ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CÜRUF KULLANIMININ BETON BASINÇ DAYANIMI ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Saıd MOUSSA ELMI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2022

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Said MOUSSA ELMI tarafından hazırlanan **"Cüruf Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Etkisinin Deneysel İncelenmesi"** adlı tez çalışması 02/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Dr. Öğr.Üyesi Başak VARLİ BİNGÖL

Jüri Üyeleri **:**

Başkan **:** Dr. Öğr.Üyesi Başak VARLİ BİNGÖL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Prof Dr. Ender SARIFAKIOĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Vesile Hatun AKANSEL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum "**Cüruf Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Etkisinin Deneysel İncelenmesi"** konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı"yla tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (02/08/2022).

Saıd MOUSSA ELMI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CÜRUF KULLANIMININ BETON BASINÇ DAYANIMI ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Saıd MOUSSA ELMI

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr.Üyesi Başak VARLİ BİNGÖL

Sürdürülebilir bir çimento endüstrisi için endüstriyel yan ürünler de dahil olmak üzere alternatif hammaddeler gereklidir. Klinker endüstriyel yan ürünlerle değiştirildiğinde doğal kaynakların ve enerjinin kullanımı azalır. Sonuç olarak hem uygun maliyetli hem de çevre dostu çimentolar yaratılmaktadır. Standart harmanlanmış çimentolar, en yaygın olarak kullanılan endüstriyel yan ürünlerden biri olan uçucu kül, silika dumanı ve cüruf gibi çeşitli endüstriyel yan ürünlerden yapılabilir. Günümüzde Portland çimentosu birçok binanın yapımında en yaygın olarak kullanılan malzemedir. Bu çalışmanın amacı, yüksek fırın cürufunun betonun basınç dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bir bina konstrüksiyonunda aranan en önemli özellik basınç dayanımıdır.
Bu tezin amacı, basınç dayanımının belirlenmesinde karşılaşılabilecek değişkenlikleri göstermektir. Bu amaçla yüksek fırın cürufu (YFC) ve doğal puzolan Portland çimentoları kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada, farklı yüzdelerde cüruf ile üç deney yapılmış, karışımda %0, %10, %15 cüruf kullanılmıştır. 3 gün, 7 gün, 28 gün betonun basınç dayanımı TS 12390-3'e göre belirlenir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, TS 12390-3 standardı uygulanarak elde edilen beton basınç dayanımı sonuçlarının sapmaları, %10 cüruf sonucu %0 cüruftan daha yüksek ve %15 cüruf sonucu elde edilmiştir %10'tan fazla cüruf. Bu nedenle betonun mukavemetini arttırdığı için cürufun betonda kullanılmasının uygun olduğu önerilmektedir.

2022, 80 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Beton basınç dayanımı, Cüruf, Deneysel.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SLAG USE ON CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH

Saıd MOUSSA ELMI

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Başak VARLİ BİNGÖL

Alternative raw materials, including industrial by-products, are necessary for a sustainable cement industry. The use of natural resources and energy is reduced when clinker is replaced by industrial by-products. As a result, both cost effective and environmentally friendly cements are created. Standard blended cements can be made from a variety of industrial by-products including fly ash, silica fume, and slag, which is one of the most widely used industrial by-products. Today, Portland cement is the most widely used material in the construction of many buildings. The objective of this study is to investigate the effects of blast furnace slag on the compressive strength of concrete. In a building construction the most important property sought is the compressive strength. The objective of this thesis is to show the variabilities that can be encountered in the determination of the compressive strength. For this purpose, blast furnace slag (BFS) and natural pozzolan Portland cements were used. In this experimental study, three tests were carried out with different percentages of slag, in the mixture 0%, 10%, 15% of slag were used. The compressive strength of 3days, 7days, 28days of concrete is determined in accordance with TS 12390-3. According to the results obtained in this study, the deviations of the results of concrete compressive strength obtained by applying the TS 12390-3 standard are, the result of 10% slag is higher than that of 0% slag and the result 15% slag is higher than 10% slag. Therefore, it is proposed that the use of slag in concrete is suitable because it increases the strength of concrete.

2022, 80 pages

Keywords: Concrete compressive strength, Experimental, Slag.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

"Cüruf Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Etkisinin Deneysel İncelenmesi" adlı bu çalışma, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle, tez danışmanı olarak çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan değerli danışman hocam. Dr. Öğr.Üyesi Başak VARLİ BİNGÖ'ne şükranlarımı surmayı bir borç bilirim.

BULUTSANÇimento Fabrikası'nın (Çankırı) tüm çalışanlarına. bana laboratuvar deneylerini gerçekleştirme konusunda olağanüstü bir fırsat verdikleri için özellikle teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak, her zaman yanımda olan harika aileme teşekkürlerimi sunarım.

Saıd MOUSSA ELMI

Çankırı, Ağustos 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER DİZİNİ vi
KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
1.1 Tez Amaçı ve Planı 2
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI 4
3. GENEL BİLGİLER 10
3.1 Betonun Bileşenleri 10
3.2 Agregalar 11
3.3 Çimentolar 14
3.3.1 Çimentonun tanımı 14
3.3.2 Çimentonun tarihçesi 15
3.3.3 Portland çimentoları 16
3.4 Su 18
3.5 Puzolanlar 19
3.5.1 Puzolanların tarihçesi 19
3.5.2 Puzolanların tanımı ve sınıflandırılması 20
3.6 Betonun Mekanik Özellikleri 23
3.6.1 Betonun basınç dayanımı 23
3.6.2 Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler 24
3.7 Yüksek Fırın Cürufu 24
3.7.1 Granüle yüksek fırın cürufu 25
3.7.2 Granüle yüksek fırın cüruf çimentosu (GYFCÇ) 26
3.7.3 Eriyik cürufunun soğutulma yönteminin cüruf yapısına etkisi ve cürufların kullanım alanları 28
3.7.4 Hava soğutmalı yüksek fırın cürufu 30

3.7.5 Genişletilmiş veya köpüklü yüksek fırın cürufu 31
3.7.6 Yüksek fırın cürufunun beton içerisinde kullanılması 31
3.7.7 Yüksek fırın cürufunun betonun durabilitesi üzerindeki etkileri 33
3.8 Betonda Kullanılan Kimyasal Katkılar 37
4. MATERYAL VE YÖNTEM 39
4.1 Elek Analizi 39
4.2 Ozgül Ağırlık ve Su Emme deneyi 41
4.3 Metilen Mavisi Deneyi 45
4.4 Beton deneyler 49
4.4.1 Slump (Çökme) deneyi 54
4.4.2 Betonun basınç dayanımı deneyi 56
5. ARAŞTIRMA BULGULARI 60
5.1 Elek Analizi Deneyi Sonuçları 60
5.2 Ozgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonuçları 61
5.3 Metilen Mavisi Deneyi Sonuçları 64
5.4 Beton Deneyler Sonuçları 64
5.4.1 Slump (Çökme) deneyi sonuçları 64
5.4.2 Betonun basınç dayanımı deneyi sonuçları 64
6. SONUÇ VE TARTIŞMA 74
KAYNAKLAR 76
ÖZGEÇMİŞ 80

SİMGELER DİZİNİ

Cm	Santimetre
cm^2	Santimetrekare
°C	Santigrat derece
g	Gram
Kg	Kilogram
Kg/dm^3	Kilogram/desimetreküp
kgf/cm^2	Kilogramkuvvet/santimetrekare
lt	Litre
m^3	Metreküp
mg/m^3	Mega gram/metreküp
mL	Mililitre
mm	Milimetre
WA24	24 Saatteki su emme oranı
%	Yüzde

KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
DKY	Doygun kuru yüzey
GYFC	Granüle yüksek fırın cürufunun
ÖGYFC	Öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu
PÇ	Portland çimento
TÇMB	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'nin
TS	Türk Standartları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Türkiye'de yıllık çimento üretimi 2
Şekil 3.1 İnce agregalar 11
Şekil 3.2 İri agregalar 12
Şekil 3.3 Puzolanların sınıflandırılmasını gösteren şema. 21
Şekil 3.4 Basınç dayanımı-Zaman İliskisi (Hasan 2006). 24
Şekil 3.5 GYFCÇ için Tipik Karıştırma Oranları(Veysel 2004). 28
Şekil 3.6 Yüksek fırın cürufu (Sadullah 2015). 29
Şekil 4.1 Deney malzemeleri 39
Şekil 4.2 Elek Analizi ince agregalar 41
Şekil 4.3 Piknometre deneyinin uygulanısı 44
Şekil 4.4 Metilen mavisi deneyinin uygulanısı 47
Şekil 4.5 Beton karıştırma 54
Şekil 4.6 Slump (Çökme) deneyi 55
Şekil 4.7 Beton dökülme 57
Şekil 4.8 Su içinde beton küp depolama 58
Şekil 4.9 Beton kırılması 59
Şekil 5.1 3gün boyunca sertleşme saf (Cüruf 0 %) 66
Şekil 5.2 3gün boyunca sertleşme (Cüruf 10 %) 67
Şekil 5.3 3gün boyunca sertleşme (Cüruf 15 %) 67
Şekil 5.4 7gün boyunca sertleşme saf (Cüruf 0 %) 68
Şekil 5.5 7gün boyunca sertleşme (Cüruf 10%) 69
Şekil 5.6 7gün boyunca sertleşme (Cüruf 15 %) 69
Şekil 5.7 28gün boyunca sertleşme saf (Cüruf 0 %) 70
Şekil 5.8 28gün boyunca sertleşme (Cüruf 10 %) 71
Şekil 5.9 28gün boyunca sertleşme (Cüruf 15 %) 72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Öğütme modunun çimentonun cürufa karşı basınç dayanımı üzerindeki etkisi (Erdogdu vd.1999). 36
Çizelge 4.1 Saf Beton 51
Çizelge 4.2 Az Cüruf 52
Çizelge 4.3 Orta Cüruf 53
Çizelge 5.1 İri Agrega 12/25 Sonuçları 60
Çizelge 5.2 İri Agrega 4/12 Sonuçları 61
Çizelge 5.3 İnce Agrega 0/4 Sonuçları 61
Çizelge 5.4 Kaba agreganın özgül ağırlığı ve absorbsiyonu 62
Çizelge 5.5 Orta agreganın özgül ağırlığı ve absorbsiyonu 63
Çizelge 5.6 İnce agreganın özgül ağırlığı ve absorbsiyonu 63
Çizelge 5.7 Metilen Mavisi deneyi sonuçu 64
Çizelge 5.8 Slump deneyi sonuçları 64
Çizelge 5.9 3gün Beton basınç dayanımı Sonuclarai 65
Çizelge 5.10 7gün Beton basınç dayanımı Sonuclarai 68
Çizelge 5.11 28gün Beton basınç dayanımı Sonuclarai 70

1. GİRİŞ

Yapı malzemelerini daha verimli ve bir şekilde tasarlamaya yönelik toplumsal bir çabada, beton yapılarda genellikle sıradan Portland çimentosu yerine ek çimento esaslı malzemeler kullanılır. Öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu (ÖGYFC) bu ek çimentolu malzemeler biridir ve zaman içinde çimentolu sistemin bir kısmını değiştirmek için kullanılmıştır. Cürufun inşaatta bilinen ilk kullanımı, yaklaşık 2000 yıl önce Roma İmparatorluğu'nun yol temeli yapımında kullandıkları zamandı (William 2017).

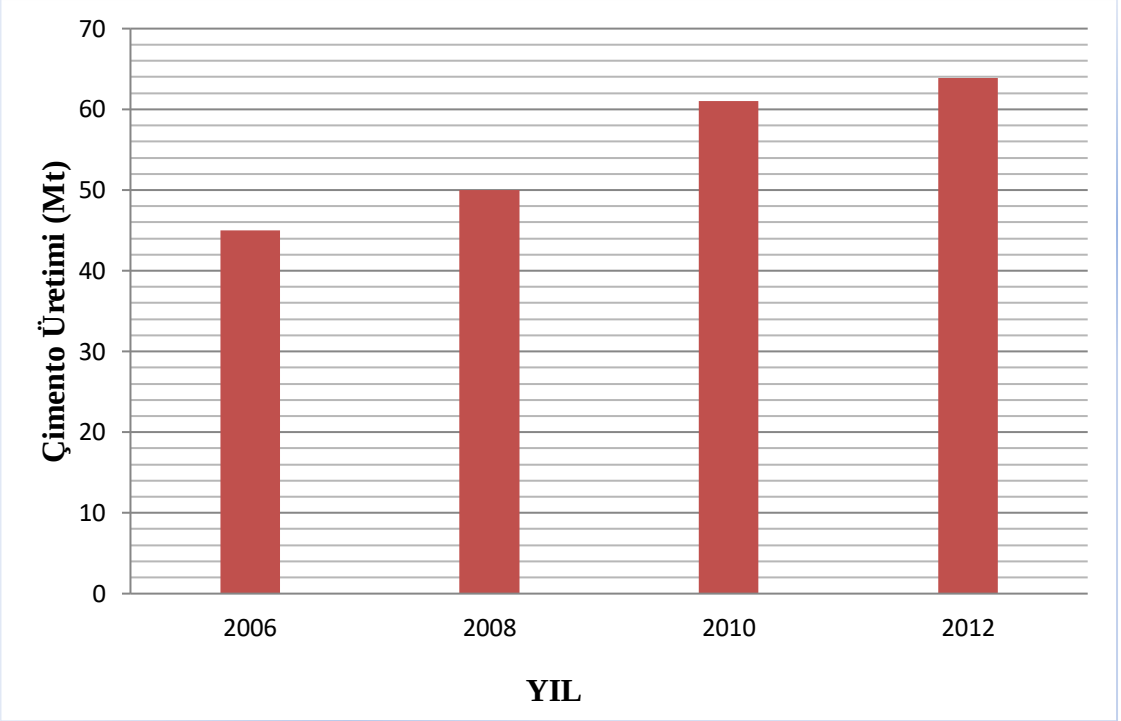
Demir üretimi önemli ölçüde arttığı için bu malzemenin kullanımı Sanayi Devrimi'nin şafağında hızlandı. Cüruf, metalden safsızlıkları gidermek için kireçtaşı ve demir oksit eklendiğinde pik demir üretiminin bir yan ürünü olarak üretilir, böylece neredeyse eşit oranlarda iki nihai ürün oluşturulur: yüksek fırın cürufu (cüruf) ve temiz metal (William 2017).

Ortaya çıkan cüruf, Portland çimentosunda bulunan aynı oksitlerden oluşur; yani kireç, silika ve alümina farklı oranlarda olsa da. Cürufun çimento uygulamalarında kullanılabilmesi için, hidrolik olarak aktif bir kalsiyum alüminosilikat cam oluşabilmesi için üretim sürecinde söndürülmesi gerekir. 1862'de Almanya'da bir demir fabrikasının yöneticisi olan Emil Langen, çimento endüstrisi için yeni bir kapı açan yüksek fırın cürufunun gizli hidrolik özelliğini keşfetti (William 2017).

Bu malzeme metal endüstrisinin atık ürünü olarak oluşturulduğu için çimentoya göre kullanımı daha ucuzdur. Bu yeni bulunan malzeme, 19. yüzyılda Paris Yeraltı Metro Sistemi ve 20. yüzyılın başında Empire State binası dahil olmak üzere büyük projelerde kullanılmaya başlandı (William 2017).

O zamandan beri, cüruf, maliyeti ve olumlu çevresel etkisini azaltmak ve aynı zamanda betonun dayanıklılığını ve uzun vadeli mukavemetini iyileştirmek için çok sayıda inşaat projesinde kullanılmıştır.

İnşaat sektörü, Türkiye ekonomisinin lokomotif sektörüdür ve çimento sektörü, Türkiye'de inşaat sektörünün en önemli taraflarından biridir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'nin (TÇMB) yıllık çimento üretim istatistiklerine göre, 2012 yılında çimento üretimi 63,6 Mt'a ulaşmıştır. Çimento üretimi, kentsel inşaat projeleri nedeniyle artan bir büyümeye sahiptir (Abdullah 2014).



Şekil 1.1 Türkiye'de yillik çimento üretimi (Abdullah 2014).

1.1 Tez Amaçı ve Planı

Bu tezin temel amacı, cüruf kullanımının betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemektir.%0, %10, %15 cüruf olmak üzere üç farklı cüruf yüzdeli beton hazırlanmıştır. Daha sonra taze özellikler olarak kıvamlar, başlangıç ve son priz süreleri belirlendi. Basınç dayanımı gibi kürlenen özellikler 3, 7 ve 28.günlerde belirlendi.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1 ve 2 bir literatür incelemesi sunar ve çimento üretimi, beton eklemek için mineral katkı maddelerinin kullanımı ve cüruf

oluşumu hakkında genel bir bakış sunar. Literatürde cüruf oluşumunda genellikle demir mineralleri kullanılmıştır.

Bölüm 3, kullanılan portland çimentosu klinkeri, cüruf ve çimento gibi malzemelerin hazırlanması, elek analizi test, özgül ağırlık, metilen mavisi, kıvam ve basınç gibi test prosedürleri gibi deneysel programları sunmaktadır betonun gücü.

Bölüm 4, betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine ilişkin test programının sonuçlarını sunar. Ayrıca kimyasal katkının etkisi ve cüruf kullanımının betonun basınç dayanımına etkisinin deneysel olarak incelenmesi.

Bölüm 5, tezin bir özetini verir ve bu araştırmanın sonuçlarını listeler. Ayrıca, bu tezin sonuçlarını tamamlayacak diğer olası araştırma alanlarına da yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bülent (2008) portland çimentosu yaygın olarak kullanılan inşaat malzemesidir ve günümüzdeki yapılar. Betonun en önemli özelliği, basınç dayanımı. Özellikle su ile temas eden deniz yapıları veamonyum nitrat çözeltisinden etkilenen yapılar zarar görür. Bundaamonyum nitrat üzerine yüksek fırın cürufu ilavesinin etkisi, deniz suyu ve standart kür ortamı oranı %0, %10, %15, %20 Sıradan çimento bileşenleri araştırılmıştır.

Mem (2020) mevcut tezde, CEM III-A'nın erken yaşta mukavemet gelişimi ve hidratasyon özellikleri, (%36 Cüruf+%64 Klinker), CEM III-B (%66 Cüruf+%34 Klinker) ve CEM III-C (%81 Cüruf+%19 Klinker)yüksek hacimli öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren harmanlanmış çimento türleri olarakaraştırıldı. Bu amaçla %1, %2, %3 ve %4 nano kalsit, nano SiO_2 ve nano Al_2O_3 aynı zamanda TS EN 197-1'in minimum gerekliliklerini de karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu karışımların hem işlenebilirlikleri hem de 2, 7 ve 28 günlük kür yaşlarındaki basınç dayanımlarıincelendi. Ayrıca seçilen sekiz karışımın kıvam, priz süreleri ve genleşme testleri yapılmıştırve gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, daha yüksek bir cüruf hacminin dahil edilmesinin daha düşükerken yaşlarda basınç dayanımı.

Erdinç (2009) alternatif hammaddelerin, özellikle endüstriyel yan ürünlerin kullanılması, sürdürülebilir çimento endüstrisi. Klinkeri endüstriyel yan ürünlerle değiştirerek, doğal kaynak ve enerji tüketimi azalır. Bu nedenle, hem ekonomik ve çevre dostu çimentolar üretilmektedir. Birkaç endüstriyel uçucu kül, silika dumanı ve cüruf gibi yan ürünler en yaygın kullanılanlardan biridir. endüstriyel yan ürünler, standart karışımlı çimentolar üretmek için kullanılabilir. Birçok avantajının yanı sıra, cüruf çimentolarının daha düşük erkenbasınç dayanımları. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı,cüruf çimentolarının erken mukavemet iyileştirmesi.

William (2017) yapıları daha sürdürülebilir ve dayanıklı hale getirmek için, tamamlayıcı çimentolu malzemeler genellikle çimentonun yerini almak için kullanılır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu, örneğin, demir arıtmanın endüstriyel bir yan ürünüdür ve beton

karışım tasarımında sıklıkla kullanılır. sadece maliyeti düşürmekle kalmaz, aynı zamanda ileri yaştaki gücü ve dayanıklılığı da arttırır. Ancak yayınlanan Literatür, yüksek alümina içeriğine sahip cürufların aşağıdaki durumlarda zararlı bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. beton sülfat ortamına maruz kalır. ASTM standardı C989 herhangi bir alümina içeriği %11-18 arasında olan cürufların kullanımına ilişkin bilgi veya yönergeler. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, cürufun cüruflarını inceleyerek bu standardın boşluğunu doldurmaktı. yüzde 16 kadar yüksek değişken alümina içeriği. Bu çalışma, hava koşullarına maruz kalan harç küplerinin basınç dayanımları için toplanan verileri sunmaktadır. tarihinden itibaren 7, 28, 91 ve 182 günlük yaşlarda kireç ve yüzde 5 sodyum sülfat çözeltisi yüzde 5 sodyum sülfata maruz kalan harç çubuğu numuneleri için karıştırma ve genleşme verileri 120 güne kadar çözüm. Burada kullanılan cüruf ikame seviyeleri 0, 30, 50 ve %70 idi. harç çubuğu bozulma gösteren numuneler, Rietveld ile birleştirilmiş x-ışını kırınımı kullanılarak analiz edildi bozulma mekanizmasını değerlendirmek için iyileştirme. Küpler kireç ve sülfatta saklandı Sülfat saldırısına karşı direnci analiz etmek için ASTM C1012'ye uyan çözümler. Sülfat direnç, CSH jelinin kireçten arındırılması ve ayrıca genleşme açısından ölçülmüştür.

Abdullah (2014) basınç dayanımını belirlemek için iki standart test yöntemi arasında EN 196-1 ve ASTM C 109'da açıklanan çimentolar, temel farklılıklar harçların hazırlanmasında kullanılan su miktarında. EN 196-1'e göreeski harç hazırlanmasında 0,50 sabit su-çimento oranı kullanır.Numuneler, tüm çimento türleri için, ikincisi ise sabit bir su-çimento kullanır. Portland ve hava katkılı Portland çimentoları için 0,485 ve 0,460 oranları, sırasıyla; ve belirli bir işlenebilirliğe karşılık gelen su-çimento oranı (110 ± %5 akış) katkılı çimentolar için.

Muhammet (2021) beton temel olarak çimento, su ve agregadan oluşan bir yapı malzemesidir. Türkiye'de en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bunun nedenlerinden bazıları düşük maliyetli, bileşenlerin kolay bulunabilirliği, tazeyken istenen şekli veren ve yüksek basınç dayanımı. Betondan beklenen üç temel özellik faaliyetlerin karşılanmasında önemli bir role sahip olan yapı malzemesi artan inşaat sektörü Bunlar işlenebilirlik, mukavemet ve dayanıklılıktır. çevresel etkiler betondaki bağlayıcı elemanlar su ile karıştırıldığında hidratasyon gerçekleştirir reaksiyonlar. Bu

reaksiyonlar ekzotermik reaksiyonlardır ve hidrasyon reaksiyonlarına neden olur. yüksek sıcaklığın etkisi altında daha hızlı oluşur ve beton kütlesini oluşturur. Hidrasyon reaksiyonları dört ana aşamadan oluşur.

Recep (2020) yüksek Fırın Cürufu; atık / yan ürün olarak açığa çıkan bir malzemedir demir çelik üreten fabrikaların üretiminden sonra. öğütülmesi sonucunda bu malzeme, genellikle inşaat sektöründe yerine yenisi ile değiştirilerek kullanılmaktadır. Mikron tane boyutuna sahip silika ve alimun yapısı sayesinde çimento. Ancak, içinde bu çalışma; Bu çalışmanın amacı mekanik ve mekanik yapıdaki değişimleri araştırmaktı. ikame edilerek elde edilen kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel özellikleri en çok kullanılan doğal agregalardan biri olan belirli miktarlarda agrega içeren ÖGYFC çağımızın kaynakları. miktarı değiştirilerek deneysel numuneler elde edilmiştir. %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 kırma kum püskürtmeli ince agrega hazırladığımız karışımlarda çimento miktarını sabit tutarak fırın cürufu elde etmek. Bu numunelere ek olarak 7 farklı karışım elde edilmiştir. Yüksek fırın cürufu eklenmemiş referans numune. Cem I 42,5 R portland çimento, hiperakışkanlaştırıcı katkı, doğal kum, kırma kum ve kırma taş kullanılmış.

Helin (2010) yüksek fırın cüruflu betonun katsayısını ve verimini elde etmek için 300 doz ile sabit hacmin etkisini incelemek için kırılma parametreleri 0,50 ve 0,65 su/çimento oranlarında üretilen beton ve farklı çimentoların referans beton. Yüksek fırının kırılma etkisini bulmak amacıyla cüruf, çimento hacmini %30 ve %60 oranında azaltarak, azaltmaksızın her üretim için çimento %30, %60 oranında cüruf ilavesi, on farklı beton karışımları üretilmiştir. Birkaç olması gerçeği nedeniyle aşağıdaki gibi deneyler: çökme, birim ağırlık, hava içeriği testleri, taze betonun karakteristiğidir. Sertleştirilmiş özelliklerini belirlemek için beton, silindir numunelerinde basınç dayanımı testi, eğilme dayanımı testi prizma numunelerinde, disk numunelerinde çekme dayanımı testi yapılmıştır. Cüruf için aktivite katsayısının belirlenmesi sürecinde hesaplamalar yapılmıştır. Bunun yerine literatürde belirtilen temel formüller kullanılmadan yapılmıştır. Basma mukavemetine sahip olmanın yanında eğilme ve çekme mukavemeti deneyleri de yapılmıştır. doğrudan belirtilen kırılma enerjisine

ilişkin herhangi bir formüle sahip olmadan ve kullanmadan betonun performans kriteri karşılaştırılmıştır.

Cahit (2006) öğütülmüş Yüksek Fırın kullanımının etkisi OYSA İskenderun Çimento Fabrikası'ndan temin edilen cüruf, harç üzerine ve beton özellikleri incelenmiştir. Cüruf harcının ölçülen özellikleri ve farklı miktarda cüruf ve su/bağlayıcı oranı kullanılarak hazırlanan beton Normal Portland (BNP) ile yapılan kontrol harçları ve betonları ile karşılaştırıldığında sadece çimento. Bununla birlikte alkalinin mukavemet ve dayanıklılık özellikleri aktif cüruf harçları sodyum silikat çözeltisi kullanılarak araştırıldı, aktivatör olarak sodyum hidroksit ve sodyum karbonat. Üç seviye Na+ karışımlardaki konsantrasyon, %4, %6 ve %8 incelenmiştir. Test sonuçları gösterdi su/bağlayıcı oranı düşük betonlarda yapılan cüruf ikamesinin arttığını kontrol karışımlarına kıyasla basınç dayanımı ve ayrıca %40 ve %60 cürufun çimento ile değiştirilmesi, basınç ve çekmede bir artışa neden olur mukavemet, aşınmaya karşı direnç ve gözenekliliği ve kılcal suyu azalttı sadece BNP ile yapılan kontrol harcına kıyasla emme katsayısı.

Hidayet (2008) farklı oranlarda granüle yüksek fırın cürufunun kendiliğinden yerleşen betonun dayanım özellikleri üzerine portland çimentosunun değiştirilmesi araştırıldı. Slump-flow, t500, V-hunisi ve L-box testleri elde edildi. Farklıoranlarda granül patlatma oranına sahip SCC'ler için (%20,%35 ve %50) portland çimentosu yerine fırın cürufu (sırasıyla %20, 35 ve 50). Portland çimentosunun yerine granüle yüksek fırın cürufu kullanıldı. Sadece değişken, yani agregalar (kum ve çakıl), çimentolu malzemeler ve süperplastikleştirici (Chryso) tüm testlerde sabitti. SCC için optimum işlenebilirdi ve farklı su/(çimento+uçucu kül) oranları kullanılarak karışımlar elde edilmiştir.

Sadullah (2015) endüstriyel tesislerden kaynaklanan yüksek fırın cürufunun CEM-III B/C üretiminde katkı maddeleri ve yüksek fırın cürufu hangi oranlarda en verimli olduğu incelenmiştir.

Türkiye'de belirtilen yüksek fırın cürufu kullanım oranları Standart da dikkate alındı. Yüksek fırın cürufunun kullanıldığı ortaya çıktı. İLBANK projeleri olumlu sonuç verdi, yüksek fırın cürufunun kullanımı olumlu oldu betonun mukavemetine katkı sağlar. Yüksek fırın kullanımının yaygın olduğu düşünülmektedir. yüksek sülfat içeren altyapı yapılarında cüruf daha ekonomik olacak ve betonun mukavemetine katkıda bulunur.

Özgür (2006) mevcut ve toplam korozyon aktivitesini belirleyerek korozyon aktivitesini tahmin etmeyi amaçlamaktadır.Betonarme numuneler üzerinde yapılan ölçümler ve deneyler ile korozyon farklı karışım tasarımı ile üretilen ve farklı çevresel etkilere maruz kalan koşullar. Çalışmanın deneysel bölümünde, akışkan kıvamlı beton, kireçtaşı esaslı kırmataş, silika esaslı kum ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu; %0 (katkısız), %30 ve %60, su/bağlayıcı oranı 0.49 ve %0.5 katkılı.

Deeman (2021) çimento üretimi, büyük miktarlarda CO2 emisyonuna neden olur ve bu da birçok çevre işi. nedeniyle enerji ve gaz salınımını azaltma arzusu çimento üretimi için jeopolimerizasyon adı verilen yeni bir teknoloji geliştirilmiştir. Alüminosilikat malzemeleri ham olarak kullanarak çimento kullanmadan beton sağlamak malzemeler. Bu çalışma, çeşitli parametrelerin etkilerini değerlendirmeye ayrılmıştır. Jeopolimer bazlı cüruf/ponza macunu. Cüruf ve pomza tozu kullanılmıştır. Farklı cüruf/bims oranlarında (100:0,90:10,80:20,70:30 ve 60:40) bağlayıcı olarak ve 12 ve 14 molarite konsantrasyonlu Sodyum Hidroksit (NaOH) ile aktive edildi, kürlendi 65 °C sıcaklıkta 3 ve 7 gün boyunca.

Selin (2021) %100 öğütülmüş granül patlatmanın mukavemet ve dayanıklılık performansı %5 sülfürik asit altında fırın cürufu esaslı geopolimer betonlar incelenmiştir. Bizim amacıjeopolimer betonların dayanım ve dayanıklılık performanslarını incelemektir. Farklı bağlayıcı içeriğine ve alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip laboratuvar ortamı. 400 kg/m3 olarak üç farklı bağlayıcı miktarı seçilmiştir. 500 kg/m3, 600 kg/m3bağlayıcı içerik olarak. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranları seçildi dayanıklılık gereklilikleri dikkate alınarak 0,45 ve 0,55 olacak şekilde. Kapsamında 6 farklı jeopolimerin araştırılması, mukavemeti ve %5 sülfürik asit direnci beton çeşitleri incelenmiştir.

Alkali aktivatör olarak, sodyum silikat ve sodyum geopolimer beton üretiminde hidroksit kullanılmıştır. sodyum silikat ve sodyum hidroksit oranı 2.5 olarak seçilmiş ve sodyum hidroksit molaritesi14 M olarak seçilmiştir.

Aziz (2007) beton ve betonarme, karbonatlaşma, mevcudiyet etkisi ile bozulabilir. klorür iyonları, asitler, alkali-silika reaksiyonu, donma-çözülme, sülfat saldırısı vb. zamanla. Betonun dayanıklılığı, bunlara karşı bir tür direnç olarak tanımlanmaktadır. türlü zararlı etkiler. Betonun bozulması, betona nüfuz ederek gerçekleşir. Dış etkenlerin betona dönüşmesi ve bu durum miktar, büyüklük ve gözeneklerin dağılımı. Günümüzde beton teknolojisi, yüksek mukavemetli üretimlere yol açmaktadır. Betonlar ve işlenebilirliği yüksek betonlar daha kolay. Bu nedenle çalışmalara betonun iyileştirici özellikleri betonun dayanıklılığı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu araştırmacılar dış etkilere daha dayanıklı betonlar üretmek için çalışmışlar; böylece, beton işlevlerini daha uzun süre koruyabilir. Son zamanlarda, bu çalışmalar sonucunda, Beton üretiminde gözenekliliği azaltmak için mineral katkılar kullanılmıştır ve dayanıklılık özelliklerini geliştirmek için.

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Betonun Bileşenleri

Beton; agrega, çimento, su ve bu malzemelere ek olarak gereksinime göre çeşitli mineral ve/veya kimyasal katkıların belirli oranlarda homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen kompozit bir malzemedir. Beton, üretimi sırasında kolay şekil verilebilen, sertleştikten sonra yüksek mukavemet değerine sahip olduğundan kullanımı çok yaygın olan bir yapı malzemesidir. Betonda çekme gerilmesi oluşması istenmez, bu nedenle betonda donatı kullanılarak oluşturulan betonarme elemanlar sayesinde betonun çekme gerilmesine maruz kalması önlenir.Betonu diğer yapı malzemelerine göre üstün kılan önemli bir özellik plastik kıvamı sayesinde kolayca şekil verilebilmesidir (Binici vd. 2000).

Beton üretiminde çeşitli çimento tiplerinden kullanılmak istenen yere göre amaca en uygun olan seçilir.Ayrıca çeşitli büyüklükte ve özelliklerde agrega, karışım suyu ve katkı maddelerinden daha önce sahip olunan tecrübe de kullanılarak en uygun olan seçim yapılmalıdır.Bunun için inşaat mühendisi beton üretiminin her aşamasında bulunur ve gerekli olan tüm taze ve sertleşmiş beton deneylerini gerçekleştirir (Ufuk 2014).

Betonun dayanım ve dayanıklılığına ilişkin olarak performansının ortaya konulması için yeterli kür uygulanması son derece önemlidir. Eğer beton bileşiminde yüksek fırın cürufu gibi mineral katkı maddeleri kullanılmış ise dökümden hemen sonra özellikle sıcak ve kuru ortamlarda yapılan dökümde kür olayı daha da önemli olabilmektedir (Ramezanianpour 1995).

Yüksek dayanım veya yüksek dayanıklılığı ile yüksek performanslı beton sınıfına giren betonlar gün geçtikçe normal beton ile yer değiştirmektedir (Chan et al. 2000). Ekonomik, teknik ve çevresel nedenlerden dolayı betonda kullanılan mineral katkı maddeleri modern beton yapılarında çok sık kullanılır hale gelmiştir.Betonun

dayanımını iyileştirmede, basınç dayanımı, boşluk büyüklüğü ve dağılımı ile betonun dayanıklılığı üzerine standart kür koşulları dikkate alınarak birçok çalışma ortaya konulmuştur (Haque ve Kayyali 1989). Ayrıca 20.yy. boyunca çimento ve beton endüstrisinde mineral katkı kullanımı artış göstermiştir. Bu artışın devam etmesi beklenmektedir.Çimento ve betona olan ihtiyaç fazlalığı nedeniyle betonda farklı malzemelerin çimento ile ikame edilerek kullanımı gitgide artış göstermektedir (Türkmen 2003).

3.2 Agregalar

Uygun tür ve kalitede agrega kullanmanın önemi göz ardı edilemez. İnce ve iri agregalar tipik olarak beton hacminin yüzde 60 ila 75'ini (kütlece yüzde 70 ila 85'ini) oluşturur ve betonun yeni karıştırılmış ve kürlenmiş nitelikleri, kombinasyon oranları ve ekonomisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İnce agregalar Şekil 3.1 genellikle doğal kumdan veya kırma taştan yapılır ve parçacıkların çoğu 5 mm'den küçüktür (Selçuk 2012).



Şekil 3.1 İnce agregalar

İri agregalar Şekil 3.2 partikülleri çoğunlukla 5 mm'den (0,2 inç) büyük ve tipik olarak 9,5 mm ile 37,5 mm arasında değişen bir veya daha fazla çakıl veya kırma taştan oluşur.



Şekil 3.2 İri agregalar

Pit-run çakıl olarak bilinen bazı doğal agrega birikintileri, minimum işlemle betonda kullanılabilecek çakıl ve kumdan oluşur. Doğal çakıl ve kum genellikle bir çukurdan, nehirden, gölden veya deniz tabanından kazılarak veya taranarak çıkarılır. Ezilmiş taş, taş ocağı, kayalar, parke taşları veya büyük çakılların ezilmesiyle yapılır. Hava soğutmali öğütmek yüksek fırın cürufu da ince veya iri agrega olarak kullanılır (Selçuk 2012).

Tipik olarak, agregalar ocakta veya tesiste yıkanır ve derecelendirilir.Tür, kalite, temizlik, derecelendirme, nem içeriği ve diğer niteliklerde bazı farklılıklar olacaktır.Portland çimentosu betonunda kullanılan kaba agregaların yaklaşık yarısını çakıllar oluştururken, geri kalanın çoğunluğunu kırma taşlar oluşturmaktadır (Selçuk 2012).

Doğal beton agregaları, kaya ve minerallerin bir kombinasyonudur. Mineral, iyi düzenlenmiş bir iç yapıya ve belirli parametreler içinde kalan kimyasal bir bileşime sahip, doğal olarak oluşan katı bir malzemedir. Kayalar çok sayıda mineralden oluşur ve kökenlerine bağlı olarak magmatik, tortul veya metamorfik olarak sınıflandırılır. Örneğin granit kuvars, feldispat, mika ve diğer birkaç minerali içerirken, çoğu kireçtaşı kalsit, dolomit ve eser miktarda kuvars, feldispat ve kil içerir. Kayaların aşınması, taş,

çakıl, kum, silt ve kil parçacıklarının oluşumuna neden olur. Ezilmiş atık beton olarak da bilinen geri dönüştürülmüş beton, özellikle mükemmel agregaların sınırlı olduğu alanlarda ekonomik bir realitenin yanı sıra uygun bir agrega tedarikidir (Selçuk 2012).

Geleneksel taş kırma ekipmanı kullanılabilir ve gürültü ve tozu azaltmak için yeni teknoloji tasarlanmıştır. En iyi mühendislik uygulaması için, agregalar belirli standartları karşılamalıdır: temiz, sert, sağlam ve emilmiş kimyasallardan, kil kaplamalardan ve çimento hamurunun hidratasyonunu ve bağlanmasını bozabilecek oranlarda diğer ince kirleticilerden arındırılmış dayanıklı parçacıklar olmalıdır. Gevrek veya bölünebilir olan agrega parçacıkları istenmez (Selçuk 2012).

Yumuşak ve gözenekli malzemelerin yanı sıra önemli oranlarda şeyl veya diğer şeyl kayaçlar içeren agregalardan kaçınılmalıdır; Bazı çört türleri, hava koşullarına karşı düşük dirençli olduklarından ve çıkıntılar gibi yüzey kusurlarına neden olabileceğinden özellikle kaçınılmalıdır.Toplu öğelerin tanımlanması, hizmette toplu davranışı tahmin etmek için bir temel sunamaz.Görsel inceleme, kaba agregalardaki kusurları sıklıkla ortaya çıkaracaktır.Servis kayıtları, agregalar değerlendirmek için çok değerlidir.Performans kaydının olmaması durumunda, agregalar betonda kullanılmadan önce değerlendirilmelidir. Kum, çakıl, kırmataş ve hava soğutmalı yüksek fırın cürufu, 2200 ila 2400 kg/m3 yoğunluğa (birim ağırlık) sahip yeni karıştırılmış normal ağırlıklı beton üreten en sık kullanılan agregalardır. Genişletilmiş şeyl, kil, arduvaz ve cüruf agregaları yeni karıştırılmış yoğunluğu 1350 ila 1850 kg/m3 olan yapısal hafif beton yapmak için kullanılır. Yalıtkan hafif betonlar yapmak için kullanılan diğer hafif elementler arasında yoğunlukları 250 ila 1450 kg/m3 arasında değişen pomza, scoria, perlit, vermikülit ve diatomit bulunur. Ağır beton ve radyasyon koruyucu beton yapmak için kullanılan ağır malzemeler arasında barit, limonit, manyetit, ilmenit, hematit, demir ve çelik delme veya püskürtme bulunur (Selçuk 2012).

Uygun beton konsolidasyonu için istenen miktarda hava, su, çimento ve ince agrega (yani harç fraksiyonu) mutlak hacimce yüzde 50 ila 65 (kütlece yüzde 45 ila yüzde 60) arasında olmalıdır. Çakıl gibi yuvarlak agrega için daha düşük değerler gerekirken,

kırma agrega daha büyük değerler gerektirir. İnce toplu içerik, kütle veya hacim olarak toplam içeriğin yüzde 35 ila 45'ini oluşturur (Selçuk 2012).

3.3 Çimentolar

3.3.1 Çimentonun tanımı

Çimento, birincil bileşenleri kalker ve kil olan mineral parçaları (kum, çakıl, tuğla, briket vb.) birleştirmek için kullanılan bir maddedir.Çimentonun bu bağlanma işlevini yerine getirmesi için su gereklidir.Çimento, birçok beton karışımında en küçük hacimsel bileşen olmakla birlikte en önemli bileşendir.

Çimento, "yontma taş" anlamına gelen Latince "Caementum" kelimesinden türetilmiştir. Çimento yapım tekniğine göre yapı malzemeleri kategorisine ait hidrolik bağlayıcılı yapı malzemesidir.Hammaddenin bileşimi, çimentoya niteliklerini veren iki faktörden biridir, diğeri ise klinkerin ısıl işlemleridir.Klinkerin bileşimi çoğunlukla hammadde karışımının bileşimi ile belirlenir.Ayrıca, klinker bileşimi kullanılan yakıt türünden ve yakıtta kül oluşturan bileşenlerden etkilenir (Postacıoğlu 2008).

Çimento üretimi, muazzam altyapı gerektiren karmaşık bir süreçtir.Çimentonun birincil ham maddeleri kalker ve kildir. Silika, alümina ve demir okside bağlanma yeteneğine sahiptir. Kil, alüminyum, kalsiyum ve saf olmayan demir içeren bir silikattır. Çimento imalatının amacı, bu elementleri belirli miktarlarda birleştirmek ve daha sonra yüksek sıcaklıklarda (1350 - 1500 °C) yakmaktır.Temel kimyasallar yüksek sıcaklıklarda değişir.CaO kireçtaşından, SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ise kilden elde edilir.Yüksek sıcaklıklarda, bu mineraller, çimento bağlama özellikleri sağlayan silikatlar ve alüminatlar oluşturmak üzere karışır.Alçı ($CaSO_4$, $2H_2O$) çimento üretiminde hammadde olarak klinkere %3-6 oranında eklenir.Öğütme işleminde klinker ve alçı birleştirilir.Alçı taşının görevi, çimentonun priz süresini düzenlemektir. Öğütme işlemi

sırasında klinkere %2-3 gibi düşük bir oranda kireçtaşı ilave edilir.Kireçtaşı, klinkerden daha kolay öğütülebilen bir malzemedir.

Bunun sonucunda klinker büyür, kalker malzemeleri küçülür ve taneler arasındaki boşluklar doldurularak çimento dayanım ve işlenebilirlik kazanmanın yanı sıra yayılma kolaylığı da kazanır (Postacıoğlu 2008).

3.3.2 Çimentonun tarihçesi

İnsanoğlu, uygarlığın başlangıcından beri taş parçalarını birbirine bağlayacak ve birleştirecek bir madde geliştirmeye çalışıyor. Böyle bir uygulamanın binalara esneklik ve çeşitlilik sağlayacağı o zamanlar zaten kabul edilmişti. En eski malzemelerden biri olan "çamur", bugün birçok ülkede saman ve bitkisel liflerle harmanlanarak duvar bileşenlerinin yapımında ve bağlayıcılıklarının arttırılmasında kullanılmaktadır (Uygar 2008).

Keops piramidi, eski Mısırlılar tarafından alçı harcı ile inşa edilmiştir.Alçının yakılması bunu mümkün kıldı. Kil kireçtaşlarının pişirilmesi, antik Yunanlılar ve Romalılar için su kireci verdi. Aynı zamanda, belirli volkanik oluşumlar ince bir şekilde toz haline getirildiğinde ve kireç ve kumla birleştirildiğinde, yalnızca kireç harcından daha güçlü değil, aynı zamanda suya daha dayanıklı bir madde üreteceklerini öğrendiler. Bu bağlayıcı malzemelerin özellikleri 18.yüzyıla kadar tam olarak tanınmamıştı (Uygar 2008).

1824'te, Leeds'ten bir inşaatçı olan Joseph Aspdin, öncü bir çalışmadan sonra Portland çimentosunun patentini aldı. Daha sonra, hidrolik çimentonun kullanımı Avrupa ve Kuzey Amerika'da hızla arttı.Çimento üretim ekipmanlarının geliştirilmesi başladı.

Döner fırın araştırmaları 1877'de İngiltere'de başladı ve ilk başarılı uygulayıcı olarak kabul edilen Fredrick Ransome, 1885'te döner fırının patentini aldı. Bu, o zamanlar çimento endüstrisinde büyük bir ilerlemeydi, ancak gerçekten başarılı işlev gören bir

döner fırın yıllar sonra gerçekleşti.Ransome'ın fırınlarının ardından, bir grup Amerikalı mühendis bu yenilik üzerinde çalışmaya başladı.

Atlas Çimento Şirketi'nden Hurry ve Seaman, 1895'te üretime başlayan Amerika'da ticari olarak uygun ilk döner fırını yarattı (Uygar 2008).

Portland çimentosunun üretimi genişledikçe, test metodolojileri ve hammadde ve çimento karakterizasyonu üzerine araştırmalar başladı. 1900'lerin başında, önemli çimento testleri, kapsamlı laboratuvar çalışmalarının bir sonucu olarak genel olarak standardize edildi. O zamandan beri bunların bir bölümü gözden geçirilip değiştirildi ve bütün dünyada çimento standartlarıyla yeni deneyler eklendi (Uygar 2008).

3.3.3 Portland çimentoları

Çimento, çimento ve suyun kimyasal reaksiyonu yardımıyla macun sertleşirken agregaları (kum ve çakıl veya kırmataş) sert bir kütle oluşturmak üzere bağlayan su ile birlikte beton hamurundan oluşur.Macun, agrega ve ikisi arasındaki bağın kalitesi betonun kalitesini belirler (Abdullah 2014).Bu nedenle çimentonun mukavemeti betonun mukavemeti ile çok yakından ilişkilidir. Genel olarak, güç en önemli özellik olarak kabul edilir. Çünkü diğer birçok özelliğe göre belirlenmesi daha kolaydır ve ayrıca dayanım verilerinden birçok özellik çıkarılabilir.

Portland çimentosu, kalker ve kil karışımı hammaddelerin alçı ile birlikte pişirilmesiyle oluşan klinkerin öğütülmesi sonucu elde edilir.Beton üretiminde kullanılan en yaygın çimento türüdür.

Uyumlaştırılmış Türk standardı TS EN 197-1, 27 yaygın çimento tipini, 7 sülfata dayanıklı çimentoyu ve düşük erken dayanımlı çimentoları tanımlar. ve 9 farklı mukavemet sınıfını tanımlar .Portland çimentosu CEM I dışındaki tüm çimentolar katkılı çimentolardır.

Çimento ve beton üretiminde doğal ve yapay (endüstriyel) mineral katkılar uzun süredir kullanılmaktadır.Mineral katkıların genel sınıflandırması ve tipik örnekleri şu şekilde sıralanabilir; (Abdullah 2014).

- En son bağlama özelliklerine sahip olanlar; Örneğin. Su soğutmalı (granüle) yüksek fırın cürufu.
- Puzolanik aktivite ve bağlayıcı özelliği olanlar; Örneğin. kalkerli uçucu kül.
- Puzolanik aktivitesi yüksek olanlar; Örneğin. Silika dumanı, pirinç kabuğu külü.
- Normal puzolanlar; Örneğin. Silisli uçucu kül, doğal veya kalsine puzolanlar.
- Puzolanik aktivitesi düşük olanlar; Örneğin. Yavaş soğutulan yüksek fırın cürufu, çeşitli doğal puzolan, çeşitli kazan cürufu, bitki külleri.
- İnert olanlar; Örneğin. İnce öğütülmüş kuvars, kalker, bentonit.

Çimento üretim süreci yüksek enerji ve büyük miktarda hammadde gerektirir. Avrupa çimento endüstrisi, çimento üretiminin çevresel etkisini azaltmak için teknik iyileştirmelerin neredeyse sınırlarına ulaştı. Çevresel etkileri azaltmanın bir başka yolu da çimentodaki (karışımlı çimentolar) klinker içeriğinin azaltılmasıdır. Çimento ana bileşenleri olarak granül yüksek fırın cürufu, uçucu küller, doğal ve endüstriyel puzolanlar veya kireçtaşı kullanılabilir. Karışımlı çimento üretebilmek için daha az klinker ve dolayısıyla daha düşük emisyon ve daha düşük enerji tüketimine ihtiyaç vardır. Esasen, Avrupa çimento standartları, çimento klinkerinin katkılarla kısmen değiştirilmesine izin verir. Pik demir, uçucu kül ve kalsine edilmemiş kireçtaşı üretiminden elde edilen granüle cüruflar, dünya genelinde çimento üretiminde önemli bir kullanım alanı bulmuştur (Abdullah 2014).

Çimento imalatı sırasında uygun mineral katkıların kullanılması önemli ekonomik, çevresel ve teknik avantajlar sağlar. Genellikle klinker elde edildikten sonra mineral katkılar eklenir ve klinker ile öğütülür. Bu nedenle, atmosfere daha az sera gazı salınımına neden olan çimento elde etmek için daha az hammadde (doğal kaynak) ve daha az enerji kullanılır. Katkı maddesi endüstriyel atık ise çevresel faydaları daha da fazla olacaktır (Abdullah 2014).

Sonuç olarak, çimento ile birlikte mineral katkıların kullanılması;

Ekonomi ve enerji tasarrufu,

Doğal kaynakların ve çevrenin korunması, sera gazlarının azaltılması,

Hidratasyon ısısının azaltılması,

Çimento esaslı ürünlerin işlenebilirliğini ve dayanıklılığını arttırmak.

TS 197-1'e göre ülkemizde üretilen Portland çimentoları, en son şekliyle aşağıda görüldüğü gibi üç tiptir.

CEM I 32,5 (Normal Portland Çimentosu)

CEM I 42,5 (Yüksek Dayanımlı Çimento)

CEM I 52,5 (Yüksek Dayanımlı Çimento)

3.4 Su

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır:

- Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek.

- Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlenin sertleşmesini sağlamak.

Kıvam m3'e giren su miktarına bağlıdır. Beton mukavemeti su/çimento oranına bağlıdır. İste bu sebeple şantiyeye teslimi yapılan taze betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini yokeder. Genel olarak içilebilir

nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir. Bir takım ön deneyler yapılmak kaydıyla, içilemeyen sularla gayet kaliteli beton üretilebilinir. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düsürmekle kalmamaktadır. Boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb. zararlı etkenler) beton ve donatıya zarar vermekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır (Hasan 2006).

3.5 Puzolanlar

3.5.1 Puzolanların tarihçesi

MÖ 5000 gibi erken bir tarihte, Basra Körfezi'nden elde edilen kireç ve doğal puzolanın bir kombinasyonu olan diyatomlu toprak şeklinde bir hidrolik bağlayıcı kullanılarak beton üretildi. Volkanik patlamalardan kaynaklanan kül (doğal bir puzolan), MÖ 1500 ve 1600 gibi erken bir tarihte inşaatta kullanılmıştır. Akdeniz bölgesinde. Ortaçağda Romalılar kireçle karıştırılmış doğal puzolanlar kullandılar ve ikisi arasındaki reaksiyon yüksek performanslı bir bağlayıcı oluşturdu. Puzolan terimi, puzolanik özelliklere sahip volkanik külün bulunduğu İtalya'nın Pozzuoli volkanik bölgesinden türetilmiştir. Kelime daha sonra yakın kompozisyona sahip malzemelere uygulandı. Puzolanlar dünyanın pek çok yerinde bulunduğundan, tanımı belirli bir bölgeye ayırmanın bir faydası yoktur (Shaılza 2018).

Crawford'a (1951) göre puzolanlar silislidir ve herhangi bir bağlayıcı özelliği yoktur, ancak ortam koşullarında kireç ve su ile birleştirildiğinde çimento özelliği kazanırlar. Davis'in (1950) belirttiği gibi, bu nedenlerle, on dokuzuncu yüzyılda baraj gibi büyük yapıların inşasında mineral katkı olarak betonda doğal puzolanlar kullanılmıştır. Los Angeles County Taşkın Kontrol Bölgesi, bu tür harmanlanmış çimento betonları kullanarak inşaata dahil oldu; Golden Gate Köprüsü, San Francisco-Oakland Körfezi

Köprüsü, Bonneville Barajı ve Friant Barajı, portland çimentosu-doğal puzolan karışımlı betonların kullanıldığı projelerin önde gelen örneklerinden bazılarıdır. Bu tür betonların deniz suyundan gelen sülfat saldırısına karşı kanıtlanmış direnci ve düşük hidratasyon ısısı, Kaliforniya Karayolları Bölümü'nü birkaç büyük köprü yapısının inşasında bu tür portland-pozzolalan çimentosu kullanmaya yöneltti (Shaılza 2018).

Amerika Birleşik Devletleri Islah Bürosu Friant Barajı'nı Friant yakınlarındaki tortulardan temin edilen doğal olarak ince süngertaşı içeren betonla inşa etti; Çimentonun kütlesinin %20'si doğal puzolan ile değiştirilmiştir. Doğal puzolanların kullanıldığı Amerikan tarihinin en pahalı projelerinden biri olarak anılan California Eyaleti Su Projesi, California Su Kemeri'nin astarını da içeriyordu; puzolan gereksinimlerinin ASTM C618'de verilen izin verilen sınırları aştığı kaydedilmiştir. Ek çimentolu malzemelerin kullanımı, üç ana tipinin Ek çimentolu malzemelerin üretildiği Kanada'da da yaygınlaşmıştır: uçucu kül, silika dumanı ve cüruf. Doğal volkanik tortular da Kanada'nın farklı bölgelerinde hevesle rapor edilmektedir. Harmanlanmış betonların uygulaması, konut, ticari ve altyapı olmak üzere her türlü inşaatta bulunur (Shaılza 2018).

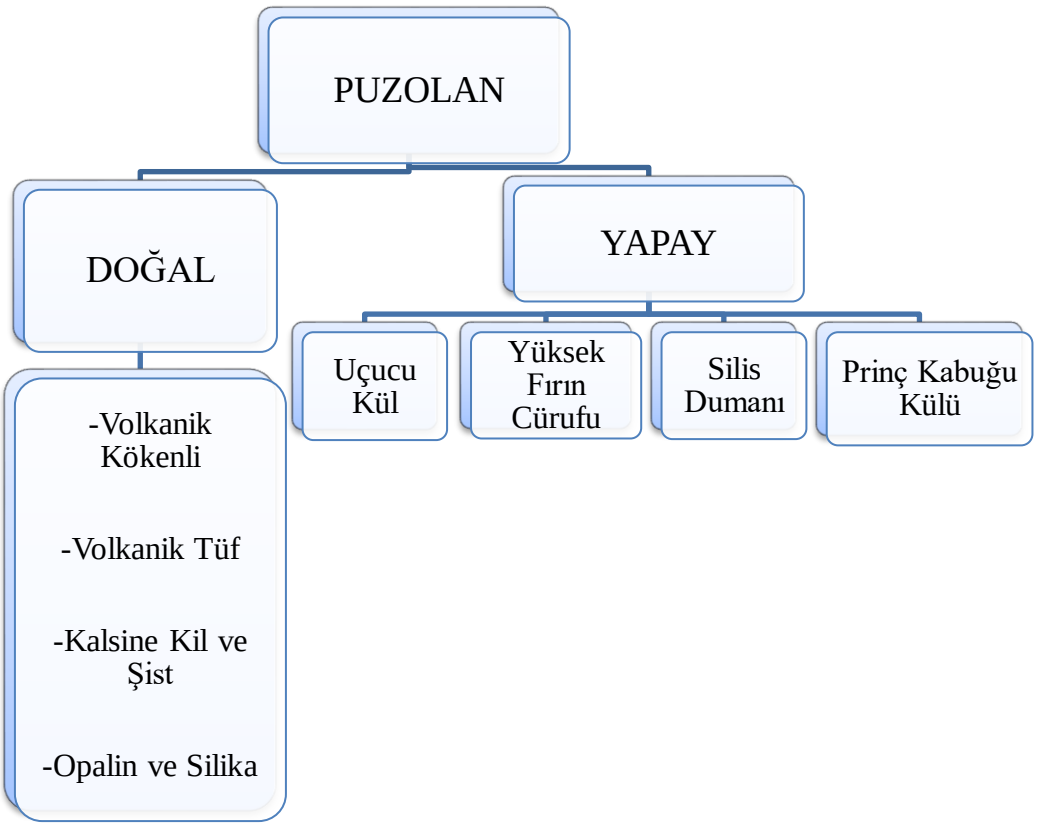
3.5.2 Puzolanların tanımı ve sınıflandırılması

Puzolanlar, yapay ve doğal olmak üzere ikiye ayrılırlar.Doğal puzolanlar, genel olarak oluşumları sırasında çok az değişikliğe uğramış, volkanik kökenli kayaçlardan oluşum göstermelerine rağmen, içerisinde farklı maddeler de bulundurabilir (Şekil 3.3).

Puzolanik maddeler, silissi veya alüminyum silikat veya bunların bileşiminden oluşan doğal maddelerdir.Uçucu kül ve silis dumanı puzolanik özelliklere sahip olmalarına rağmen ayrı maddelerde tarif edilmiştir.

Puzolanik maddeler su ile karıştırıldığında kendi kendine sertleşmezler fakat ince öğütüldüklerinde ve suda çözünmüş kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)2) , dayanımı geliştiren kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikleri oluşturarak reaksiyon

gösterirler. Puzolan esasen reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşmuştur. Dayanım oluşturabilmesi için reaktif silisyum dioksit miktarı kütlece %25'den az olmamalıdır (İsmail 2010).



Şekil 3.3 Puzolanların sınıflandırılmasını gösteren şema.

Geçmiş yıllarda tuğlanın veya kiremitlerin öğütülmesi ile elde edilen ince taneli malzeme, puzolanik malzeme olarak yaygın kullanım alanı bulmuştur. Killi malzemelerin pişirilmesi ile elde edilen puzolanlar; ABD, Brezilya ve Hindistan'da birçok baraj inşaatında kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda bu tür puzolanlar, yerlerini, daha kolay ve ekonomik olarak bulunabilen uçucu küllere bırakmıştır (İsmail 2010).

- **Doğal puzolanlar**

Diyatomlu toprak, volkanik kül, opalin şeyl, pomsit ve tüf gibi doğal puzolanlar yer yüzeyinde bulunur. Doğal puzolan, kendi içinde çok az çimento değeri işleyen veya hiç olmayan, ancak ince bölünmüş halde ve nem varlığında, normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksit ile kimyasal olarak reaksiyona girerek çimentolu özelliklere sahip bileşikler oluşturan silisli veya silisli ve alüminli bir malzemedir.

Doğal puzolan, silika bakımından zengin magma, volkan kanalında büyük miktarda yeraltı suyu ile karşılaştığında oluşur. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık altında, buhar halindeki su, çözünmüş karbondioksit ve kükürt gazlarıyla karışarak magmaya dönüşür. Bu magma yeryüzüne ulaştığında yanardağ konisinin tepesinden uçar. Basınç aniden düştüğü için, magmanın içindeki tüm gazlar salınır ve patlamış mısır gibi havaya uçan magma yere düşer ve soğuyarak küçük gözenekli kayalara dönüşür (Fatih 2007).

Doğal Puzzolan bulunur; Ege adası Santorini, Yunanistan; İtalya'daki Vezüv Dağı ve Kuzey Mariana Adası'ndaki Pangan Dağı, yüksek kaliteli doğal volkanik kül birikintilerine sahiptir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, volkanik tüfler ve süngeritler, diyatomlu toprak ve opalin şeylleri, esas olarak Oklahoma, Nevada, Arizona ve Califonia'daki Mississippi Nehri'nin batısında bulunur (Fatih 2007).

Doğal puzolan, ince bir güçte öğütüldükten sonra, alkaliyi çimento hamurunun içinde tutabilmek için kalsiyum hidroksit ile hızla reaksiyona girebilir. Böylece, neredeyse hiç alkali içermeyen daha yoğun bir macun oluşturmaya yardımcı olur toplu reaksiyon. Barajlarda ve köprülerde, ısı hidratasyonunu azaltmak ve betonun sülfat saldırısına karşı direncini artırmak ve alkali-silika reaksiyonunu kontrol etmek için doğal puzolanlar kullanılmıştır. Genellikle puzolanik tortunun yakın maliyetlerde olması gerekir (Fatih 2007).

- **Yapay puzolanlar**

Yapay puzolanlar, kil şist, gibi doğal maddelerin kalsinasyonu sonucu oluşan puzolanlardır. Bunlar da doğal puzolanlarda olduğu gibi SiO_2, $Al2O_3$, Fe_2O_3, CaO,

MgO v.b. oksit bileşenleri içerir, Ancak bu oksitler, reaksiyon sonucu oluştuğu için bunlara “yapay puzolan” denir .

Bileşimindeki SiO_2’ nin oranı ve aktifliği puzolanın aktifliğini belirler. Endüstri atığı puzolanlar, diğer maddelerin üretim artıklarından elde edilirler.

Örneğin demir çelik endüstrisindeki font üretiminden atık olarak cüruf, termal elektrik güç santrallerindeki öğütülmüş ocak kömürü ve fosil yakıtların yakılmasından uçucu kül, metal silis, ve silis alaşımlarının üretiminden silis dumanı elde edilir. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan öğütülmüş sileks malzemesi Çanakkale Seramik fabrikasından temin edilen seramik sanayisi atık ürünüdür. Ayrıca çok yaygın olmamakla birlikte pirinç kapçığı, buğday sapı, fındık yeşil kabuğu gibi tarım artığı maddelerin yakılması ile de puzolan malzeme elde edilir (İsmail 2010).

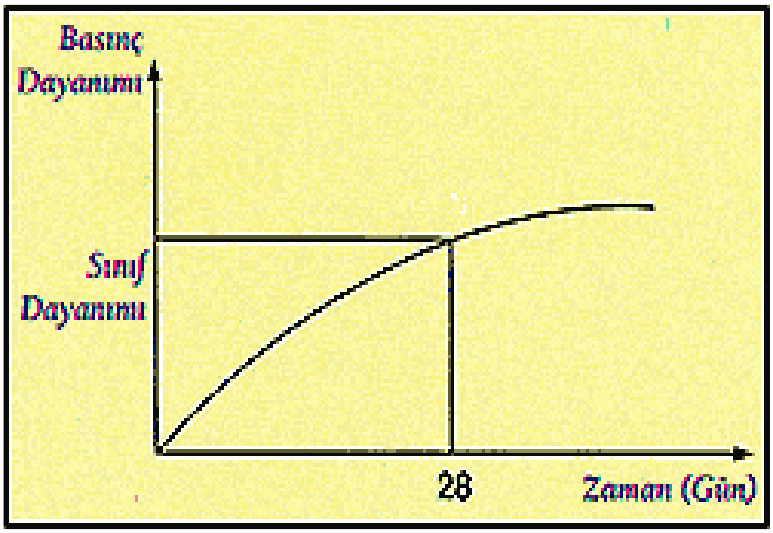
3.6 Betonun Mekanik Özellikleri

3.6.1 Betonun basınç dayanımı

Betonun mekanik dayanımları arasında basınç dayanımı en değerli olanıdır.

Betonun basınç dayanımı, aşağıda gösterildiği gibi, bileşimin belirli bir durumu için bileşimin bir fonksiyonudur.

Kompozisyonun belirli bir durumu için basınç dayanımı maksimum değerine sahip olurken, diğer özellikler maksimum değerden biraz farklı değerlere sahip olacaktır. Şekil 3.4'de ayrıca betonun basınç dayanımının zamanın bir fonksiyonu olduğu ve maksimum dayanımına yıllar sonra ulaştığı unutulmamalıdır (Enver 2002).



Şekil 3.4 Basınç dayanımı-Zaman İliskisi (Hasan 2006).

3.6.2 Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler

Betonun basınç dayanımını birçok farklı faktör etkiler. Basınç dayanımını etkileyen faktörleri incelemenin amacı, yüksek basınç dayanımına sahip beton üretmek için özellikle beton bileşimi ile ilgili hangi kuralların oluşturulması gerektiğini bulmaktır. Birçok faktörün etkisi nedeniyle beton dayanımı çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Yani beton üretiminde aynı agrega ve çimento kullanılmasına ve bileşiminde veya üretim yöntemlerinde herhangi bir değişiklik yapılmamasına rağmen elde edilen betonların dayanımları büyük farklılıklar göstermektedir. Bu şekilde muayene limitleri belirlendikten sonra betonun basınç dayanımını etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- Çimento ile ilgili faktörler

- Su miktarı

- Betonun kompasitesi (Enver 2002).

3.7 Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu, çelik endüstrisinin bir yan ürünüdür. Bir yüksek fırında demir cevherinin kok ve kireçtaşı ile reaksiyonu, erimiş dökme demir ve cevherin gangından minerallerden ve çeşitli yanma kalıntılarından oluşan bir silikat sıvısının oluşumuna yol açar: cüruf. İkincisi, dökme demirden daha az yoğun olduğundan yüzer ve ondan kolayca ayrılabilir. Böylece üretilen her bir ton dökme demir için 250 ila 300 kg arasında cüruf üretilir (Cahit 2006).

Yüksek fırından çıkarken, erimiş cüruf, yüksek basınç altında şiddetli ve bol su püskürtülmesi ve bir su havuzuna düşmesiyle çok ani bir soğumaya uğrar ve bunun sonucunda milimetrik taneler şeklinde camsı bir malzeme oluşur, bu granülasyondur.sahne. Bu vitrifiye cüruf, daha yavaş soğutma (açık havada bir çukura boşaltma) ile elde edilen kristalize cüruf ile karşılaştırıldığında granüle cüruf olarak adlandırılır (Cahit 2006).

Yüksek fırın cürufu, kalsiyum, alüminyum ve magnezyum açısından zengin bir silikat camdır.Oranları kaynağına göre değişebilen yaklaşık on oksit içerir.Bileşimi cevhere ve yüksek fırında yapılan çeşitli ilavelere bağlıdır (Cahit 2006).

1862'de Alman Emil Langen, cürufun gizli hidrolik özelliklere sahip olduğunu keşfetti: bir aktivatör varlığında, bir bağlayıcı oluşturmak için suyla reaksiyona girdi. Gizli hidrolik özelliklerinden dolayı, vitrifiye cüruf, çimentolarda katkı maddesi olarak kullanılır.Granülasyon işlemi, bu yan ürünün çimento endüstrisinde geri kazanılmasını sağlamak için çelik üreticileri tarafından kuruldu (Cahit 2006).

3.7.1 Granüle yüksek fırın cürufu

Erimiş cüruf, dönen bir tamburda su ve hava ile soğutulur ve katılaştırılırsa, katı bir kütle yerine topaklar üretilebilir. İşlemi kontrol ederek, topaklar, agrega kullanımı için faydalı olan daha kristalli hale getirilebilir veya çimentolu uygulamalarda daha çok arzu edilen daha fazla vitrifiye (camsı) hale getirilebilir. Daha hızlı söndürme, daha fazla vitrifikasyon ve daha az kristalleşme ile sonuçlanır.

Erimiş cüruf soğutulur ve camsı bir duruma hızlı su verme ile katılaştırılırsa, kristalleşme çok az olur veya hiç olmaz. Bu işlem, genellikle bir miktar gevrek klinker benzeri malzeme ile kum boyutunda (veya frit benzeri) parçaların oluşumuyla sonuçlanır.Granüle cürufun fiziksel yapısı ve gradasyonu, cürufun kimyasal bileşimine, su verme sırasındaki sıcaklığına ve üretim yöntemine bağlıdır.

Çok ince çimento boyutunda parçacıklar halinde ezildiğinde veya öğütüldüğünde, granüle yüksek fırın cürufu, Portland çimentosu için uygun bir kısmi ikame veya katkı maddesi yapan çimentomsu özelliklere sahiptir (Wild 1998, Rai 2002).

3.7.2 Granüle yüksek fırın cüruf çimentosu (GYFCÇ)

Emil Langen tarafından 1862'de granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC) çimentolu özelliklerinin ilk keşfinden bu yana ve özellikle 1970'lerdeki petrol krizinden sonra, GYFCÇ'nın üretimi, enerji tasarrufu, atık malzemelerin kullanımı ve belirli teknik konulara daha fazla önem verilmesi nedeniyle önemli ölçüde artmıştır. Agresif koşullara karşı daha yüksek direnç gibi sıradan Portland çimentosuna (PÇ) göre avantajlar. Bugün GYFCÇ, Batı Avrupa'da kullanılan tüm çimentonun yaklaşık %15'ini oluşturmaktadır.

Yüksek Fırın Cürufu, Portland Çimentosu için başarılı bir ikame malzeme olarak yaygın olarak kullanılmaktadır, bazı özellikleri iyileştirmektedir ve ekonomik faydalar sağlamaktadır. Son yıllarda dünyada pik demir üretimi giderek artmıştır. Ton demir başına yaklaşık 300 kg cüruf üretilir (Escalante 2001).

Türkiye, yılda yaklaşık 35 milyon ton çimento ve 13 milyon ton ham çelik üretimi ile Avrupa'nın önde gelen çimento ve çelik üreticilerinden biridir. Ancak, GYFCÇ üretimi, 1996 ve 1998 yıllarında toplam Türk çimento üretiminin sırasıyla yaklaşık %0,75'i ve %2,2'si kadardı; bu üretim artık ülke çapında yeni cüruf öğütme değirmenlerinin kurulmasıyla hızla artmaktadır (Öner 2000).

Portland çimentosu, toz haline getirilmiş bir malzemedir.klinker ve alçıyı birbirine öğütme. Klinker üretimi bir piro-işlemdir ve özel bir fırında gerçekleşen bir dizi karmaşık kimyasal reaksiyonu içerir. Klinker, dört ana oksit fazından oluşan heterojen bir malzemedir: trikalsiyum silikat (C3S), dikalsiyum silikat (C2S), trikalsiyum alüminat (C3A) ve tetrakalsiyum alüminoferrit (C4AF). Çimento kimyasında kullanılan terminolojiye göre C= CaO, S= SiO_2, A= Al_2O_3, F=Fe_2O_3, H= H2O, Ŝ= SO_3. Çimento ve su arasındaki reaksiyonlar aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$2C_3S + 6H \longrightarrow C\text{-}S\text{-}H + 3Ca(OH)_2 \quad (1)$$

$$2C_2S + 4H \longrightarrow C\text{-}S\text{-}H + Ca(OH)_2 \quad (2)$$

$$2C_3A + 27H \longrightarrow C_4AH_{19} + C_2AH_8 \quad (3)$$

$$C_3A + 3CSH2 + 26H \longrightarrow C_6A\hat{S}_3H_{32} \text{ (etrenjit)} \quad (4)$$

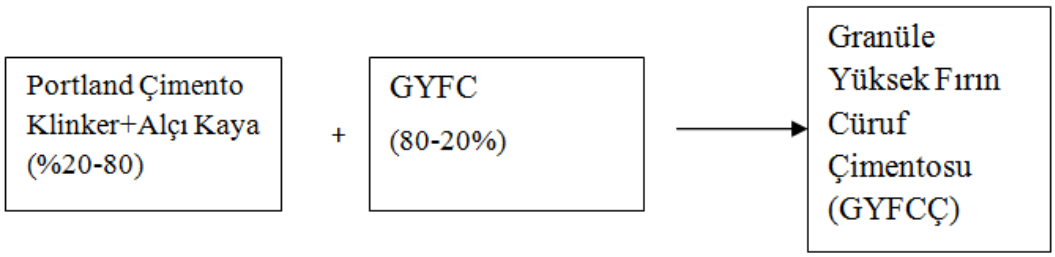
$$C_3A\hat{S}_3H_{32} + 3C_3A + 4H \longrightarrow 3C_4A\hat{S}H_{12} \text{ (monosülfat)} \quad (5)$$

GYFC ince öğütülür ve sıradan Portland çimentosu ile karıştırılırsa, çimentoların hidratasyonunun ana çimentolama ürünü olan ilave C-S-H jelleri oluşturmak üzere $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girer (Veysel 2004).

Granül yüksek fırın cüruf çimentoları, granül yüksek fırın cürufunun portland çimento klinkeri ve az miktarda Alçıtaşı ile birlikte öğütülmesiyle üretildiği bilinse de, son zamanlarda ayrı öğütme üzerine yapılan çalışmalar, daha düşük özgül enerji tüketimi nedeniyle ayrı öğütmenin tercih edilmesi gerektiği sonucuna varmıştır. pazar gereksinimlerine göre ürün kalitesi düzenlemesinde daha yüksek esnekliğin yanı sıra daha fazla cüruf ilavesi (yani daha az çevresel tehlike) (Öner 2001).

GYFC ve klinker+alçıtaşı oranları değişebilir uygulama ihtiyacına bağlı olarak. Şekil 3.5'de genel olarak GYFC, toplam karışımın %20'sinden az değildir. Daha ekonomik bir

Granül yüksek fırın cüruf çimentosu isteniyorsa GYFC miktarı %80'e kadar yükseltilebilir.



Şekil 3.5 GYFCÇ için tipik karıştırma oranları (Veysel 2004).

Granüle yüksek fırın cüruf çimentoları, sıradan portland çimentolarına göre aşağıdaki gibi özetlenebilecek bazı avantajlara sahiptir.

- Düşük Hidrasyon Isısı,

- Agresif koşullara (örn. sülfat atağı) daha dayanıklı,

- Alt alkali-silika reaksiyonları,

- Yüksek nihai mukavemet,

- Daha fazla işlenebilirlik,

- Daha düşük üretim ve enerji maliyetleri (Öner 2001).

3.7.3 Eriyik cürufunun soğutulma yönteminin cüruf yapısına etkisi ve cürufların kullanım alanları

Yüksek fırında demir cevherinden ayrılan erimiş atık madde cürufu 1500 santigrat derece civarındadır. Cüruf ancak istenilen sıcaklığa soğutulduktan sonra herhangi bir amaç için kullanılabilir.

Cüruf yapısı soğutma yöntemlerinden doğrudan etkilenir. Cüruf, yüksek fırından çıktıktan sonra bu yöntemlere bağlı olarak çeşitli yapısal özellikler kazanabilmektedir (Sadullah 2015).

Normal şartlar altında havada yavaş soğumaya bırakılan cüruf, "hava soğutmalı yüksek fırın cürufu" olarak bilinir; su, basınçlı hava ve buharın etkisiyle soğutulan cüruf, "genişletilmiş yüksek fırın cürufu" veya "köpüklü yüksek fırın cürufu" olarak bilinir; büyük miktarda suya maruz kalan cürufun küçük partiküllere dönüşmesi nedeniyle "granül yüksek fırın cürufu" olarak bilinir (Şekil 3.6) (Sadullah 2015).



Şekil 3.6 Yüksek fırın cürufu (Sadullah 2015).

Hava soğutma prosesinde cüruftaki soğutma prosesi çok yavaş olduğu için cürufta kristal kalsiyum silikatlar oluşur. Bu kristal cüruflar çimento üretiminde bağlayıcı malzeme olarak kullanılamaz. Bu cüruflar son derece serttir. Bununla birlikte, agregaya bölünebilir ve betonda kullanılabilir. Öte yandan, bu tür cüruflarda bulunan bir miktar kükürt, beton hacmini olumsuz yönde etkiler ve yapılacak yapıların kullanım ömrünü kısaltabilir. Sonuç olarak, hava soğutma yöntemi ile elde edilen cüruf kullanılırken dikkatli olunmalı ve gerekli deneyler yapılarak cürufun kullanıma uygunluğu konusunda titiz çalışmalar yapılmalıdır (Sadullah 2015).

Hava soğutma prosesinde cüruftaki soğutma prosesi çok yavaş olduğu için cürufta kristal kalsiyum silikatlar oluşur. Cüruflar kontrollü bir miktarda su ile soğutuldukları ve işlem sırasında buharın tutulması nedeniyle genleştiği için gözenekli bir yapıya sahiptir. Soğutma işlemi yeterince hızlı olmadığı için, genleşmiş yüksek fırın cürufu kristal bir yapıya sahiptir ve hidrolojik bağlayıcı özelliklerden yoksundur. Hafif agrega ve hafif beton, genleşmiş cürufun parçalanmasıyla elde edilebilir (Sadullah 2015).

Çok hızlı bir soğutma işlemine tabi tutularak granül haline getirilen cürufun içindeki erimiş cürufun viskozitesinin ani değişmesi nedeniyle granülasyon sırasında kristal yapı oluşumu engellenir ve camsı katı bir çözelti oluşur. Önceden, camsı granüle yüksek fırın cürufu, basitçe erimiş cürufun suya batırılmasıyla yapılabiliyordu. Granülasyon işlemi, modern sistemlerde, erimiş cürufun yüksek basınçlı su ile 10'a 1 su-cüruf kütle oranında püskürtülmesiyle gerçekleştirilir. Bu sistemlere ek olarak bazen hava granülasyonu olarak bilinen bir yöntem de kullanılmaktadır. Hava granülasyon yöntemi, paralel olarak çalışan ve sürekli olan birkaç işlemden oluşur. Bu yöntemde, erimiş cüruf bir vibrasyon plakasına dökülür ve genleşen cüruf, dönen bir tambura dökülüp havaya atılmadan önce biraz su püskürtülerek soğutulur. Suyu süzülüp kurutulduktan sonra anında suya daldırma, basınçlı su püskürtme veya hava ile granülasyon yöntemlerinden herhangi biri ile granül haline getirilen cüruf öğütme işlemine tabi tutulur. Öğütülmüş yüksek fırın cürufları NaOH veya CaOH gibi aktivatörlerle reaksiyona girdiğinde veya $Ca(OH)_2$ ile birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık değeri kazanır. Bu özelliklerinden dolayı öğütülmüş yüksek fırın cürufu, Portland çimentosu klinkeri, cüruf ve az miktarda alçıdan yapılan cüruf çimentolarının üretiminde veya beton üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir (Sadullah 2015).

Öğütülmüş yüksek fırın cürufu hidrolik bağlayıcı özelliklere sahip olduğundan ve çimento ve beton üretiminde kullanılabildiğinden, yüksek fırından atık olarak alınan erimiş cüruf tipik olarak çok hızlı soğutma yöntemleri kullanılarak soğutulur (Sadullah 2015).

3.7.4 Hava soğutmalı yüksek fırın cürufu

Sıvı cüruf yataklara dökülürse ve yavaşça soğutulursa ortam koşulları, kristal bir yapı oluşur ve daha sonra ezilip elenebilen sert, topak bir cüruf üretilir (Veysel 2004).

3.7.5 Genişletilmiş veya köpüklü yüksek fırın cürufu

Erimiş cüruf kontrollü miktarlarda su, hava veya buhar eklenerek soğutulur ve katılaştırılırsa, cürufun hücresel yapısını artırarak ve hafif, genleşmiş veya köpüklü bir ürün üreterek soğutma ve katılaştırma işlemi hızlandırılabilir.

Köpüklü cüruf, nispeten yüksek gözenekliliği ve düşük kütle yoğunluğu ile hava soğutmalı yüksek fırın cürufundan ayırt edilir (Veysel 2004).

3.7.6 Yüksek fırın cürufunun beton içerisinde kullanılması

Sızdırmazlığı, yüksek mukavemeti, yangına dayanıklılığı, ekstra sertliği, yalıtım özelliği ve hafifliği nedeniyle yüksek fırın cürufu kullanılmaktadır. Yeni betonun işlenebilirliğini artırırken terlemeyi de azaltır. Betonda kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan hidratasyon ısısını azaltır, betonun erken evrede çatlamasını önler, priz süresini uzatır. Sertleşmiş betonun su geçirgenliğini düşürürken sülfat direncini arttırır.

Betonda öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanıldığında, çimento hamurunda daha ince ve süreksiz boşluklar oluşur, agrega-çimento ara yüzeyindeki boşluklar azalır ve betonun dayanıklılığı artar. İnşaat, şüphesiz dünyanın en pahalı ve kaynak yoğun sektörüdür. Her sektörde olduğu gibi inşaat sektöründe de doğal kaynakların doğru ve zamanında kullanılamaması birçok çevre sorununa neden olmaktadır. Bu durum, sektörün uzun vadeli canlılığının sağlanmasında tutarlılığın önemini ortaya koymaktadır. Uygun miktarlarda çimento ikamesi olarak kullanıldığında, cürufun kütle betonlarında sıcaklığı kontrol etmede etkili bir araç olduğu bulunmuştur. Her durumda, karışıma cüruf çimentosu eklemek, erken aşamalarda çimento tarafından üretilen ısıyı azaltır.

Betonda çatlak oluşumu ve hacimsel stabilite, yüksek sıcaklık gelişiminden etkilenir. Geçirgenlik ve su emme, sertleşmiş betondaki boşluk yapısının göstergeleridir. Sonuç olarak geçirgenlik, kimyasal ve fiziksel direnci etkileyen en önemli özelliklerden biridir. Su, çözünebilir zararlı iyonları betona taşıdığı ve kimyasal reaksiyonlara katıldığı için, su geçirgenliği betonun ömrü boyunca maruz kalabileceği hasarın bir göstergesi olarak kabul edilir (Sadullah 2015).

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, çimento ve yüksek fırın cürufu belirli oranlarda değiştirilerek yeni tip çimentolar üretilmeye başlandı. 2012 yılında TS 197-1 Standardında yapılan değişiklikle bu durumu çok daha net görebiliyoruz. Özellikle CEM III/B-C tipi çimentolarda %60-80 oranında çimento ikame oranları yaygındır. İlk çağlarda, yüksek fırın cürufunun çimentoya yüksek oranda ikame edilmesi sonucu beton dayanımında azalma gözlenmiştir. Ancak betondaki kimyasal reaksiyon süreci tamamlandığında görülen dayanım kayıpları azalmakta hatta 28 günlük sürenin sonunda eşitlenebilmektedir. Biraz daha bekledikten sonra dayanımlarının sıradan Portland çimentosu ile yapılan betona göre daha yüksek olduğu ve standartların karşılandığı keşfedildi. Her ikisi de endüstriyel atık olarak sınıflandırılan yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ile ayrı deneyler yapıldı ve sonuçlar yüksek fırın cürufunun daha iyi performans gösterdiğini gösterdi. Sülfat konsantrasyonunun yoğunluğuna bağlı olarak uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik katkı maddeleri veya TS 197-1'de belirtilen sülfat dayanımı yüksek 7 çimento sınıfından biri, betonun zararlı etkilerine karşı direncini artırmak için tercih edilebilir. sülfat. $Ca(OH)_2$, sülfat iyonları ile reaksiyona girmesini engelleyen puzolanik katkı maddeleri ile bağlanır. Sadece Portland çimentosuna yüksek fırın cürufu ilavesi ile daha yüksek trikalsiyum alüminat oranı düşerek beton üzerinde yaratacağı zararlı etkileri azaltır (Sadullah 2015).

Uygulamada, ÖGYFC üç farklı şekilde kullanılır:

- Kalsiyum hidroksit ile sulu ortamda birleştirildiğinde doğrudan hidrolik bağlayıcı olarak kullanılabilir.

- Portland çimentosu, klinker ve az miktarda alçı ile birlikte veya ayrı ayrı öğütülerek "cüruflu çimento" elde edilebilir.

Beton katkı maddesi olarak kullanılabilir (Sadullah 2015).

Cüruf çimento üretiminde kullanılan cüruf miktarı ülkeden ülkeye değişmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde portland yüksek fırın cüruf çimentosu'nda cüruf oranı yüzde 25-65, Almanya'da eisenportland çimento'da (DIN 1164) en fazla yüzde 40, Hochofen çimento'da yüzde 41-85'tir. Fransa'da yüzde 25-35, yüzde 45-55, yüzde 65-75 ve yüzde 80'den fazla cüruf bulunan dört tip cüruf çimentosu vardır. TS EN 197-1'de belirtildiği gibi, CEM II/A-S tipi çimentoda yüzde 6-20, CEM II/B-S tipi çimentoda yüzde 21-35, CEM III/A tipi çimentoda yüzde 36-65, Ülkemizde CEM III/B tipi çimento. CEM III/C tipi çimentoda yüksek fırın cürufu yüzde 66-80, yüzde 81-95, CEM V/A tipi çimentoda yüzde 18-30, CEM V/B tipi çimentoda yüzde 31-50 oranlarında kullanılmaktadır (Sadullah 2015).

3.7.7 Yüksek fırın cürufunun betonun durabilitesi üzerindeki etkileri

- **İşlenebilirlik**

Ezilmiş granül cürufun mevcudiyeti, betonun taze halde işlenebilirliğini artırır ve betonu daha plastik ve daha iyi kohezyonlu hale getirir. Ayrıca, yüksek performanslı beton üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılan cürufun varlığı, kullanılan su azaltıcı katkı maddesi miktarını %25 oranında azaltır. Tek başına Portland klinkerine (3.15) kıyasla cürufun düşük yoğunluğu (2,6'dan 2,8'e) bu gelişmenin nedeni olabilir. Gerçekten de, cürufun mutlak hacmi, değiştirilen çimentonunkinden %20-25 daha büyük olacaktır. Bu, karışımın plastisitesini iyileştirme etkisine sahip olan çimento hamurunun hacminde bir artışa neden olur (Sadullah 2015).

Daha ince bir malzeme, teorik olarak, parçacıkların ıslatma suyu talebini artırma etkisine sahip olacaktır. Ancak granül ve öğütülmüş cürufun spesifik yüzey alanı

arttıkça işlenebilirlik artar. Bu eğilim, daha ince parçacıkların, suyun bir kısmını daha büyük parçacıklar arasındaki boşluklardan uzaklaştırması ve böylece onu ilave bir dahili yağlayıcı olarak kullanılabilir hale getirmesiyle açıklanır. Böylece beton daha az sertleşir ve su tasarrufu iyileştirilir. Bununla birlikte, cüruf parçacıklarının boyut dağılımı işlenebilirliği etkiler. Aynı spesifik yüzey için, cürufun tanecik dağılımı ne kadar darsa, harcın akışkanlığı o kadar fazladır (Huiwen et al. 2004).

Waınwrıght ve Rey, %55 ve %85 granül ve öğütülmüş cüruf ilavesinin, işlenebilirlikte Portland çimentosu betonları için 15 mm çökmeden cüruflu karışımlar için 20 ila 40 mm'ye kadar bir artışa yol açtığını gözlemledi. Aynı eğilim, sıradan beton için 55 mm'den %50 cüruf içeren beton için 160 mm'ye işlenebilirlik artışını gözlemleyen Swamy ve Bouıknı tarafından da gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, cüruf içeren betonun işlenebilirliği, su içeriğindeki değişikliklere, yalnızca Portland çimentosu ile yapılan betondan daha duyarlıdır (Swamy and Bouikni 1990).

- **Priz süresi**

Az ya da çok önemli bir ısı salınımının eşlik ettiği priz fenomeni, çimento tipi ve öğütme inceliği de dahil olmak üzere birçok parametreyle bağlantılıdır. İncelik harika olduğu için ayar süresi daha hızlıdır. Sertleşme, esas olarak çimento bileşiklerinin seçici hidratasyonu ile kontrol ediliyor gibi görünmektedir. C3S ve C3A ilk tepki verenlerdir. C3A'nın su ile reaksiyonu çok şiddetlidir (çok fazla ısı) ve önce C3S'nin hidratlanmasını sağlayan kalsiyum sülfatlar (alçıtaşı CS H_2 veya anhidrit: CS) tarafından kontrol edilmelidir. C2S dikalsiyum silikatlar daha yavaş reaksiyona girer ve sertleşme üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

Çimentoya cürufun eklenmesi, esas olarak trikalsiyum alüminatlar 'C3A'da bir azalma ve dikalsiyum silikatlarda 'C2S' bir artış ile karakterize edilen çimentonun mineralojik bileşiminde bir değişikliğe yol açar.

Çimento hidratasyonunun başlangıcında, ince cüruf parçacıkları çimento parçacıklarının yüzeyini düzgün bir şekilde kaplar, bu da hidratasyon ürünlerinin ilk oluşumunu geciktirir ve azaltır **(**Huiwen et al. 2004). Bu iki olay muhtemelen çimentonun daha yavaş hidratasyonuna yol açar, bu da teorik olarak çimentonun prizlenmesinde gecikmeye neden olur.

Gerçekten de, normal sıcaklıklarda, betondaki cürufun mevcudiyeti, genellikle 30 ila 60 dakika gibi bir gecikmeye yol açar. NIGRI ve arkadaşlarının çalışması, bu gecikmenin cüruf yüzdesi arttıkça daha da büyük olduğunu göstermiştir. Bu etki, BROOKS ve diğerleri (Brookset al. 2000). tarafından %40 ve %60 cürufun başlama ve priz süresini önemli ölçüde arttırdığı yüksek dayanımlı betonlarda gözlemlenmiştir.

Cüruf varlığından kaynaklanan çimento prizinin gecikmesi, betonun işlenebilirliğini daha uzun süre korumayı mümkün kılar. Sonuç olarak, sıcak bir iklimde çalışma durumunda veya uzun mesafelerde taşınan beton için önemli bir avantaj sağlayabilir.

- **Basınç dayanımı.**

Cürufun ilk hidratasyonu çok yavaştır, çünkü Portland klinkerinin hidratasyonu sırasında açığa çıkan hidroksil iyonlarının camın saldırısına bağlıdır. Luke ve Glasser, 2 yıl boyunca 25°C'de %30 cüruf içeren Portland çimentosunun hidratasyonunun evrimini inceledi. Bir aylık çimento hidratasyonundan sonra, cürufun sadece %40'ının reaksiyona girdiğini buldular (Luke and Glasser1988). Roy ise 28 gün sonra cüruf partiküllerinin %30-37'sinin hidrate olduğunu bildirmiştir. Sonuç olarak, çimento yerine öğütülmüş cüruf içeren betonlar, ortam sıcaklıklarında, Portland çimentosu esaslı betonlardan daha düşük başlangıç dayanımları geliştirir.

Portland çimentosunun hidratasyonu ile cürufun paralel çözünmesiyle kalsiyum hidroksit oluşumu, cürufun uzun bir süre boyunca sürekli reaksiyonu ile sonuçlanır. Böylece uzun vadede betonların cürufa karşı direncinde bir artış gözlemlenmektedir (Roy 1987).

Cürufun daha büyük bir inceliği, direncin daha iyi gelişmesine izin verir. ONER ve diğerleri, cüruf çimentosunun basınç dayanımı üzerindeki cüruf ve klinker inceliğinin etkisini incelemiştir. Görüldüğü gibi, klinkerin sabit bir inceliği için direncin cürufun inceliği ile orantılı olarak arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, bu gelişme sadece uzun vadede önemlidir, çünkü cürufun aktivasyonu önce yer almalıdır . Klinkerin daha büyük bir inceliği aktivasyonu hızlandırır ve genç yaşta karışımın direncinin artmasına izin verir (Öner 2000).

Çimento imalatında klinkerin ve cürufun öğütülme şekli direnci etkiler. Gerçekten de, klinkere göre daha sert olan cüruf, daha dar bir tanecikli dağılım sağlar.

Eş zamanlı öğütme durumunda, klinkere göre daha düşük öğütülebilirliğe sahip cüruf, en iri fraksiyonlarda birikir. Öğütülmesi daha kolay olan klinker, daha ince fraksiyonlarda birikir. Sonuç olarak, klinker ve cürufun aynı anda öğütülmesiyle elde edilen bir cüruf çimentosu, klinker ve cürufun aynı inceliğe ayrı öğütülmesiyle üretilen bir çimentoya kıyasla genç yaşta daha yüksek dayanım değerlerine sahiptir. Çizelge 3.1 aynı anda veya ayrı ayrı %25 cüruf zeminli kompozit çimentoların basınç dayanımının gelişimini göstermektedir. Ancak aynı inceliğe sahip, aynı anda ve ayrı öğütme ile üretilen çimentoların basınç dayanımları arasındaki bu fark, ileri yaşlarda önemsiz hale gelmektedir (Erdogdu vd.1999).

Çizelge 3.1 Öğütme modunun çimentonun cürufa karşı basınç dayanımı üzerindeki etkisi (Erdogdu vd.1999).

	BASINÇ DAYANIMI (MPa)				
ÖĞÜTME	1 gün	2 gün	7 gün	28 gün	90 gün
Eşzamanlı Öğütme	8.7	15.6	30.5	49.1	59.2
Ayır Öğütme	8.0	14.9	29.7	48.1	60.7

- **Çekme dayanımı**

Genel olarak konuşursak, orta ve uzun vadede, cüruflu çimentoların eğilme mukavemeti, tek başına Portland çimentosununkinden üstün olmasa bile karşılaştırılabilir. Gerçekten de, Khatib ve Hıbbert, %10 metakaolin içeren veya içermeyen cüruf çimentoları içeren betonların eğilme mukavemetini inceledi. 90 günde, %60 cüruflu beton, kontrol betonundan daha yüksek eğilme dayanımı geliştirmiştir. Bu üstünlük ilave %10 metakaolin içeren betonlarda daha fazlaydı (Khatib and Hibbert 2005).

Eğilme mukavemeti ile ilgili bu davranış Ujhely ve Ibrahım tarafından rapor edilmiştir: kürlemenin eğilme mukavemeti üzerindeki etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, 42°C kür sıcaklığında, %40 cüruflu bir betonun mukavemetinin kontrol betonundan daha büyüktür. Aynı eğilim, ıslak kürde 28 günlük depolamadan sonra %30 cüruf içeren yüksek performanslı betonlar için de gözlenmiştir (Ujhelyi and Ibrahim 1991).

3.8 Betonda Kullanılan Kimyasal Katkılar

Katkılar, imalatı sırasında betona küçük miktarlarda (çimento kütlesinin %5'inden az) katılan ve taze ve/veya sertleşmiş halde özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan kimyasal ürünlerdir (Olcay 2010).

- **Süperakışkanlaştırıcıla**

Süperakışkanlaştırıcılar, verilen betonun su içeriğini (yüksek su azaltıcı) büyük ölçüde azaltmayı veya su içeriğini değiştirmeden çökmeyi/yaymayı önemli ölçüde artırmayı veya her iki etkiyi aynı anda üretmeyi mümkün kılar (Olcay 2010).

İzin verirler:

- işlenebilirliği korurken karışım suyu miktarını büyük ölçüde azaltmak,
- performansı korurken manevra kabiliyetini artırmak,

- Aşağıdakiler açısından çok önemli performans kazanımları sağlayan yüksek oranda kompakt betonlar üretin: yüksek başlangıç ve son mekanik dayanım; gözeneklilikte azalma ve - dayanıklılıkta artış.

Ortalama dozları çimento ağırlığının %0,8 ila %3'ü kadardır.

- **Hava sürükleyiciler**

Hava sürükleyiciler şunları mümkün kılar: sertleşmiş betonda genleşme kabı görevi görecek mükemmel şekilde dağılmış mikro hava kabarcıklarını betonun içine sürüklemek, donma etkisine maruz kalan betonun dayanıklılığını artırmak.

İzin verirler:

- Sertleşmiş betonda genleşme kabı görevi görecek mükemmel şekilde dağılmış mikro hava kabarcıklarını betonun içine sürükler.
- Don ve buz çözücü tuzların etkisine maruz kalan betonun dayanıklılığını artırmak.
- Betonun uygulanmasını kolaylaştırmak.

Ortalama dozları çimento ağırlığının %0,5 ila % 2'si kadardır (Olcay 2010).

- **Priz hızlandırıcılar**

Priz hızlandırıcılar, betonun ilk priz süresini azaltmayı mümkün kılar.

İzin verirler:

- ayar sürelerini azaltmak,
- betonu donmaktan korumak için,
- kalıp rotasyonunu artırmak

Ortalama dozları çimento ağırlığının % 0.5 ila % 5'ü kadardır (Olcay 2010)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde betonun basınç dayanımı testlerinin prosedüründe bahsedeceğiz. Şekil 4.1 inşaat malzemelerini göstermektedir.



Şekil 4.1 Deney malzemeleri

4.1 Elek Analizi

TS EN 933-1 standartlarına uygun partikül boyutu analizi, bir numunenin farklı tanelerinin özelliklerine (ağırlık, boyut, vb.) göre dağılımının incelenmesinden oluşan işlemdir. Genellikle, partikül boyutu analizi, farklı çaplardaki tanelerin oranlarını sağlar; bu analiz hem eleme hem de çökeltme yoluyla yapılabilir;

Bir agregayı oluşturan tanelerin boyutuna ve sayısına bağlı olarak agregalara ince taneler, kumlar, çakıllar veya çakıl Taşları denir.

Parçacık boyutu analizi testi, esasen, bir numunedeki farklı tane ailelerinin boyutunu ve ilgili ağırlık yüzdelerini belirlemeyi ve dağıtmayı mümkün kılar.

Test, numuneyi oluşturan farklı tanelerin, üst üste yerleştirilmiş, ağız boyutları yukarıdan aşağıya doğru azalan bir dizi elek kullanılarak sınıflandırılmasından oluşur.İncelenen malzeme eleklerin üst kısmına yerleştirilir ve elek kolonunun titreşimi ile tanelerin sınıflandırılması elde edilir.

M kütlesindeki kurutulmuş malzeme, açıklıkların ilerlemesi kolonun altından yukarıya doğru artacak şekilde seçilen bir dizi elek üzerine dökülür. Alt kısımda, bu eleklerden geçen ince elementlerin geri kazanılması için sızdırmaz bir taban üzerine 0,08 mm'lik bir elek yerleştirilir.

Eleme makinesinin iki varyasyon dizisi arasında retler %1'den fazla değişmediğinde elemenin bittiği kabul edilir. En büyük ağ gözüne sahip elekten kalan artık tartılır. Bu reddin kütlesi R1 olsun.Hemen altındaki elek reddi tartılır. R2 ret ikinci ret kütlesi olsun. R1+R2 toplamı, ikinci elekteki kümülatif reddetmeyi temsil eder. Alınan tüm elekler için bu işleme açıklıkları azalan sırayla devam edilir.Bu, elek kolonunun farklı seviyelerinde kümülatif retlerin kütlesini (Rn) bilmeyi mümkün kılar.Elek kolonunun tabanında bulunan elek de tartılır.Kütlesi P olsun.Çeşitli eleklerde ve alt kısımdaki (dolgu maddeleri) eleğin üzerinde ölçülen kümülatif kalıntıların toplamı, kolonun üstüne verilen numunenin ağırlığı ile örtüşmelidir.Eleme işlemi sırasında olası malzeme kaybı, başlangıç numunesinin toplam ağırlığının %2'sini geçmemelidir (Şekil 4.2).

$$Mk = \frac{\text{Mek}}{Mt} \text{x } 100 \qquad 4.1$$

Mk: % Kalan Yüzde

Mek: Elekte Kalan

Mt: Toplam Numune Miktarı



Şekil 4.2 Elek Analizi ince agregalar

4.2 Ozgül Ağırlık ve Su Emme deneyi

Agrega özgül ağırlık ile agrega su emme deneyleri (TS EN 1097-6) standardına uygun olarak agregaların kuru özgül ağırlık, doygun özgül ağırlık, görünür özgül ağırlık ve su emme oranlarını belirlemek amacıyla yapılır.

Belirli bir hacim ve sıcaklıkta havadaki bir maddenin ağırlığı, özgül ağırlığını belirlemek için aynı hacim ve sıcaklıkta damıtılmış suyun ağırlığı ile karşılaştırılır.

Agreganın yapısındaki boşluklar suyla dolduğunda ve yüzey kuru olduğunda, agrega doygun kuru bir yüzeye sahip olduğu söylenir.

Su emme testi, doygun kuru yüzeyli (DKY) agreganın su içeriğini kuru agreganın su içeriğiyle karşılaştırmak için kullanılır. Denemede paçal numune 24 saat suya batırılır, ardından tane yüzeyleri kurutulur, DKY'ye dönüştürülür ve tartılır. Numune daha sonra tartılmadan önce sabit bir ağırlığa ulaşana kadar bir fırında 110°C'de kurutulur. Örneğin, deneme sonucunda DKY ağırlığından kuru ağırlık çıkarılarak elde edilen değere DKY ağırlığının oranı, agreganın su emme değerini verir.

Agregalardaki boşluk hacimlerinin oranı, suyu ne kadar iyi emebileceklerini etkiler. Boşluklu agregalar suyu yüksek oranda emer. Su emme oranı yüksek olan agrega dona karşı da düşük dirence sahip olacaktır. Bu nedenle karayollarının yapımında kullanılan agrega ve beton karışımlarının su emme oranlarının düşük olması tercih edilmektedir.

Agreganın özgül ağırlık değeri önemlidir çünkü betona ne kadar malzeme eklenebileceğini belirlemek için kullanılır (Ahmet 2014).

- **Deney araç gereçleri**

- Ölçü kabı (balon joje)
- Etüv
- Terazi
- Spatula
- Havlu veya benzeri kurutma bezleri
- Termometre
- Cam levha
- Tablalı ısıtıcı veya hava üflemeli ısıtıcı

- **Deneyi yapılısı**

- Kaba agregalar için özgül ağırlık deneyi ve su emme oranı

Deney başlangıcında, hazırlanan deney numunesi, piknometrede bulunan 22 ± 3°C sıcaklıktaki suyunu içine katılır ve içindeki havayı uzaklaştırmak için piknometre eğik konumda sallanır ve döndürülür. Piknometre, su banyosu içerisinde düşey konuma getirilir ve deney numunesi kısmı, 22 ± 3°C'de 24 ± 0,5 saat süreyle bekletilir. Bu süreç

bittikten piknometre su banyosundan çıkartılır. Piknometrenin taşacak şekilde doldurulması için su eklenir ve kap içerisinde hava kalmaması istenir bunun için tepe kısmı bir kapakla kapatılır. Piknometrenin dış kısmı kuruduktan sonra tartılarak (M2) suyun sıcaklığı kaydedilir (Şekil 4.3).

Agrega daneleri, sudan çıkarıldıktan sonra kuruması için birkaç dakika bekletilir. Piknometre tekrar su ile doldurularak kapak kapatılır. Daha sonra, piknometrenin dış kısmı kurutulup ve tartılarak (M3) suyun sıcaklığı kaydedilir. M2 ve M3 tartılırken, piknometredeki su sıcaklıkları farkı, 2°C'yi aşmamalıdır. Suyu süzülen deney numuneleri kuru bez üzerine bırakılır. Bırakılan agreganın yüzeyleri iyice kurutulur daha sonra başka bir kuru bez üzerine yerleştirilir. Bez, yumuşak ve emici olmalıdır.

Bu bez üzerine serilen agreganın kalınlığı bir agrega danesini geçmemelidir. Bu işlemler dikkatlice yapılmalıdır. Serilen bu agreganın direk güneş ışığıyla veya herhangi bir ısı kaynağından sakındırılarak sadece atmosfere maruz bırakılır. Bu sebepten kaynaklı olarak agregada rutubetli görüntü kalır.

Doygun ve yüzeyi kuru deney numunesi kısmı, bir tepsiye aktarılarak tartılır (M1). Agrega daneleri, hava dolaşımlı bir etüvde, 110 ± 5°C'de, sabit kütleye (M4) ulaşana kadar kurutulur. Kütle değerleri, deney numunesi kısmının kütlesinin (M4) %0,1'i veya daha iyi olan bir doğrulukla kaydedilmesine dikkat edilir. Hesaplamalar yapılırken, dane özgül ağırlıkları uygun olandan, megagram/metreküp cinsinden, aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanır.



Şekil 4.3 Piknometre deneyinin uygulanısı

- İnce agregalar için özgül ağırlık deneyi ve su emme oranı

İnce agreganın özgül ağırlığını ve su emme oranını hesaplamak için (TS EN 1097-6) yöntemi kullanılır. Karışım granülometrisini temsil etmek için en az 1000 gr ağırlığında bir agrega kullanılır.

Temizlenen ve 200 Numaralı Elekten geçirilen malzeme bir tepsiye konulur, üzeri su ile kapatılır ve 24 saat bekletilir. Daha sonra su, pürüzsüz, emici olmayan bir yüzeye yayılmadan önce ince malzeme kaybını önlemek için boşaltılır.

Numune, doymuş kuru bir yüzey oluşturmak için kurutma işlemi sırasında sıcak hava akışı yolunda sürekli karıştırılır. Bu prosedür, madde serbestçe dökülene kadar tekrar tekrar gerçekleştirilir. Bu anı bulmak için koni yöntemi kullanılır.

Ağırlığı yaklaşık 500 g olan ve doygun kuru bir yüzeye dönüşen numuneyi tartmak için bir piknometre kullanılır. Numune yüzeyini kaplayacak kadar su eklenmelidir. Hava kabarcıklarından kurtulmak için piknometre her iki yönde 15 ila 20 dakika çalkalanır. Daha sonra piknometrenin boş kısmına işaret çizgisine gelinceye kadar su ilave edilir.

25 ± 1 ºC'de su banyosunda tutulur. Piknometre su banyosundan çıkarılır, kurutulur ve su ve malzeme sıcaklığı 25 oC'ye ulaştığında tartılır.

İnce agrega piknometreden bir tepsiye dökülür ve 110 ±5 ºC'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Numune fırından çıkarıldıktan sonra soğutulur ve tartılır. İnce agreganın özgül ağırlığını ve su emme yüzdesini belirlemek için aşağıdaki denklemler kullanılabilir (Ahmet 2014).

- **Agrega özgül ağırlık hesapları**

Görünür dane özgül ağırlığı : $\mathrm{Pa} = \frac{\mathrm{M4}}{\mathrm{M4}-(\mathrm{M2}-\mathrm{M3})}$ (4.2)

Etüvde kurutulmuş haldeki dane özgül ağırlığı : $\mathrm{Prd} = \frac{\mathrm{M4}}{\mathrm{M1}-(\mathrm{M2}-\mathrm{M3})}$ (4.3)

Doygun ve yüzeyi kuru haldeki dane özgül ağırlığı : $\mathrm{Pssd} = \frac{\mathrm{M1}}{\mathrm{M1}-(\mathrm{M2}-\mathrm{M3})}$ (4.4)

Su emme oranı (%) : $\mathrm{WA24} = \frac{100*(\mathrm{M1}-\mathrm{M4})}{\mathrm{M4}}$ (4.5)

Bu eşitliklerde;

M1 : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi, gr,

M2 : Doygun agrega numunelerini ve su içeren piknometrenin kütlesi, gr,

M3 : Sadece su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi, gr,

M4 : Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının havadaki kütlesi, gr'dır.

4.3 Metilen Mavisi Deneyi

TS EN 933-9 standartlarına uygun şekilde metilen mavisi moleküllerini emme kabiliyetini ölçerek kumun, agreganın ve daha genel olarak toprağın kil içeriğini değerlendirin.

Yıkanmamış agregaları elinize (kum veya çakıl) sürttüğünüzde parmaklarınızda toz izlerini görebilirsiniz.Bunlar küçük kil parçacıklarıdır.Bunlar, beton veya bitümlü bir karışım gibi, karışımın veya agregadan elde edilmek istenen macunun kalitesine zarar verebilir.Cüruf, kömür veya odun parçacıkları gibi diğer parçacıklar da aynı zararlı etkiye sahip olabilir.

- Beton alanında bu partiküller çimentonun hidratasyonunu bozar ve agrega ile macun arasında yapışma bozukluklarına neden olur.

- Bitümlü karışımlar veya yüzey kaplamaları gibi bitümlü karışımlarda, temizlik eksikliği de agreganın bağlayıcı ile yapışmasının kaybolmasına ve dolayısıyla sıyrılmasına neden olabilir.

Kumların temizliği birbirini tamamlayan iki testle değerlendirilir.Kum eşdeğeri ve metilen mavisi testi. Bu test iyi sonuç verdiği sürece kum temizdir. Sonuç kötü ise, bunun nedeni flokülantta inert ince parçacıkların (kalsit, kuvars) kazara yakalanması veya fazla kilin varlığı olabilir.Bunu bulmak için, yalnızca kum eşdeğerinin sonucu kötüyse, yalnızca belirli killere bağlanan metilen mavisinin adsorpsiyonuna dayanan sözde mavi testi uygularız (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Metilen mavisi deneyinin uygulanısı

- **Deney araç gereçleri**

- Hassas bir terazi.

- 70 ila 80 mm çapa ve 400 ila 600 dönme hızına sahip bir kanatlı karıştırıcı.

- Plastik veya cam bir beher.

- Bir kronometre.

- Filtre kağıdı

- Numune (30g kumlu agrega).

- 10 g/l'de metilen mavisi tıbbi kalitede bir çözelti.

- Demineralize su (500ml).

Metilen mavisi testi, sıradan kumların 0/2 mm granüler fraksiyonu veya dolgulu kum, çakıl veya bitmemiş malzeme içindeki dolgu maddeleri (0/0.125 mm) üzerinde gerçekleştirilir. Amacı, ince kil tanelerinin varlığını ortaya çıkarmak ve konsantrasyonlarını belirlemektir.

Bir kumun mavi değeri, kumun 1 kg 0/2mm fraksiyonu tarafından adsorbe edilen metilen mavisinin gram cinsinden miktarıdır.

Dolgu maddelerinin mavi değeri, 1 kg 0/0.125 mm agrega (dolgu maddeleri, dolgulu kum, mayınlı çakıl) tarafından adsorbe edilen metilen mavisinin gram cinsinden miktarıdır.

Toprak mavisi değeri, bir solun 100 g 0/4 mm fraksiyonu başına adsorbe edilen metilen mavisinin gram cinsinden miktarıdır. Bu test için malzemenin 0/4 mm fraksiyonu üzerinde çalışıyoruz.

Bu test 0/4 mm parçacık boyutu fraksiyonu üzerinde gerçekleştirilir. Kil fraksiyonunu içeren esas olarak 2 mm'den küçük elementlerdir. Bu fraksiyon metilen mavisine reaksiyonun büyük kısmını verir ve bu nedenle toprağın suya duyarlılığını ölçer.

Test, metilen mavisi moleküllerinin bir test numunesinde (kumlu agrega + su + metilen mavisi) mevcut olduğu varsayılan kil tanecikleri üzerine sabitlenmesinden ve bir filtre kağıdı üzerine bırakılan bir damla süspansiyonun davranışını gözlemleyerek absorpsiyonun kontrol edilmesinden oluşur.

- **Deneyi yapılısı**

Numune Alma: 200 g kumlu agregayı tartın ve 500 ml demineralize su ile plastik veya cam behere koyun.

Karışım kürekli karıştırıcı kullanılarak 600 y/d'da 5 dakika, ardından testler sırasında 400 y/d'da tutulur.

5 ml dozda metilen mavisi enjeksiyonu.

Bu işlem yapıldıktan sonra leke testine geçilir.

Bu test, kil parçacıkları doyana kadar hassas dozlarda metilen mavisi enjekte edilmesini içerir.
Bu testin avantajı, bu doygunluk anının tekrar edilebilmesidir.Bunu yapmak için, maviye batırılmış toprağı içeren beherden bir damla sıvı alınır; bu damla cam çubuk kullanılarak filtre kağıdına bırakılır. 8 ila 12 mm çapında bir dolgu elde edilir. Bunu takiben 2 sonuç mümkündür:

- Mavi merkezi damla renksiz bir bölge ile çevrelenmiştir ve bu sonuç test negatiftir.
- Mavi merkezi damla, açık mavi ile renklendirilmiş bir bölgenin dairesidir, bu sonuçla test pozitiftir.

Hesaplamalarda, metilen mavisi (MB) aşağıdaki Eşitlik (4.6) kullanılarak hesaplanır.

$$MB = \frac{V1}{M1} \text{x } 10 \qquad 4.6$$

MB: Metilen mavisi (MB) (%).

M1: Deneyi numunesi 0/4 mm kütlesi (g).

V1: Eklenen boya çözeltisinin toplam hacmi (mL).

4.4 Beton deneyler

TS EN 12390-3 standartlarına uygun şekilde çalışmamızın amacı, cüruf kullanımının betonun basınç dayanımına etkisini bilmektir. Bunun için farklı cüruf yüzdeleriyle üç test yapılmıştır.

Farklı cüruf yüzdeleri aşağıdaki gibidir:

- Saf Beton (0 % Cüruf)
- Az Cüruf (10 %)
- Orta Cüruf (15 %)
- Kullanılan malzemeler
- tanecikli kum 0/4mm
- tanecikli çakıl 4/12mm
- tanecikli çakıl 12/25 mm
- PÇ 42.5 tipi bir çimento
- ptima 100 tipi adjuvanlar
- Su

Verilen beton bileşimleri kuru agregalar için belirlenmiştir.Bu nedenle, su içeriğinin bir fonksiyonu olarak bileşimlerin ağırlık dozajlarının modifiye edilmesi gereklidir.

Aşağıdaki Çizelge 4.1 saf beton malzemeler gösteriyor.

Çizelge4.1 Saf Beton

DENEY AMACI: SAF C-30/37 DENEME							
							0,023 m³
KARIŞ.%'LERİ	MALZEMELER	1 m3'deki Mik.	RUT.	SU EMMESİ	FARK	DÜZ.DEĞ.	
	PÇ-42.5	300	…				6,900 Kg
	Cüruf	0					0,000 Kg
	SU	165			2.5% rutubet	137	3,151 Kg
0	DERE KUMU	0					0,000 Kg
51	0-4 mm TAŞ TOZU	1133			0,00	0	26,059 Kg
16	4-12 mm Mıcır	271		0			6,233 Kg
33	12-22 mm Mıcır	526		0			12,098 Kg
1,2%	Kimyasal Katkı	3,6					0,083 Kg
	Kıvam ayarlayıcı						0,000 Kg
BİRİM AĞIRLIK		2399	TOPLAM	2370,6			54,524 Kg

Aşağıdaki Çizelge 4.2 az cüruf betonu malzemeler gösteriyor.

Çizelge 4.2 Az Cüruf

DENEY AMACI: AZ CÜRUF C-30/37 DENEME								
KARIŞ.%'LERİ	MALZEMELER	1 m3'deki Mik.	RUT.	SU EMMESİ	FARK	DÜZ.DEĞ.	0,023	m3
	PÇ-42.5	300	…				6,900	kg
	Cüruf	40					0,920	kg
	SU	165			0.4% rutubet	158	3,643	kg
0	DERE KUMU	0					0,000	kg
51	0-4 mm TAŞ TOZU	1112			0,00	0	25,576	kg
16	4-12 mm Mıcır	266		0			6,118	kg
33	12-22 mm Mıcır	516		0			11,868	kg
1,2%	Kimyasal Katkı	4,08					0,094	kg
	Kıvam ayarlayıcı						0,000	kg
BİRİM AĞIRLIK		2403	TOPLAM	2396,5			55,119	kg

Aşağıdaki Çizelge 4.3 orta cüruf betonu malzemeler gösteriyor.

Çizelge 4.3 Orta Cüruf

DENEY AMACI: ORTA CÜRUF C-30/37 DENEME								
							0,023	m 3
KARIŞ.%'LERİ	MALZEMELER	1 m3'deki Mik.	RUT.	SU EMMESİ	FARK	DÜZ.DEĞ.		
	PÇ-42.5	300	…				6,900	kg
	Cüruf	80					1.840	kg
	SU	165			0.4% rutubet	158	3,643	kg
0	DERE KUMU	0					0,000	kg
51	0-4 mm TAŞ TOZU	1112			0,00	0	25,070	kg
16	4-12 mm Mıcır	266		0			6,003	kg
33	12-22 mm Mıcır	516		0			11,638	kg
1,2%	Kimyasal Katkı	4,08					0,105	kg
	Kıvam ayarlayıcı						0,000	kg
BİRİM AĞIRLIK		2407	TOPLAM	2399,96			55,119	kg

- **Beton karıştırma**

Bileşenler şu sırayla verilir: çakıl, bağlayıcı, kum, cüruf. Susuz karışım 30 saniye karıştırılır.Daha sonra karışım suyunu ilave edin ve yaklaşık 60 saniye karıştırın.Son olarak, süperakışkanlaştırıcıyı tanıtın ve karıştırıcıyı 60 saniye daha çalıştırın.Aşağıdaki Şekil 4.5 karıştırma işlemini göstermektedir.



Şekil 4.5 Beton karıştırma

4.4.1 Slump (Çökme) deneyi

TS 206-1 standartlarına uygun şekilde, beton çökme testi, betonun işlenebilirliği veya akışkanlığının bir ölçüsüdür.Betonun kıvamının veya sertliğinin dolaylı bir ölçüsüdür.Slump testi, betonun kıvamını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir.Tutarlılık veya sertlik, karışımda kullanılan su miktarını gösterir.Beton karışımının sertliği, bitmiş ürünün kalite gereksinimlerine göre uyarlanmalıdır.

- **Deney araç gereçleri**

Çökme testi kalıbı, yani çökme konisi, gözeneksiz taban plakası, ölçüm ölçeği, temperleme çubuğu. Test kalıbı, yüksekliği 30 cm, alt çapı 20 cm ve üst çapı 10 cm olan kesik koni şeklindedir. Sıkıştırma çubuğu, 16 mm çapında ve 60 cm uzunluğunda çelikten yapılmıştır ve bir ucu yuvarlatılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Slump (Çökme) deneyi

- **Beton slump testi prosedürü:**

Beton çökme testi için kalıp, 30 cm yüksekliğinde kesik bir konidir.Tabanın çapı 20 cm ve üstte 10 cm daha küçük bir açıklığa sahiptir.Taban düz bir yüzeye serilir ve kap, işlenebilirliği test edilecek olan üç katman halinde betonla doldurulur.Her katman, sonunda yuvarlatılmış standart bir 16mm çaplı çelik çubukla 25 kez daldırılır.Kalıp tamamen betonla dolduğunda, tavlama çubuğunun eleme ve yuvarlama hareketi ile üst yüzey düzleştirilir (üst kalıp açıklığı ile düzleştirilir).Kalıp, işlem boyunca beton dökülmesinden dolayı hareket etmeyecek şekilde tabanına sıkıca tutulmalıdır ve bu, kalıba lehimlenmiş tutamaklar veya ayaklıklar vasıtasıyla yapılabilir.Doldurma tamamlandıktan ve beton tesviye edildikten hemen sonra, koni dikey olarak yavaş ve dikkatli bir şekilde kaldırılır, artık desteksiz beton parçalanacaktır.Çökme betonunun merkezinin yüksekliğindeki azalmaya çökme denir.Çökme, koninin çöken betonun hemen yanına yerleştirilmesiyle ölçülür ve oturma çubuğu, çöken betonun üzerine de gelmesi gerekir şekilde koni üzerine yerleştirilir.Betonun kalıba göre yüksekliğindeki azalma skala ile not edilir. (genellikle en yakın 5 mm'ye kadar ölçülür).

4.4.2 Betonun basınç dayanımı deneyi

TS EN 12390-3 standartlarına uygun şekilde bu test, deforme olmayan bir yüzey üzerinde duran bir numuneye bir sıkıştırma kuvveti uygulanmasından oluşur.Bu stres numunenin ezilmesine neden olur.

Gerilmeler ve sıkıştırma kuvveti, test sırasında aynı anda ölçülür.

Sıkıştırmada karşılaştırmalı sonuçlar elde etmek için, aynı şekil, boyut ve üretim yöntemine sahip numunelerin kullanılması ve bunları iyi tanımlanmış ön işlem, sıcaklık, nem ve yükleme hızı koşulları altında testlere tabi tutması gerekir.

- **Deney araç gereçleri**

- küçük inşaat ekipmanları: kovalar, kürekler, el arabaları, fırçalar
- Kübik şekilli numuneler 15 × 15 × 15 cm ölçülerinde olmalıdır.
- tesviye için cetvel.
- titreşimli bir iğne
- bir kronometre
- koruyucu ızgaralı tekerlekler üzerinde yatay bir karıştırıcı
- 50 kg kapasiteli, hassas 10 g tartı
- tartmak için plastik bidonlar

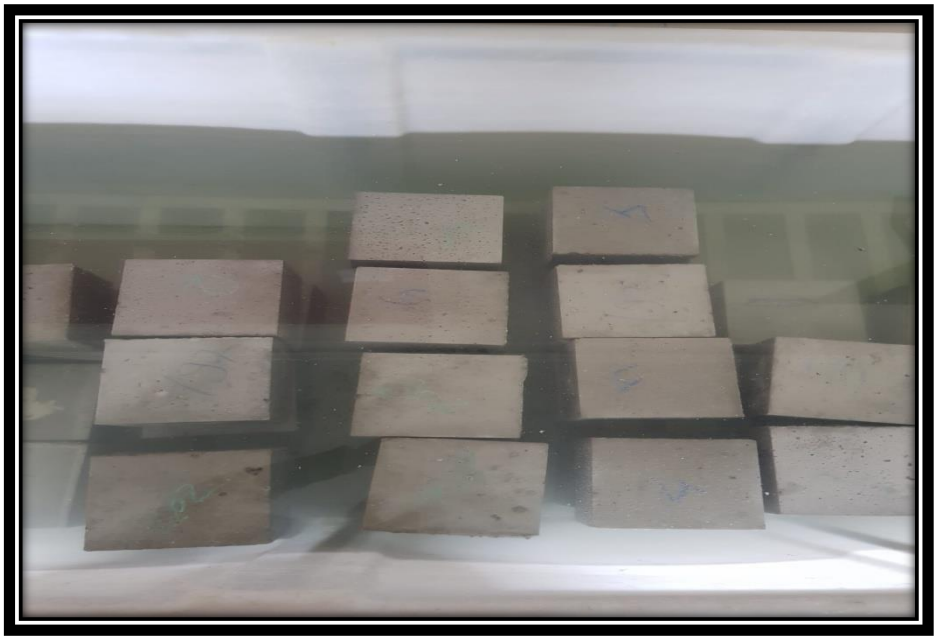
- bir kepçe eli

- **Betonun basınç dayanımı prosedürü.**

Hazırlanan beton karışımını döküm için küp kalıba yerleştirin.Sertleştikten 24 saat sonra beton küpü kalıptan çıkarın.Test numunelerini öngörülen süre boyunca su altında tutun.Belirtildiği gibi numune 3 veya 7 veya 28 gün suda tutulmalı ve her 7 günde bir su değiştirilmelidir. Aşağıdaki Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 koruma işlemini göstermektedir.



Şekil 4.7 Beton dökülme



Şekil 4.8 Su içinde beton küp depolama

Laboratuvarda elektrikli preste basit sıkıştırma testleri yapılır.

Bir mikrobilgisayar tarafından kontrol edilen **IBERTEST**. Maksimum kapasitesi 1000 KN'dir. Basınç testleri için programlanmıştır ve bu, test gövdelerinin farklı boyutları (silindirik veya kübik numuneler vb.) için programlanmıştır. Kuvvet ve gerinim değerleri doğrudan makine ekranından okunur. Testin amacı, sıkıştırmaya karşı direnci bilmektir. İncelenen numune, arızalanana kadar artan bir yüke maruz bırakılır.

Testin prensibi, numunenin presin iki plakası arasında ayarlanmasından ibarettir. Alt plaka sabitlenirken, numunenin yerleştirildiği üst plaka hareketlidir. Yükselterek, test parçasının gövdesi alt plakaya doğru ezilir. Kuvvet, sabit, bilgisayar kontrollü bir yükleme hızında kademeli olarak uygulanır.

Böylece sıkıştırma testi tamamlanmış olur. Maksimum yük **N**, kırılma tetiklenir tetiklenmez verilir. Bu maksimum yük, bu yükün numunenin **S0** kesitine oranı olarak elde edilen **σ** direncini, yani **N/S0** oranını belirlemek için kullanılacaktır (Şekil 4.9).

$$\sigma = \frac{N}{S0} \qquad 4.6$$

N: Maksimum yük

S0: Yüzey alanı.

σ : Direnci



Şekil 4.9 Beton kırılması

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölüm , betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine ilişkin test programının sonuçlarını sunar. Ayrıca kimyasal katkının etkisi ve cüruf kullanımının betonun basınç dayanımına etkisinin deneysel olarak incelenmesi.

5.1 Elek Analizi Deneyi Sonuçları

TS EN 933-1 standardına göre granülometrik analiz olan bu test, agrega çapının dağıtılmasından oluşmaktadır.Bu testin sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 5.1 İri Agrega 12/25 Sonuçları

UYGUNLUK DEĞERLENDİRME						
Agrega Tane Büyüklüğü (mm)		Elekten Geçen Kütlece %				
		2D	1.4D	D	d	d/2
İri Agrega Gc 85/20 D/d<2, D<25 D/d>2, d>12	Std. İstenen	100	98-100	85-99	0-20	0-5
	Bulunan	100	100	95	3	0
		UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN

Çizelge 5.1 iri agrega: 12/25 uygun olarak seçilen iri agrega, Gc 85/20'ye kategorisi uygundur.

Çizelge 5.2 İri Agrega 4/12 Sonuçları

UYGUNLUK DEĞERLENDİRME						
Agrega Tane Büyüklüğü (mm)		Elekten Geçen Kütlece %				
		2D	1.4D	D	d	d/2
İri Agrega Gc 85/20 D/d<2, D<12 D/d>2, d>4	Std. İstenen	100	98-100	85-99	0-20	0-5
	Bulunan	100	100	96	2	0
		UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN

Çizelge 5.2 iri agrega: 4/12 uygun olarak seçilen iri agrega, Gc 85/20'ye kategorisi uygundur.

Çizelge 5.3 İnce Agrega 0/4 Sonuçları

UYGUNLUK DEĞERLENDİRME						
Agrega Tane Büyüklüğü (mm)		Elekten Geçen Kütlece %				
		2D	1.4D	D	d	d/2
İnce Agrega Gf 85 D≤4 mm, d=0	Std. İstenen	100	95-100	85-99	….	….
	Bulunan	100	100	97	….	….
		UYGUN	UYGUN	UYGUN		

Çizelge 5.3 ince agrega: Üst elek göz açıklığına (D) uygun olarak seçilen ince tane sınıfı kategorisi GF 85'e uygundur.

5.2 Ozgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonuçları

TS EN 1097-6'ya göre hazırlanan deney numuneleri üzerinde yapılan deneyler sırasında ince agregalar için Çizelge 5.6 ve iri agregalar için Çizelge 5.4, Çizelge 5.5'da yoğunluk ve su emme değerleri bulunmuştur.

Betonda yoğunluğu 2,55 mg/m3'ten az olan agregaların seçilmesi dayanım ve dayanıklılık açısından avantajlıdır. Normal agreganın özgül ağırlığı 2,50 ile 2,70 mg/m3 arasında olmalıdır. Bulunan değerler ince agrega için 2,68 mg/m³, iri agrega için 2,69 mg/m³, 2,67 mg/m³ olup, standarda uygunluğu kanıtlanmıştır.

Agregalar için su emme oranı değeri %0,30 ile %1,20 arasındadır. Çalışmada üretilen tüm agregaların yoğunlukları ve su emme oranları sınır değerler içinde kalmıştır.

Çizelge 5.4 Kaba agreganın özgül ağırlığı ve absorbsiyonu

			12-25 mm KIRMA AGREGA		
DENEY NUMUNESİNİN			1.deney	2.deney	3.deney
M1=	Doygun ve havada kurutulmuş malzeme kütlesi gr.		1054,4	1054,4	1054,4
M2=	Piknometrenin + Deney numunesi + Su kütlesi gr.		2188,7	2188,7	2188,7
M3=	Piknometrenin + Su kütlesi gr.		1526,1	1526,1	1526,1
M4=	Etüvde Kurutulmuş Deney numunesinin gr.		1045,2	1045,2	1045,2
	Özgül Ağırlığı ve Su Emme Oranı		1.deney	2.deney	3.deney
Pa=	M4 / M4-(M2-M3)	:Görünür Tane Yoğunluğu	2,73	2,73	2,73
			Ortalama: 2.73		
Prd=	M4 / M1-(M2-M3)	:Kuru Tane Yoğunluğu	2,64	2,58	2,73
			Ortalama: 2.65		
Pssd=	M1 / M1-(M2-M3)	:Doygun kuru yüzey tane yoğunluğu	2,69	2,69	2,69
			Ortalama: 2.69		
WA24=	100*(M1-M4) / M4	:Su emme oranı	0,88	0,88	0,88
			Ortalama: 0.88		

Çizelge 5.5 Orta agreganın özgül ağırlığı ve absorbsiyonu

			4-12 mm KIRMA AGREGA		
DENEY NUMUNESİNİN			1.deney	2.deney	3.deney
M1=	Doygun ve havada kurutulmuş malzeme kütlesi gr.		756,8	756,8	756,8
M2=	Piknometrenin + Deney numunesi + Su kütlesi gr.		1999	1999	1999
M3=	Piknometrenin + Su kütlesi gr.		1526,1	1526,1	1526,1
M4=	Etüvde Kurutulmuş Deney numunesinin gr.		749	749	749
Özgül Ağırlığı ve Su Emme Oranı			1.deney	2.deney	3.deney
Pa=	M4 / M4-(M2-M3)	:Görünür Tane Yoğunluğu	2,71	2,71	2,71
			Ortalama: 2.71		
Prd=	M4 / M1-(M2-M3)	:Kuru Tane Yoğunluğu	2,64	2,64	2,64
			Ortalama: 2.64		
Pssd=	M1 / M1-(M2-M3)	:Doygun kuru yüzey tane yoğunluğu	2,67	2,67	2,67
			Ortalama: 2.67		
WA24=	100*(M1-M4) / M4	:Su emme oranı	1,04	1,04	1,04
			Ortalama: 1.04		

Çizelge 5.6 İnce agreganın özgül ağırlığı ve absorbsiyonu

			0-4 mm TAŞ TUZU		
DENEY NUMUNESİNİN			1.deney	2.deney	3.deney
M1=	Suya Doygun Yüzeyi Kurutulmuş malzeme kütlesi gr.		367,4	1068	1068
M2=	Piknometrenin + Deney numunesi + Su kütlesi gr.		1757,1	4018	4018
M3=	Piknometrenin + Su kütlesi gr.		1526,1	3348,0	3348,0
M4=	Etüvde Kurutulmuş Deney numunesinin gr.		362,4	362,4	362,4
Özgül Ağırlığı ve Su Emme Oranı			1.deney	2.deney	3.deney
Pa=	M4 / M4-(M2-M3)	:Görünür Tane Yoğunluğu	2,76	1,18	1,18
			Ortalama: 1.70		
Prd=	M4 / M1-(M2-M3)	:Kuru Tane Yoğunluğu	2,66	0,91	0,91
			Ortalama: 1.49		
Pssd=	M1 / M1-(M2-M3)	:Doygun kuru yüzey tane yoğunluğu	2,69	2,68	2,68
			Ortalama: 2.68		
WA24=	100*(M1-M4) / M4	:Su emme oranı	1,00	1,03	1,29
			Ortalama: 1.10		

5.3 Metilen Mavisi Deneyi Sonuçları

TS EN 933-9 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Metilen mavisi testi sonunda bulunan değer Çizelge 5.7'de verilmiştir. Metilen mavisi testi standartta belirtilen maksimum değere sahip değildir. Bu çalışmada, agrega olarak kullanılan 0 ile 2 mm arasında değişen ince agregalar için MB 0.75 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.7 Metilen Mavisi deneyi sonuçu

mm'lik deney numunesi kısmının kuru kütlesi (en yakın gram olarak). M1	M1= 200g
Kaolinit tarafından (eğer kullanılmışsa) adsorplanan çözeltinin hacmi. V′	V'= 0mL
İlâve edilen boya çözeltisinin toplam miktarı.V1	V1=15mL
mm aralığının beher kilogramı başına gram cinsinden boya miktarı olarak ifade edilen MB değeri.	MB=0.75

5.4 Beton Deneyler Sonuçları

5.4.1 Slump (Çökme) deneyi sonuçları

Aşağıdaki Çizelge 5.8 Çökme deneyi sonuçları gösteriyor

Çizelge 5.8 Slump deneyi sonuçları

DENEYLER	**SLUMP (Çökme) cm**
Deney 1	10
Deney 2	12
Deney 3	13

Sonuçların analizine dayanarak, testler somut işlenebilirlik standardına girer.

5.4.2 Betonun basınç dayanımı deneyi sonuçları

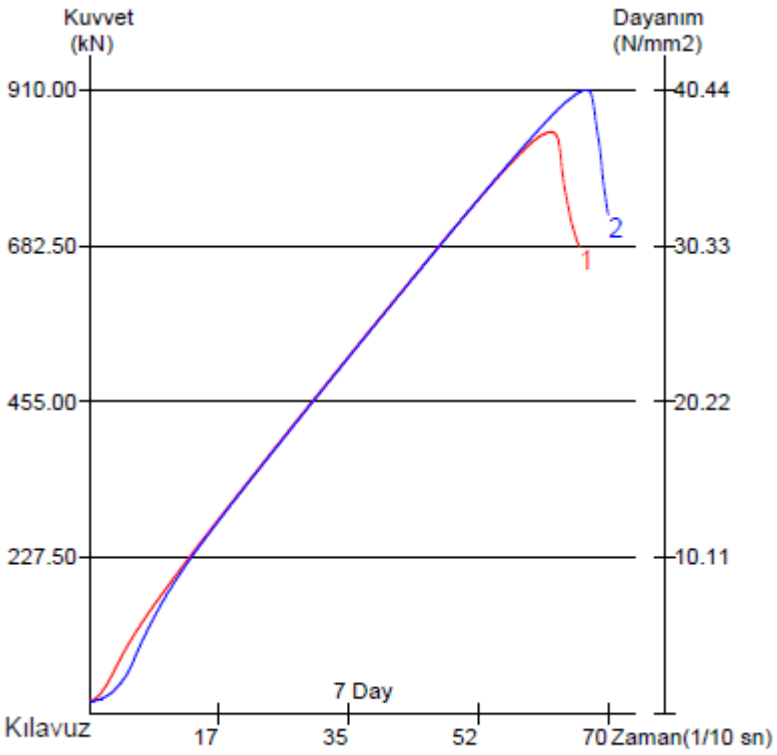
150x150x150mm boyutlarında beton küpler, çeşitli oranlarda yüksek fırın cürufu kullanılarak yapılmıştır. Betonlarda kullanılan cüruf yüzdeleri %0, %10, %15 olup küpler sırasıyla S2, S3 ile temsil edilirken, S1 kontrol betonunu ifade etmektedir. Küpler, TS EN 12390-3'e göre 3, 7 ve 28 gün boyunca basınç dayanımı için test edilmiş ve sonuçlar tablolarda verilmiştir.

- **3gün boyunca sertleşme.**

Çizelge 5.9 betonun 3 gündeki basınç dayanımı sonucunu göstermektedir.Bu, artan cüruf yüzdesi ile basınç dayanımının arttığını açıkça göstermektedir.3 gün kaydedilen maksimumbasınç dayanımı değeri 31.84 N/mm² basınç dayanımı ile %15 cüruftur.

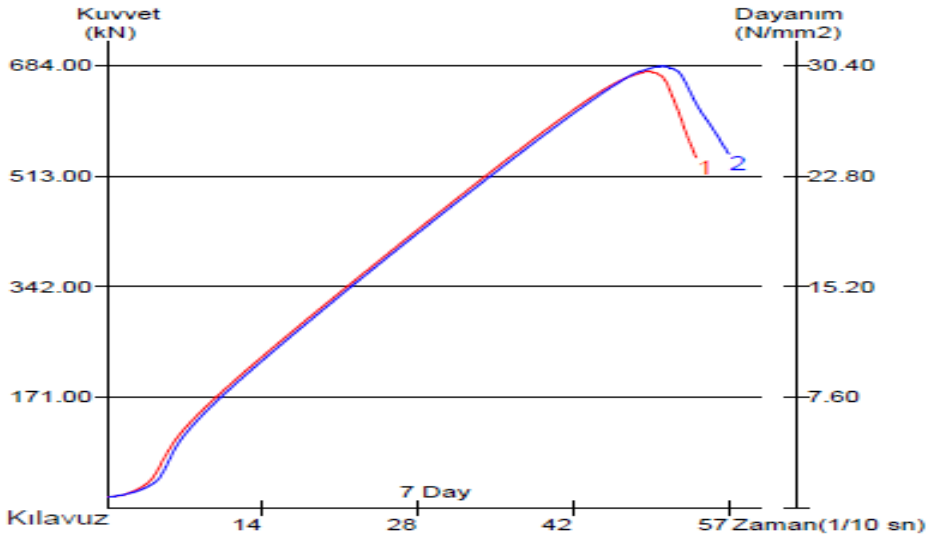
Çizelge 5.9 3gün Beton basınç dayanımı Sonuclaraı

CÜRUF YÜZDESİ.	**BASINÇ DAYANIMI N/mm²**		**ORTALAMA BASINÇ DAYANIMI N/mm²**
Cüruf 0 %	30.68	29.07	29.88
Cüruf 10%	29.97	30.34	30.15
Cüruf 15%	31.27	32.40	31.84



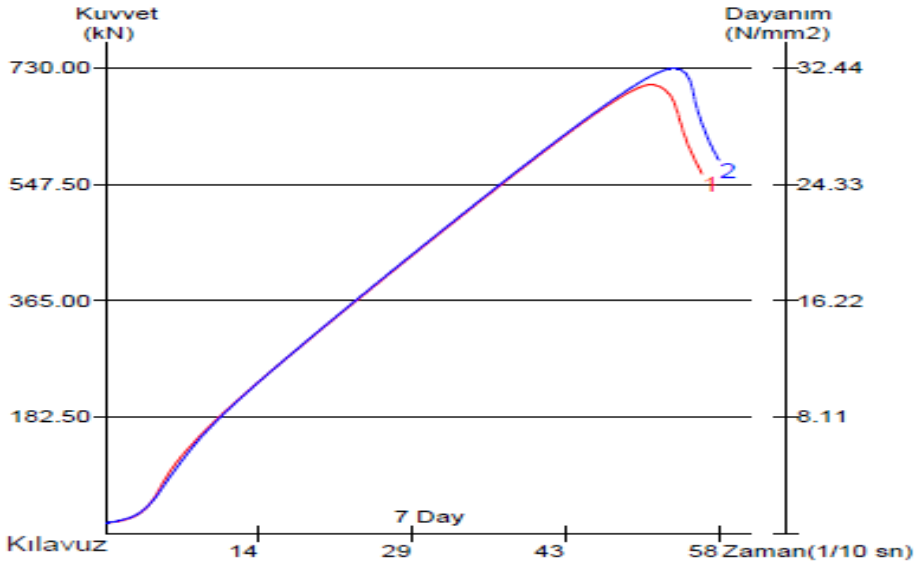
Şekil 5.1 3gün boyunca sertleşme saf (Cüruf 0 %)

Bunu gösteriyor gibi Şekil 5.1 %0 cüruf oranı ile betonun 3 gündeki basınç dayanımını.



Şekil 5.2 3gün boyunca sertleşme (Cüruf 10 %)

Bunu gösteriyor gibi Şekil 5.2 %10 cüruf oranı ile betonun 3 gündeki basınç dayanımını.



Şekil 5.3 3gün boyunca sertleşme (Cüruf 15 %)

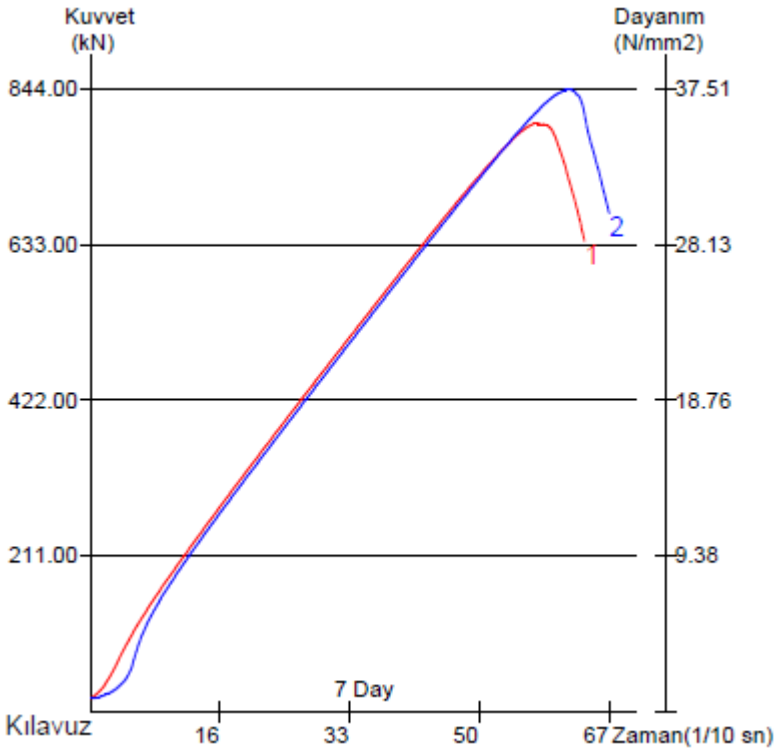
Bunu gösteriyor gibi Şekil 5.3 %15 cüruf oranı ile betonun 3 gündeki basınç dayanımını.

- **7gün boyunca sertleşme.**

Çizelge 5.10 betonun 7 gündeki basınç dayanımı sonucunu göstermektedir. Bu, artan cüruf yüzdesi ile basınç dayanımının arttığını açıkça göstermektedir.7 gün kaydedilen maksimumbasınç dayanımı değeri 39.82 N/mm² basınç dayanımı ile %15 cüruftur.

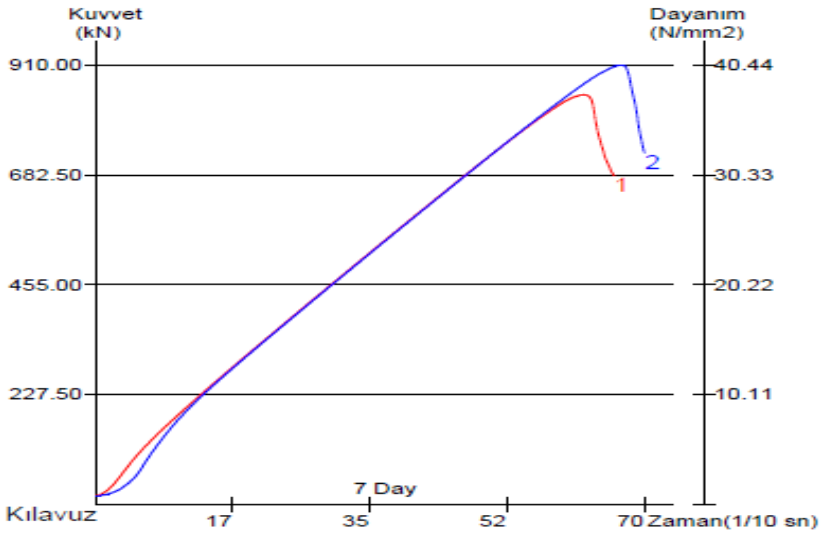
Çizelge 5.10 7gün Beton basınç dayanımı Sonuclaraı

CÜRUF YÜZDESİ.	**BASINÇ DAYANIMI N/mm²**		**ORTALAMA BASINÇ DAYANIMI N/mm²**
Cüruf 0 %	35.40	37.48	36.44
Cüruf 10%	37.72	40.44	39.08
Cüruf 15%	39.33	40.30	39.82



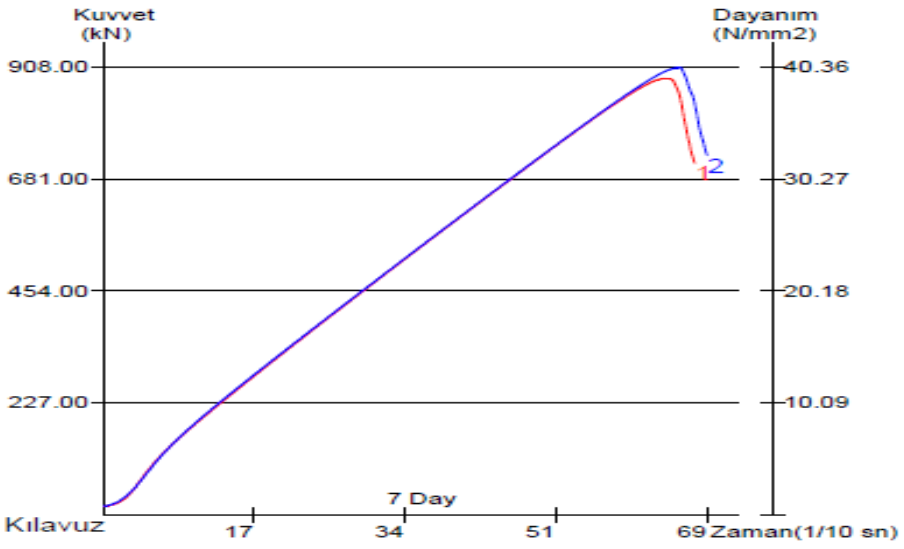
Şekil 5.4 7gün boyunca sertleşme saf (Cüruf 0 %)

Bunu gösteriyor gibi Şekil 5.4 % 0 cüruf oranı ile betonun 7 gündeki basınç dayanımını.



Şekil 5.5 7gün boyunca sertleşme (Cüruf 10%)

Bunu gösteriyor gibi Şekil 5.5 % 10 cüruf oranı ile betonun 7 gündeki basınç dayanımını.



Şekil 5.6 7gün boyunca sertleşme (Cüruf 15 %)

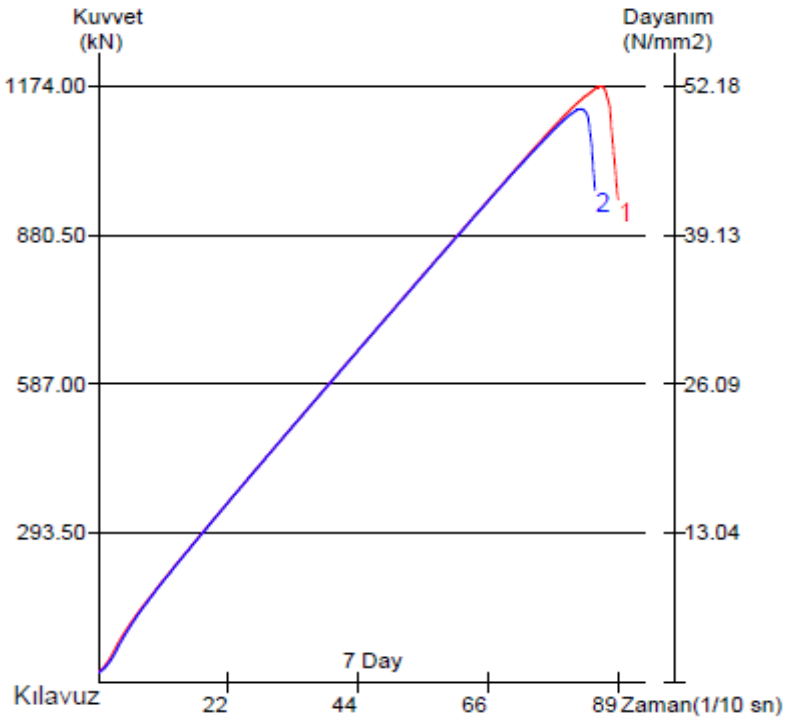
Bunu gösteriyor gibi Şekil 5.6 % 15 cüruf oranı ile betonun 7 gündeki basınç dayanımını.

- **28 gün boyunca sertleşme.**

Çizelge 5.11 betonun 28 gündeki basınç dayanımı sonucunu göstermektedir.Bu, artan cüruf yüzdesi ile basınç dayanımının arttığını açıkça göstermektedir. 28 gün kaydedilen maksimumbasınç dayanımı değeri 54.26 N/mm² basınç dayanımı ile %15 cüruftur.

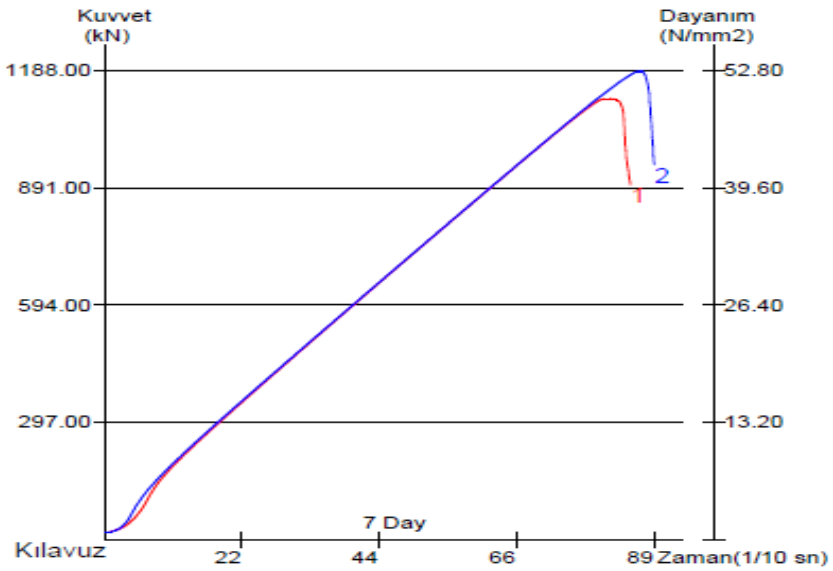
Çizelge 5.11 28gün Beton basınç dayanımı Sonuclaraı

CÜRUF YÜZDESİ.	**BASINÇ DAYANIMI N/mm²**		**ORTALAMA BASINÇ DAYANIMI N/mm²**
Cüruf 0 %	52.14	50.19	51.16
Cüruf 10%	49.64	52.72	51.18
Cüruf 15%	55.75	52.78	54.26



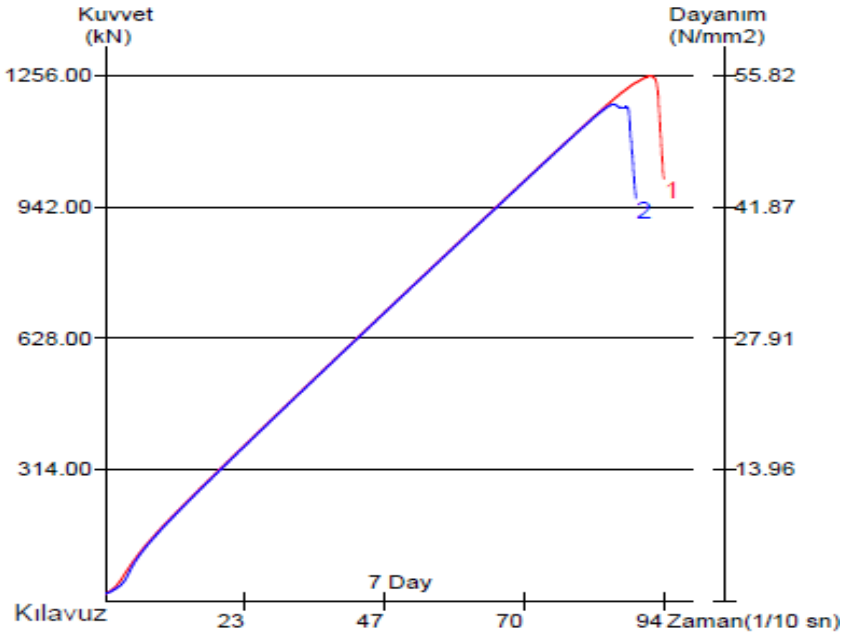
Şekil 5.7 28gün boyunca sertleşme saf (Cüruf 0 %)

Bunu gösteriyor gibi Şekil 5.7 % 0 cüruf oranı ile betonun 28 gündeki basınç dayanımını.



Şekil 5.8 28gün boyunca sertleşme (Cüruf 10 %)

Bunu gösteriyor gibi Şekil 5.8 % 10 cüruf oranı ile betonun 28 gündeki basınç dayanımını.



Şekil 5.9 28gün boyunca sertleşme (Cüruf 15 %)

Bunu gösteriyor gibi Şekil 5.9 % 15 cüruf oranı ile betonun 28 gündeki basınç dayanımını.

Cüruf kullanımının betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemek için üç cüruf karışımı test edildi. Yukarıdaki sonuçların yorumları şu şekilde özetlenebilir:

Cüruf ilavesinin, ortam koşulları altında kürlendiğinde basınç dayanımında önemli bir artışa neden olduğu bulundu.

Sertleşmiş betonun kırılması sonuçlarında görülebilir, Karışımdaki cüruf ikame yüzdesi basınç dayanımında daha iyi bir artış göstermiştir.

Beton kırma sonuçlarının analizinden, betonun kırılmasının 3. günü, 7. günü ve 28. gününde cürufun yüzde 15'inin direnç sıkıştırması ile en yüksek basınç dayanımı olduğu fark edilmiştir 3 gün için 31,84 N/mm², 7 gün için 39,82 N/mm² ve 28 gün için 54,26 N/mm².

Tezimin amacı, cüruf kullanımının betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemektir. Bu amaçla cüruf ve Portland çimentosu kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada, farklı yüzdelerde cüruf ile üç deney yapıldığını, karışımda %0, %10 ve %15 cüruf kullanıldığını unutmayın. Betonun 3 gün, 7 gün, 28 günlük basınç dayanımı TS 12390-3'e göre belirlenir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, TS 12390-3 standardı uygulanarak elde edilen beton basınç dayanımı sonuçlarının sapmaları, %10 cüruf sonucu %0 cüruftan daha yüksek ve %15 cüruf sonucu elde edilmiştir %10'tan fazla cüruf.

Dolayısıyla, yaptığımız sonuçların kanıtlanmış bir analizini yaptıktan sonra, betonun direncini arttırdığı için cürufun betonda kullanılmasının tavsiye edildiği sonucuna vardık; beton karışımındaki cüruf miktarı arttıkça betonun mukavemeti de artar.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tezde, cüruf kullanımının betonun basınç dayanımına etkisi üzerine deneysel bir çalışma yaptık.cüruf kullanılarak üç beton karışımı hazırlanmıştır. Beton karışımında kullanılan cüruf yüzdesi %0, %10, %15'tir. Daha sonra betonların taze ve sertleşmiş özelliklerini belirlemek için testler yapılmıştır.

Son olarak betonların taze ve sertleşmiş özellikleri belirlendi.Taze özellikler, hazırlanan betonların kıvamlarını içermektedir.Kürlenmiş özellikler, üretilen betonların 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanım testlerini içermektedir.

Çalışmada gerçekleştirilen deney sonucunda uyguladığımız agregaların numune özgül ağırlığı değerleri 2,67 mg/m³, 2,68 mg/m³ ve 2,69 mg/m³ olmuştur. TSEN 1097-6 standartlarına göre uygun bulunmuştur.

Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız agrega numunesinin su emme oranı değerleri %0,88, %1,04 ve %1,10 olarak bulunmuştur. TS EN 1097-6 standartlarına göre uygun bulunmuştur.

Çalışmada yapılan deney sonucunda betonun 3 günlük maksimum basınç dayanımı %15 cüruf oranı ile 31.84 N/mm²'dir.TS EN 12390-3 standartlarına göre uygun bulunmuştur.

Çalışmada yapılan deney sonucunda betonun 7 gündeki maksimum basınç dayanımı %15 cüruf oranı ile 39.82 N/mm²'dir.TS EN 12390-3 standartlarına göre uygun bulunmuştur.

Çalışmada yapılan deney sonucunda betonun 28 gündeki maksimum basınç dayanımı %15 cüruf oranı ile 54.26 N/mm²'dir.TS EN 12390-3 standartlarına göre uygun bulunmuştur.

Betonun basınç dayanımı üzerinde yapılan testlerin sonuçlarının beton karışımındaki cüruf oranını artırarak daha da arttığını not ediyoruz.Yani %15 cüruf içeren beton karışım numunelerinin basınç dayanımı %0 ve %10 cüruftan daha yüksektir.

Bu nedenle, beton basınç dayanımını arttırdığı için beton karışımında cüruf kullanılması önerilir.

KAYNAKLAR

Ahmet, O. K. 2014. Esnek üstyabıların aşınma tabakasında elektrik ark fırınıı cürufunun agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Universitesi, 115 sayfa, İstanbul.

Abdullah, Ü. 2014. Comparison of test methods on the compressive strength pf slag and natural pozzolan cements. Yüksek Lisans Tezi, 69 pages, Ankara.

Aziz, G. 2007. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun betonun durabilite özelliklerinin etkisi.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Universitesi, 156 sayfa, Istanbul.

Bülent, Ç. 2008.Çimento harcında yüksek fırın cürufunun basınç dayanımına etkisi.Yüksek Lisans Tezi,Gazi Universitesi, 70 sayfa, Ankara.

Brooks, J., Megat, J., &Mazloom, M. 2000. Effect of admixtures on the setting times of high-strength concrete. Cement and Concrete Composites, 22(4): 293-301.

Binici, H., Çağatay, İ., & Kaplan, H. 2000. Değişik Faktörlerin Beton MukavemetineEtkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi MühendislikFakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2-3): 200-209.

Cahit, B. 2006. Yüksek fırın cürufu katkısının çimento tabanlı malzemelerde kullanılabilirliği. Doktora Tezi, Cukurova Universitesi, 205 sayfa, Adana.

Chan, S., Luo, X., &Sun, W. 2000.Effect of high temperature and coolingregimes on the compressive strength and pore properties of high performanceconcrete.Construction and Building Materials, 14(5): 261-266.

Deeman, T. 2021. Mechanical and durability properties of the geopolymer paste produced with ground granulated blast furnace slag and pumice powder. Yüksek Lisans Tezi,Van Yuzuncu Yil University, 124 pages, Van.

Escalante, J. I. 2001. Reactivity of blast furnace slag in portland cement blends hydrated under different conditions. Cement and Concrete Research, 31(10): 1403-1409.

Erdogdu, K., Tokyay, M., Türker, P. 1999. Comparison of intergrinding and separate grinding for the production of natural pozzolan and GBFS-incorporated blended cements.Cement and Concrete Research, 29(5): 743-746.

Enver, B. 2002.Beton basınç dayanımı ile elastisite modülü arasindaki ilişkiler.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Universitesi, 79 sayfa, Istanbul.

Erdinç, A. 2009. A study on the early-strength improvement of slag cements. Master Thesis, Middle East Techical University, 64 pages, Ankara.

Fatih, B. 2007.Use of ground clay brick as a supplementary cementitious material in concrete -hydration characteristics, mechanical properties, and ASR durability. Doktora Tezi, Iowa State University, 143 pages, Ames.

Haque, M. and Kayyali, O. 1989.Strength and porosity of hardened cement-fly ash pastes in hot environment. ACI Materials Journal, 86(2): 128-134.

Helin, K. 2010. Yüksek fırın cürufu katkılı betonda su/çimento oranının etkinlik katsayısına ve kırılma parametrelerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Universitesi, 75 sayfa, Istanbul.

Huiwen, W., Zhonghe, S., &Zongshou, L. 2004.Analysis of geometriccharacteristics of GGBS particles and their influences on cement properties. Cement and Concrete Research, 34(1): 133-137.

Hidayet, T. 2008.Yüksek fırın cürufunun kendiliginden yerleşen betonlara etkileri.Yüksek Lisans Tezi, Sayarya Üniversitesi, 58 sayfa, Sakarya.

Hasan, M. 2006. Deniz suyu ve sülfatlı suların beton dayanımına etkisi.Yüksek Lisans Tezi,Sakarya Üniversitesi, 138 sayfa, Sakarya.

İsmail. E. 2010. Silex ve tars katkılı harç ve beton karışımlarının mekanik ve fizisel özelliklerinin karşılastırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Universitesi, 67 sayfa, Istanbul.

Khatib, J. and Hibbert, J. 2005. Selected engineering properties of concrete incorporating slag and metakaolin.Construction and Building Materials. 19(6): 460-472.

Luke, K. and Glasser, P. 1988. Internal chemical evolution of the constitution of blended cements, Cement and concrete research, 18(4): 495-502.

Mem, Ç. 2020.Nano boyutlu taneciklerin kullanımıyla yüksek hacimde Yüksek fırın cürufu içeren katkılı çimento tasarımı.Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, 109 sayfa, Batman.

Muhammet, T. 2021. Yüksek fırın cürufu içeren betonda sıcak kür yöntemi ile erken dayanım elde edilmesi.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Universitesi, 69 sayfa, Istanbul.

Olcay, K. 2010. Yüksek fırın cüruflunun beton perfermonsına ve klor gecirimliliğine etkilerinin incelenmesi.Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 50 sayfa, Sakarya.

Öner, M. 2000. A study of intergrinding and separate grinding of blast furnace slag cement. Cement and Concrete Research, 30(3): 473-480.

Öner, M. 2001. Yüksek fırın cüruflarının çimento üretiminde kullanımında öğütmeyle ilgili parametrelerin etkilerinin belirlenmesi. Yerbilimleri, 23(0): 61-69.

Özgür, Ç. 2006.Yüksek Fırın Cürufunun betonun ve betonarmenin kalıcılığına (Dürabulitesine) etkisi.DoktoraTezi, Yildiz Teknik Universitesi, 153 sayfa, Istanbul.

Postacıoğlu, B. 1986.Bağlayıcı maddeler, Cilt 1.Teknik Kitaplar Yayınevi, 175 sayfa, İstanbul.

Recep, Ü. 2020.Kendiliğinden yerleşen betonlarda ince agreganın oğütülmüş yüksek fırın cürufu ile yerdeğiştirmesinin beton özelliklerine etkisi.Yüksek Lisans Tezi, Kocali Üniversitesi, 71 sayfa, Kocali.

Roy, M. 1987. Hydration of blended cement containing slag, fly ash, or silica fume, Proc Of Meeting Institute Of Concrete Technology, Coventry, UK, pp29, 29.

Rai, A. 2002. Metallurgical slag as a component in blended cement. Construction and Building Materials, 16(8): 489–494.

Ramezanianpour, A. 1995. Effect of curing on the compressive strength, resistance to chloride-ion penetration and porosity of concretes ıncorporating slag, fly ash or silica fume. Cement& Concrete Composites, 17(2): 125-133.

Sadullah, U. 2015. Yeni nesil yüksek fırın cüruflu CEM III B - C TİPİ çimentoların yüksek sülfatlı ortamlarda performansı iller bankası anonim şirketi. Yüksek Lisans Tezi,İller Bankası Anonim Şirketi 80 sayfa, Ankara.

Selçuk, U. 2012. Agrega granülometrisinin beton bileşimindeki teorik malzeme miktarları ile betonun kompasite ve porozite değerleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik, 8(1): 1-15.

Selin, K. 2021. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu bazlı geopolimer betonların %5 sülfürik asit ortamında mekanik özelliklerinin ve kimyasal durabilitesinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Gelişim Universitesi, 62 sayfa, Istanbul.

Shailza, S. 2018. Effectiveness of a natural pozzolanic material from southern saskatchewan for cement replacement in concrete. Yüksek Lisans Tezi, Geological and Environmental Engineering University of Saskatchewan Saskatoon, 128 pages, Saskatoon.

Swamy, R. and Bouikni, A. 1990. Some engineering properties of slag concrete as influenced by proportioning and curing. ACI Materials Journal, 87(3):210-220.

Türkmen, İ. 2003. Influence of different curing conditions on the physical and mechanical properties of concretes with admixtures of silica fume and blast furnace slag. Materials Letters, 57(29) 4560-4569.

Ufuk, K. 2014. Uçucu kül ve silis dumanı iceren betonların geçirimlilik ozelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Universitesi, 98 sayfa, Trabzon.

Ujhelyi, J. and Ibrahim, A. 1991. Hot weather concreting with hydraulic additives. Cement and Concrete Research, 21(2-3): 345-354.

Uygar, G. 2008. Uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufunun beton ve çimento katkısı olarak kullanımı üzerine bir kaynak taraması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 71 sayfa, Adana.

Veysel, Y. 2004. Stabilization of expansive clays using granulated blast furnace slag (GBFS), GBFS-limite combinations and GBFS cement. Yüksek Lisans Tezi,Middle East Techical University, 100 pages, Ankara.

Wild, S. 1998. Effects of partial substitution of lime with ground granulated blast furnace slag (ggbs) on the strengthcproperties of lime-stabilized sulphate-bearing clay soils. Engineering Geology, 51(1): 37-53.

William, J. 2017. The effect of chemical composition of blast-furnace slag on compressive strength and durability properties of mortar specimens.Yüksek Lisans Tezi,University of South Florida, 83 pages, Florida.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Saıd MOUSSA ELMI

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2020-Halen
Lisans	Djibouti Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2016-2019