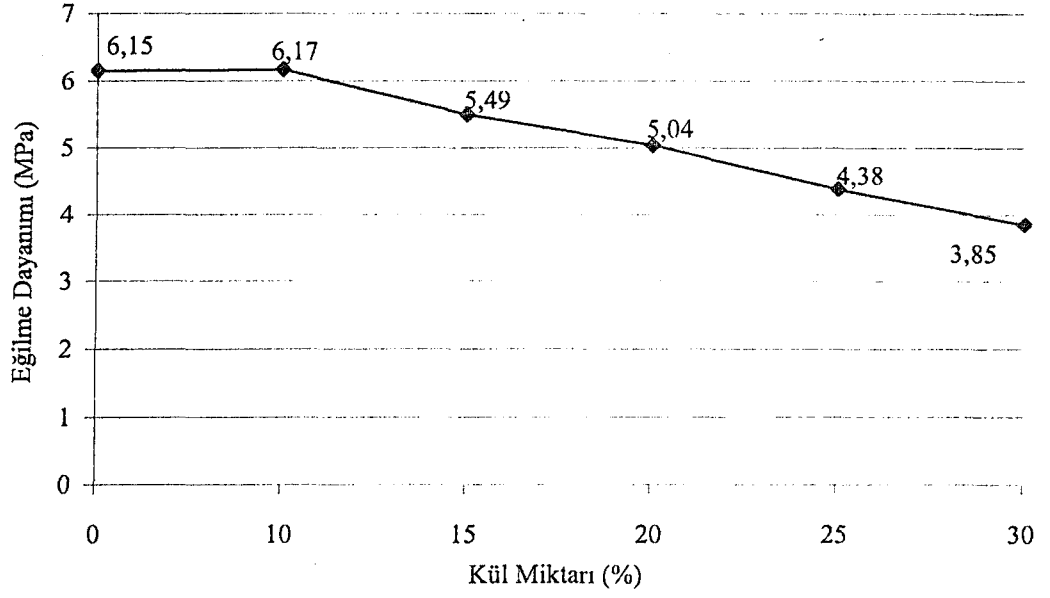
Kür tankından 4x4x16 cm boyutlarındaki numuneler eğilme dayanımı deneyinde kullanılan dijital hidrolik preste, orta noktadan yükleme yapılarak maksimum kırılma yükleri tayin edilmiştir.

Eğilme dayanımları şahit karışım ve kül oranı % 10, 15, 20, 25, 30 olan karışımlar için yapılmıştır. Elde edilen 7 günlük eğilme dayanımları aşağıda Şekil 9.3' de verilmiştir. Dijital olarak ayarlanan hidrolik presin vermiş olduğu eğilme dayanım sonuçları, MPa (Megapascal) cinsinden sonuçlardır.

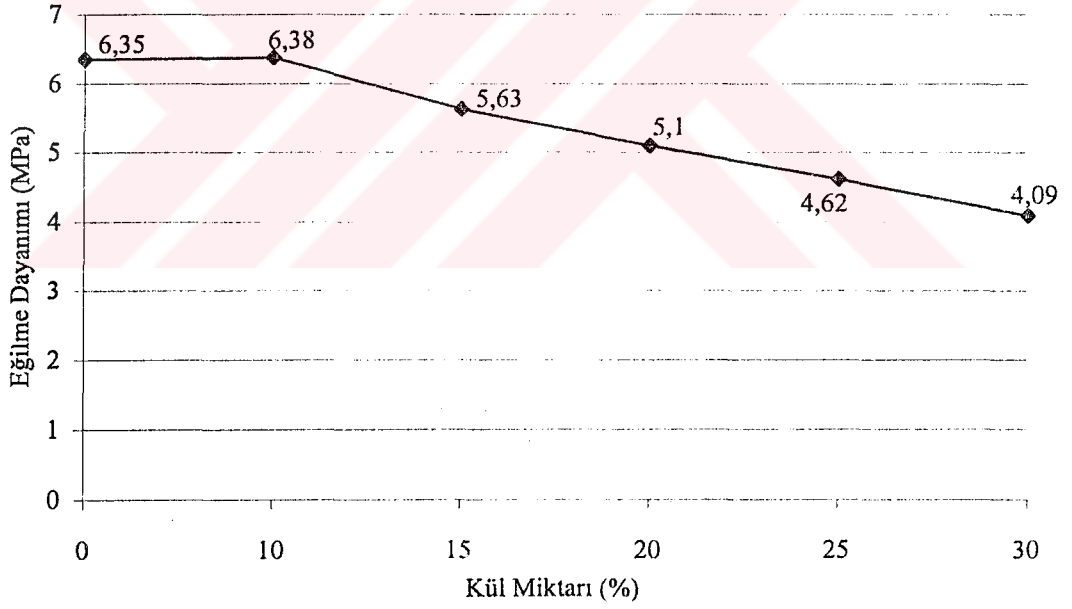


Şekil 9.3 Karışımların 7 günlük eğilme dayanımları

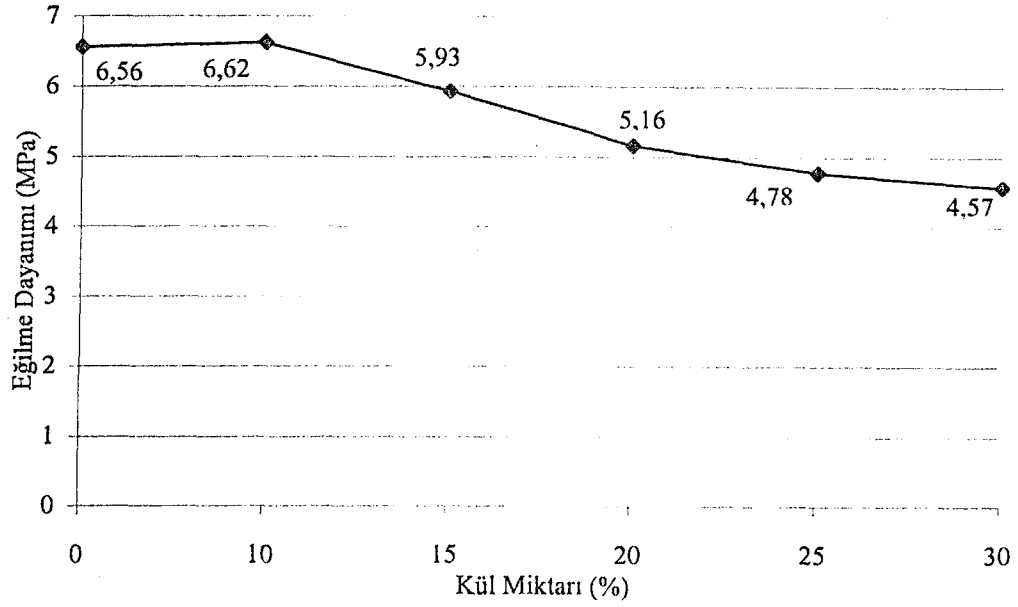
Şekil 9.3'te de görüldüğü üzere 7 günlük numunelerde yapılan eğilme deneyinde, optimum değer % 10 olarak belirlenmiştir. Ayrıca 14, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları aşağıda verilen şekillerde gösterilmiştir. Bunlardan da görüldüğü gibi %10 oranında pirinç kabuğu külünde yüksek artış olduğu ve bu artışın sürekliliği gözlenmektedir.



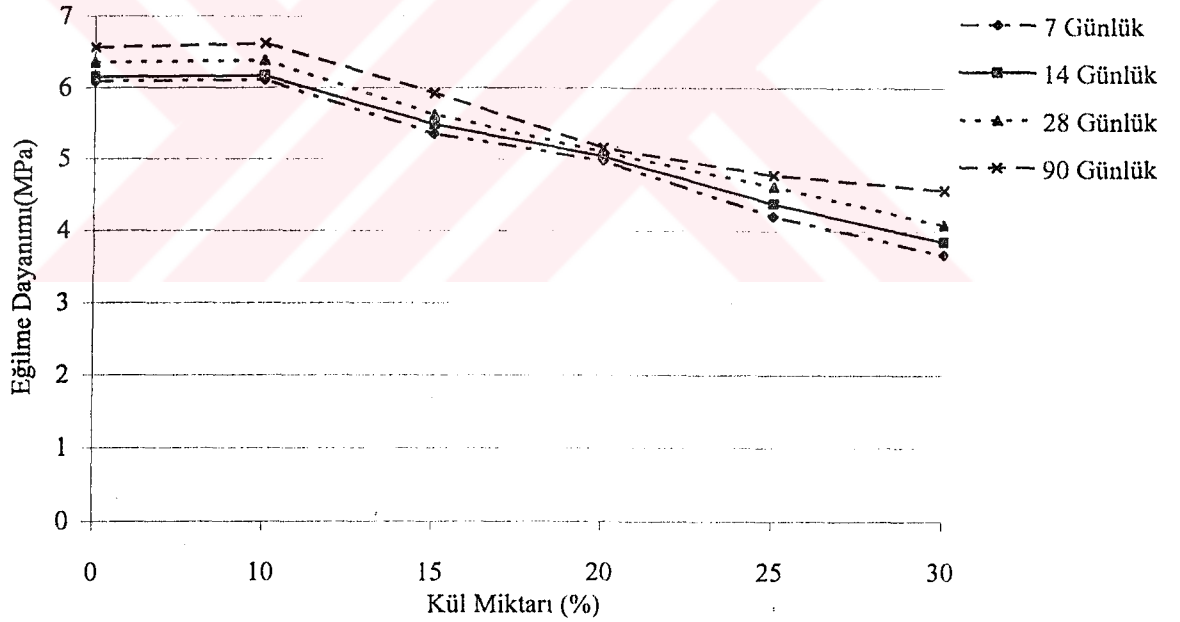
Şekil 9.4 Karışımların 14 günlük eğilme dayanımları



Şekil 9.5 Karışımların 28 günlük eğilme dayanımları



Şekil 9.6 Karışımların 90 günlük eğilme dayanımları



Şekil 9.7 Karışımların günlere göre eğilme dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 9.7'de de görüldüğü gibi pirinç kabuğu külü ilaveli karışımlarla hazırlanan harçların, şahit harca göre eğilme dayanımlarındaki artışlarında % 10 pirinç kabuğu külü ilaveli harcın diğer karışımlara göre, eğilme dayanımında zamana bağlı olarak artış izlenmektedir.

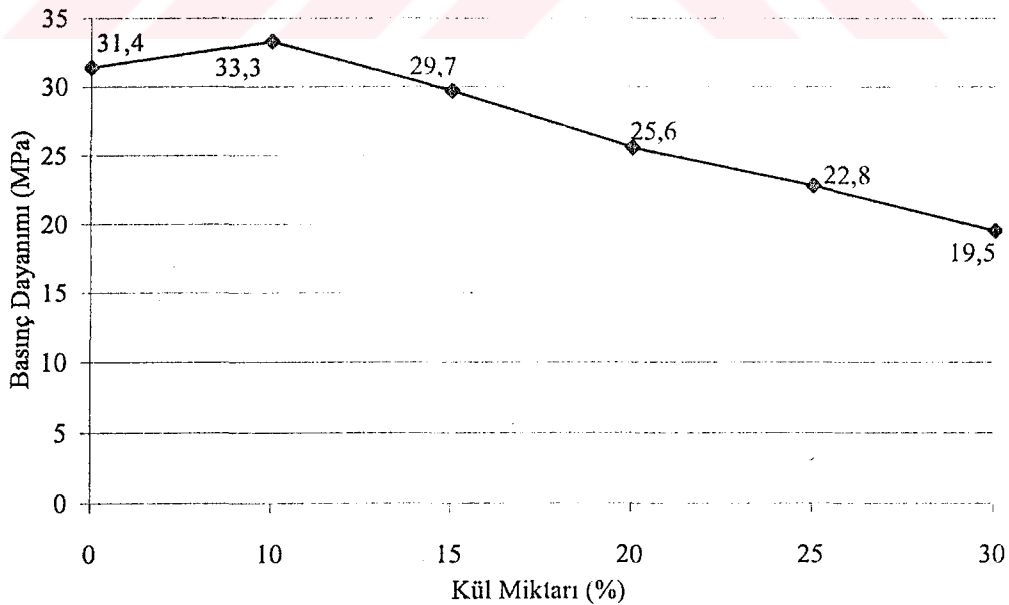
Yapılan araştırmada zamana bağlı olarak elde edilen sonuçlar mukayese edildiğinde, % 10 pirinç kabuğu külü ilaveli harç karışımının ve diğer karışımların bir önceki sreye oranla eğilme dayanımlarında artış olduğu görülmektedir. Diğer karışımların % 10 pirinç kabuğu külü ilavesi ile hazırlanan karışıma oranla eğilme dayanımı değerlerinde ki azalmanın, karışım oranındaki artışa bağlı olarak inceliğin artması ve bununla beraber gerekli su miktarındaki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yukarda verilen Şekillerden elde edilen sonuçlara bağlı olarak, pirinç kabuğu külünün puzolan karakter de olduğu görülmektedir.

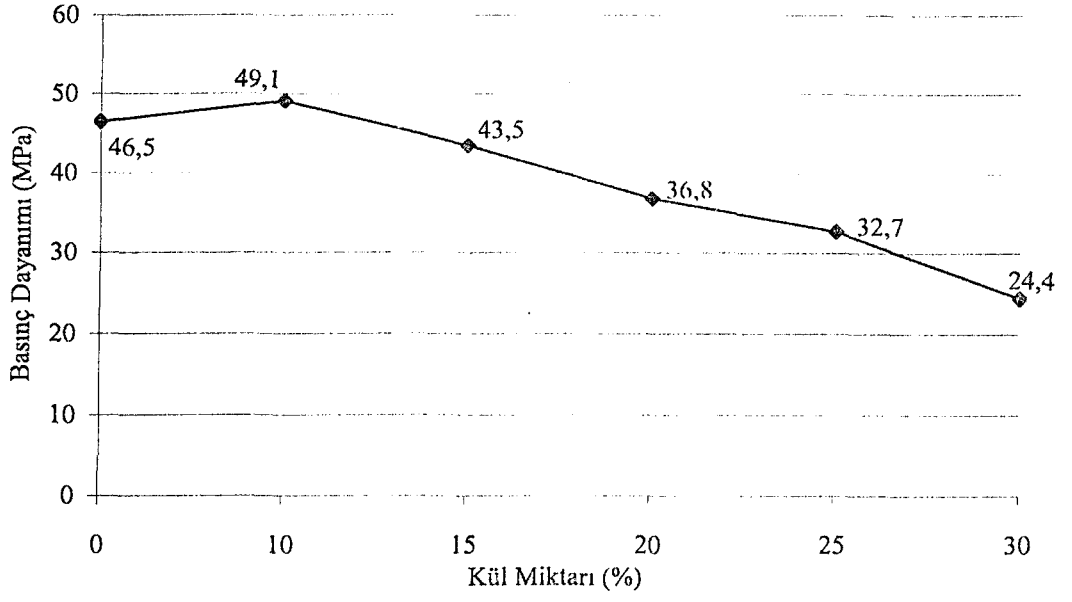
9.5.2 Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Eğilme deneyine tabii tutulan numune parçalarının kırılması sonucu, kırılan numunedan alınan iki parça üzerinde basınç dayanım deneyi, yükleme hızı 2.400 kN/s olan dijital ayarlı hidrolik kontrollü basınç aletinde yapılmıştır. Basınç aleti maksimum kırılma yükü uygulama anında otomatik olarak durma özelliğine sahiptir.

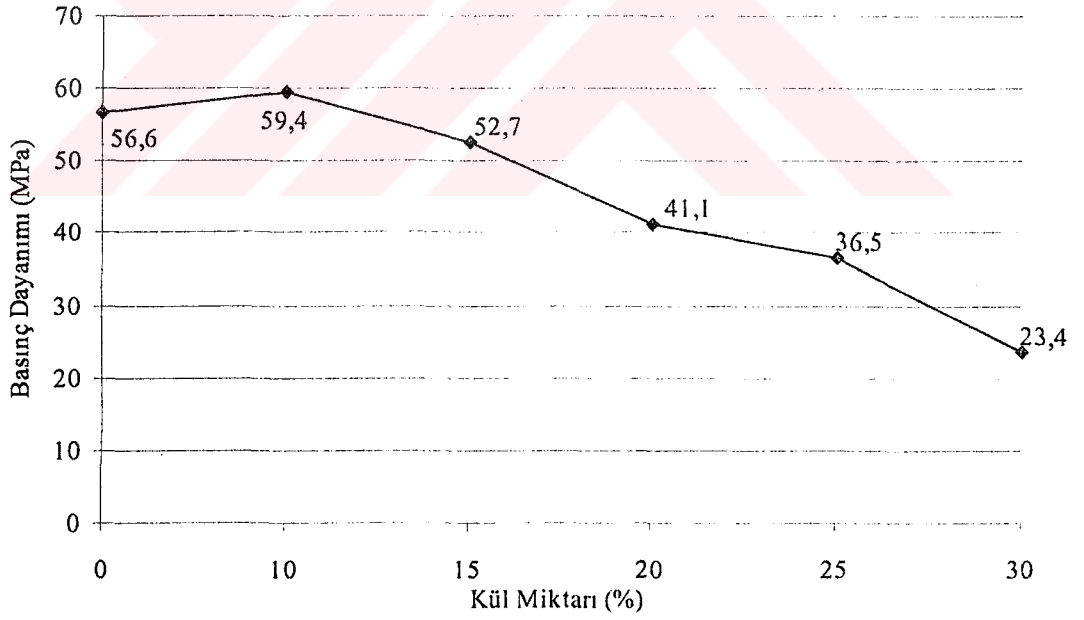
Elde edilen sonuçlar deneye tabii tutulma sürelerine göre aşağıda verilen Şekillerde gösterilmiştir.



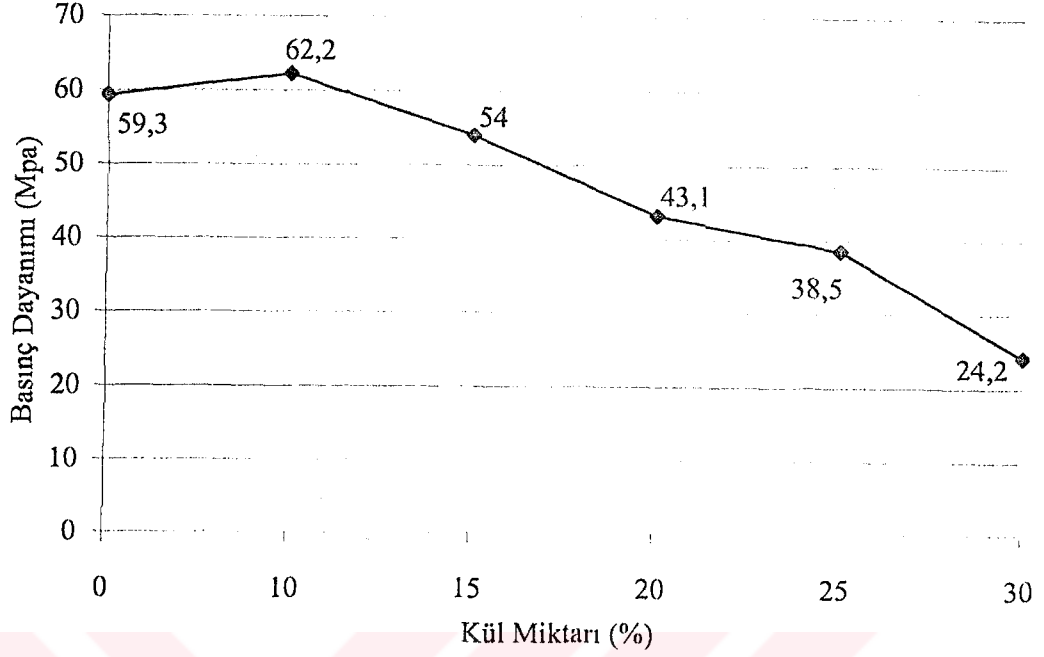
Şekil 9.8 Karışımların 7 günlük basınç dayanımları



Şekil 9.9 Karışımların 14 günlük basınç dayanımları

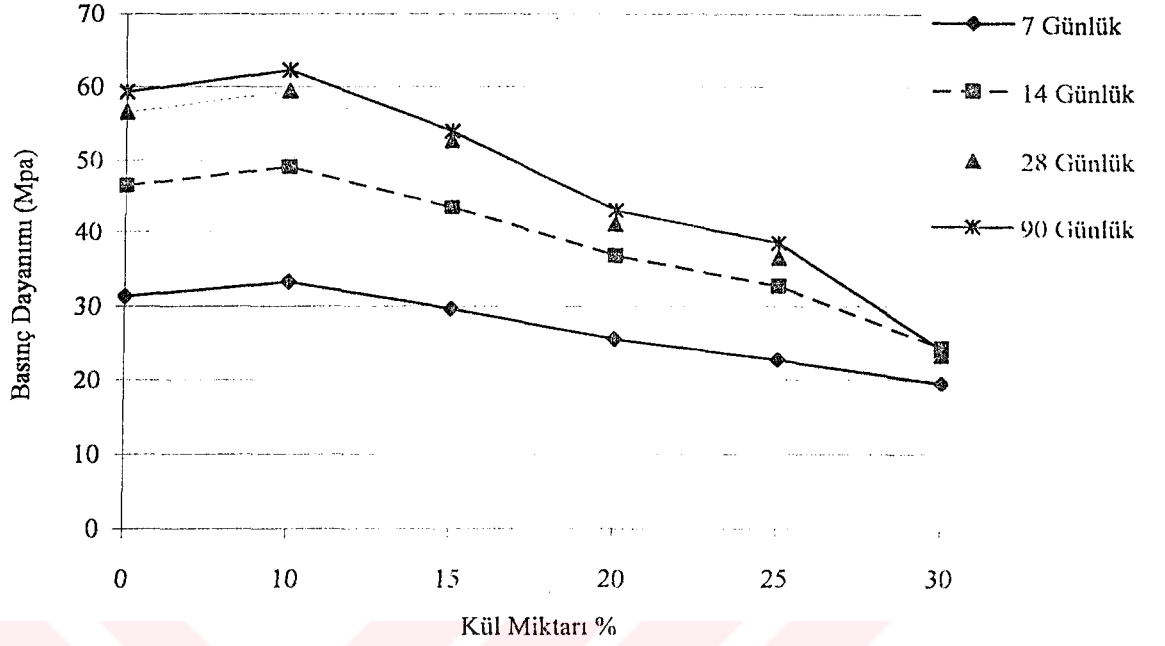


Şekil 9.10 Karışımların 28 günlük basınç dayanımları



Şekil 9.11 Karışımların 90 günlük basınç dayanımları

Bu kısımda su içinde bekleyen harçların basınç dayanımlarının zamanla ve kül miktarları ile değişimleri incelenmiştir. Şekil 9.8 - 9.9 - 9.10- 9.11'de de görüldüğü üzere şahit ve pirinç kabuğu külü katılarak yapılan karışımlarda basınç dayanımı zamanla artmaktadır. Şekillerden de anlaşıldığı gibi tek zaman içerisinde % 10 pirinç kabuğu külü ilavesi ile hazırlanan harç karışımında elde edilen değerler şahit harçlara oranla artış göstermiştir. Tüm karışımların zamana bağlı olarak mukayeseleri aşağıda şekil 9.12'de verilmiştir.



Şekil 9.12 Karışımların günlere göre basınç dayanımları

Su içinde bekleyen karışımların basınç dayanımlarının, zamana ve kül miktarı değişimlerine bağlı olarak yapılan inceleme sonucunda Şekil 9.12’te de görüldüğü üzere, %10 olarak ilave edilen kül miktarında diğer karışımlara ve şahit harca kıyasla bir artışın olduğu görülmektedir.

Zamana bağlı olarak yapılan karşılaştırmada, basınç dayanım artışlarının olduğu ve bu artışlarda % 10 pirinç kabuğu külü ilavesi ile yapılan harcın, şahit harca göre artış izlediği ve bu artışın diğer zaman aralıklarında da devam ettiği tespit edilmiştir.

Yapılan basınç dayanım deneyinden de pirinç kabuğu külünün puzolan olarak kullanılacağı alınan değerler neticesinde görülmektedir.

9.6 Pirinç Kabuğu ile Yapılan Deney Sonuçları

Pirinç kabuğu ile gevşek birim hacim ağırlığı, sıkışık birim hacim ağırlığı ve ağırlıkça su emme deneyleri yapılmıştır.

Yapılan gevşek birim hacim ağırlığı deneyi sonucunda, gevşek birim hacim ağırlığı 0.096 gr/cm^3 , sıkışık birim hacim ağırlığı $0,167 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur.

Ağırlıkça yapılan su emme deneyinde, kabukların yaklaşık olarak %135 oranında ağırlıkça su emdiği görülmüştür.

% 10 oranında ince agregası ile yer değiştirilerek hazırlanan karışımlar, $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ lik kalıplara tekniğine uygun olarak yerleştirilmiş ve daha sonra kalıplardan çıkarılarak, özel bir kr sisteminden faydalanılarak kr edilmiştir. 7 gün sonra, $0,01 \text{ mm}$ hassasiyete sahip özel ölüm aletiyle hacimsel artış değerleri belirlenmiştir. lmlerde kalıp içinde kalan pürüzsüz yüzeylerde, 0.116 cm artış olduğu tespit edilmiştir. Bu 1 m^3 bir yapı elemanında 2.9 cm^3 'ye tekabül eder. Bu artış kalıbın boş kalan st kısmındaki yüzey için 0.130 cm dir ki, buda 1 m^3 bir yapı elemanında 3.25 cm^3 bir uzamadır.

10. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmalardan da görüldüğü gibi pirinç kabuğu külü, uygun şartlarda yakıldığı ve öğütüldüğü zaman puzolan olarak kullanılabilir.

Pirinç kabuğu külünün inceliğinin fazla olması sebebi ile ihtiyaç duyulan su miktarı artmaktadır. Bundan kaynaklanan bir eğilme ve basınç dayanımı azalması olabileceği düşünülmektedir. Bu sorunda, diğer malzeme türleri ile hazırlanabilecek kompozit bir malzeme türü ile giderilebileceği düşünülmektedir.

Bu artış ve ihtiyaç duyulan su miktarı akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile giderilebilir.

Yapılan çalışma da, eğilme ve basınç dayanımlarında %10 kül miktarına sahip olan karışım, sonucunda elde edilen değerler optimum değer olarak belirlenmiştir. Diğer oranlarda da zamanla azalma gözlenmekte olup, bu oranlarda ki azalma kül miktarının fazla oluşundan kaynaklanan tepkimenin yavaşlaması olarak algılanabilir. %10 oranında katılan kül miktarından fazla olarak katılan oranlarda da puzolan olma olasılığı zamanla verdiği değerler arasındaki farklılıktan anlaşılabilir.

Çalışmamız da, elde etmiş olduğumuz değerlerden faydalanarak, atık ürün olan pirinç kabuğu, yakılarak çimento içerisinde uygun koşullar neticesinde puzolan olarak kullanılabilir. Bu sayede de atık ürün olarak silolar halinde bulunan kabuk yığınlarının çevre kirlenmesine sebep oluşu engellenmiş ve bu ürün yapı için temel malzeme olan çimentoda kullanılması sağlanmış olacaktır.

Pirinç kabuğu külünün daha sabit koşullarda ve daha seri olarak üretilmesi verimi artıracak düşünülmekte, bunun içinde daha detaylı bir yakma fırınının imal edilmesi gerekmektedir.

Hafif bir beton elde etmek için kullanılması düşünülen pirinç kabuğu üzerinde yapılan araştırmalar neticesinde, pirinç kabuğunun ağırlıkça su emme miktarının fazla olması sebebi ile betondaki yapının genleşmeye maruz kalarak çatlamasına, korozyonun artmasına, mukavemetin azalmasına sebep olacağı düşünülerek, pirinç kabuğu külü ile birlikte kullanılmasından vaz geçilmiştir. Taşıyıcı elemanlarda kullanılması yapı elemanı açısından zararlıdır. Genleşme meydana getirmesi ile yapı elemanındaki boyutlarda oluşan değişim yapı açısından önemli bir kusurdur. Taşıyıcı olmayan bölme duvarlarda kullanılabilmesi, ince detaylarla mümkün olabilir.

Pirinç kabuğunun aşırı derecede su emmesi sonucunda hacminde fazlasıyla artış meydana geldiğinden dolayı hafif betonda agrega olarak kullanılmasından vazgeçilmiştir. Fakat özel imalat teknikleri ile yalıtım amaçlı levha imalatı yapılabilir. Bu konunun da araştırılmasının faydalı olacağı kanaatindeyim.



KAYNAKLAR

- [1]. MAZLUM, F. (1989), **Pirinç Kabuğu Külünün Puzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi**, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil. Ens. İstanbul.
- [2]. GARIBOLDI, F., BARTHA, P., MEHTA, P. K. (1974), **Optimizing tech. Rice Husk Utilization**, Rice-By-Product Conf. Valencia, Spain, pp 102
- [3]. COOK, J. (1980), **Using Rice Husk for Making Cement Like Materials**, Appropriate Technology, Vol. 6, No 4, pp 10.
- [4]. COOK, J. (1980), **Alternative Cements Based on Agricultural Residues** . First Int. Cong. On Tech. For Develop Canberra. Pp 224.
- [5]. BEAGLE, E. C. (1978), **Rice Husk Conversion to Energy**, FAO Agricultural Services Bulletin 31, Roma.
- [6]. NEVILLE, A. M., (1993), **Properties of Concrete**, Pitmann Publishing, London
- [7]. POSTACIOĞLU, B. (1986), **Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton**, Cilt 1
- [8]. LEA, F. M. (1956), **The Chemistry of Cement and Concrete**, Newyork.
- [9]. BLANKS, R. F., CKENNEDY, H. L. (1955), **The Technology of Cement and Concrete**, Vol. 1, USA.
- [10]. MEHTA, P. K. (1983), **Puzzolanic and Cementitious by Products as Mineral Admixtures for Concrete**, Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral by- Products in Concrete, Vol 1, ACI SP 79, pp 23
- [11]. ERGUVANLI, K. (1983), **Mühendislere Jeoloji**, İTÜ, Maden Fakültesi, İstanbul.
- [12]. NEMUTLU, S. (1963), **Çeltik Kapçığı Betonunu Araştırmaları**, İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, No 5-16, Ankara.
- [13]. DİE. (2003). **Tarımsal Yapı ve Üretim**, Devlet İstatistik Enstitüsü
- [14]. İGEME (2003). **İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi**
- [15]. ÖLMEZ, H. , (1988), **Endüstriyel Tarımsal Atıkların çimento Üretiminde Değerlendirilmesi**, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları 47, Fen Edebiyat Fakültesi , Samsun,
- [16]. FAO, (2002). **Birleşmiş Milletler Gıda Ve Tarım Örgütü**
- [17]. SNAH, R.A., KHAN, A.H, CHAUDRY, M.A., (1979), **Utilization of RHA for The Production of Cement Like Materials in Rural Areas** , Pakistan

- [18]. HOUSTON,D.F.,(1972), **Rice Chemistry and Technology**, American Association of Cereal Chemists Inc.St.Paul, Minnesota
- [19]. KWAME ,A.,(1975), **Studies of Black Silica Produced Under Varying Conditions**, Ph.D.Thesis California
- [20]. R. Jauberthica,U, F. Rendella,I S. Tambab,2, I. Cisseb,3, **Origin of The Pozzolanic Effect of Rice Husks**, Construction and Building Materials 14, (2000) p.419-423
- [21]. COOK,J., (1984) **Rice-Husk Ash Cement**, Their Development and Application, Australia
- [22]. BEAGLE ,E.C., (1978), **Rice Husk Conversion to Energy** , FAO Agricultural Services Bulletin 31, Food and Agricultural Organisation of the United Nations , Rome
- [23]. TEREM, H.N., (1973), **Anorganik Sınai Kimya** ,İ.Ü.,Yayın No: 1817, Kimya Fak. No:12,İstanbul.
- [24]. NEMUTLU,S., (1963), **Çeltik Kapçığı Araştırmaları** , İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları No:5-16 , Ankara.
- [25]. BIDIN.R.,NGEE,C.C.,YEOH,A.K.,PING,C.B.,(1984),**Rice Husk Cement**, Standarts Industrial Research Institute of Malaysia (Sirim) Malaysia,
- [26]. MEHTA,P.K., (1979), **The Chemistary and Technology of Cements Rice Husk Ash made from Rice Husk ASH**, Proc,Unido/Escape/RCTT Workshop on rice husk ash cement, Peshavar, Pakistan
- [27]. DASS,A.,(1984), **Puzzolanic Behaviour of Rice Husk Ash**, Building Research and Practice V12, N 5, September,October,
- [28]. ALKHALAF,M.M.,YOUSIFF,H.A.,(1984), **Use of Rice Husk Ash in Concrete**, The İnt.J.of Chem.Comp.and Ligt Weight Concrete V6, N4
- [29]. JAMES,J.,RAO,S., (1986), **Silica from Rice husk throughtThermal decomposition**, Termocihimia Acta, 97,
- [30]. JAMES,J.,RAO,S., (1986), **Reactivity of Rice Husk Ash**, Cement of Concrete V16, N3.
- [31]. COOK,J.,PAMA,R.P.,and DAMER,S.A.,(1976), **The Behaviour of Concrete and Cement paste Containing Rice Husk Ash**, Proc.Conference on Hydraulic Cement Paste, University of Sheffield.

- [32]. ÖZDEMİR,İ.,(1981), **Genel Anorganik ve teknik Kimya**, İTÜ matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [33]. COOK,D.J., and SUWANVITAYA,P.,(1983), **Properties and behaviour of Lime-RHA**, CIB-RILEM, Nairobi
- [34]. HAXO,H.E., MEHTA,P.K.,(1975), **Ground Rice-Hull Ash a Filler for Rubber**, Rubber Chemistry and Technology V48,N2, May-June
- [35]. ANUCHITA,K.,(1981), **A Study on Using the Rice Husk Ash as a Strenght Contributing Filler in Portland Cement**, Thailand, November.
- [36]. ÇAVUŞOĞLU, C., (1988), **Puzolanların Klinker ve Alçı Taşı ile Birlikte Öğütülmesinin veya Öğütülmüş Halde Çimentoya Katılmasının Çimento Özelliklerine Etkisi**, Bitirme Ödevi, İTÜ İnşaat Fak.
- [37]. HAJELA,R.B., GUPTA,R.G.,(1986), **Rice Husk Utilization in Brick and Tile Manufacture** , Use of Vegetable Plants and Fibres as Building Materials Joing Symposium Rilem/CIB/NCCL , Baghdad, October
- [38]. RAHMAN,M.A.,(1987), **Properties of Clay-Sand-RHA Mixed Bricks**, The İnternational Journal of Cement Composite and Light Weight Concrete V9,N2 May.
- [39]. RAHMAN,M.A.,(1987), **Use of RHA in Sandcrete Blocks for Masonry Units**, Materials and Structures, V 20.
- [40]. Bull. Mater. Sci., Vol. 25, No. 6, November 2002, pp. 561–563. © Indian Academy of Sciences
- [41]. DELLA, Possamai, KÜHN, (2001) Ingeborg, **Characterization of Rice Husk Ash For Use As Raw Material In The Manufacture Of Silica Refractory**. Quim. Nova, Vol. 24, No. 6, 778-782, Artigo
- [42]. ASSUREIRA, Estela, (2002) Boiling Point 48/final 6/11/02 1:52 pm Page 5,eassure@pucp.edu.pe
- [43]. TORBED, (August 2002), **Energy & Amorphous Silica Production From Rice Husk**, Torftech (Canada) Inc 2695 North Sheridan Way, Suite 110 Mississauga, Ontario L5K 2N6
Process Reactor Technology Application Description

- [44]. BOUZOUBAA, Nabil, (July 2001), **Concrete Incorporating Rice-Husk Ash: Compressive Strength and Chloride-Ion Penetrability**, Knowledge Base, Technical Report No. of pages: 17
- [45]. SINGH, S, K, MOHANTY, B, C and BASU, S.(November 2002), **Synthesis of SiC from rice husk in a plasma reactor**, Materials Science Centre, Indian Institute of Technology, Kharagpur ,721 302, India, Regional Research Laboratory, Bhubaneswar 751 013, India
- [46]. ASTM E 632-81,(1982), **Standart Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials** American Society for Testing Materials , Philadelphie , PA,
- [47]. MOSKVIN,V.,(1983), **Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection**, MIR Publishers, USSR.
- [48]. POSTACIOĞLU, Bekir (1975), **Yapı Malzemesi Dersleri**, İTÜ. İnşaat Fakültesi,
- [49]. OYMAEL, Sabit, (1997),**Yapı Fiziği Ders Notları**,Baskı III,İstanbul
- [50]. UYAN.M., (1977), **Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı**, Doktora Tezi
- [51]. AKMAN,M, S, (1990), **Yapı Malzemeleri Dersleri**, İTÜ, İnş.Fak.Matb.
- [52]. MEHTA,P.K., (1986), **Concrete Structure, Properties and Materials**, Prentice-Hall
- [53]. ARICI Erdinç (1997),**Yüksek Lisans Tezi**, Fırat Üniversitesi, ELAZIĞ
- [54]. AITCIN,P.C., (1983), **Condensed Silica Fume**, Üniv.de Sherbrooke Canada
- [55]. CARRETE, H., (1989), **Dayanıklılık**, Puzolanlı Çimento Semineri Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara
- [56]. MASSAZZA, F., **Dayanıklılık**, Puzolanlı Çimento Semineri Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara
- [57].TUĞAL, Mehmet, OYMAEL, Sabit, **Yapı Malzemesi Bilimi Alanında Uygulamalar-Sorunlar**, Fırat Üniversitesi T.E.F Yayın No;3,Elazığ
- [58]. ÖZKUL, Prof. Dr. Hulusi, TAŞDEMİR, Prof. Dr. M. Ali , TOKYAY.Prof. Dr. Mustafa, UYAN,Prof. Dr. Mehmet, (1999), **Her Yönüyle Beton** ,Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul
- [59]. TAŞDEMİR, M. A. (1982), **Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları**. İTÜ. Doktora Tezi

- [60]. ARGUNHAN, E., (1984), **Pomza Taşı İle Üretilen Taşıyıcı Hafif Betonarme Elemanların Özelliklerine Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Maddesinin Araştırılması**, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi. Yüksek Lisans Tezi
- [61]. ÖZTÜTÜNCÜ, G. H., (1992), **Ortalama Hafif Agreganın Boyutunun Yarı Hafif Betonların Dona Dayanıklılığı Üzerindeki Etkileri**, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü.
- [62]. TS 25, (1959), **Tras**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [63]. TS 639, (1968), **Portland Çimento Klinkerine ve Portland Çimentosu Betonuna Karıştırılacak Uçucu Küller**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [64]. TS 706, (1980), **Beton Agregaları**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara



ÖZGEÇMİŞ

İlker BALAYDIN, 1972 yılında Erzurum'da doğmuştur. İlk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Gazi İlkokulu, Şair Nef'i Ortaokulu ve Erzurum Lisesi'nde tamamlamıştır. Daha sonra Atatürk Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu İnşaat Programını bitirmiş, 1998 yılında Fırat Üniversitesi Yapı Öğretmenliği'ni kazanarak, 2002 yılında mezun olmuştur. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

