

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE TABAN KÜLÜ İNCE AGREGALARI İLE
ÜRETİLMİŞ BETONUN GERİLME ŞEKİL DEĞİŞTİRME DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SELİN KONAK

KASIM 2018

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE TABAN KÜLÜ İNCE AGREGALARI İLE
ÜRETİLMİŞ BETONUN GERİLME ŞEKİL DEĞİŞTİRME DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Selin KONAK

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Memduh KARALAR


ZONGULDAK
Kasım 2018

KABUL:

Selin KONAK tarafından hazırlanan “Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Taban Külü İnce Agregaları ile Üretilmiş Betonun Gerilme Şekil Değişirme Davranışının İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 05/11/2018

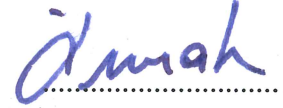
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Memduh KARALAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü



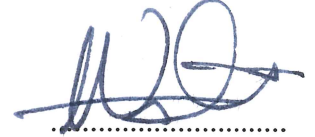
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü



Üye: Doç. Dr. Turhan BİLİR

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../2018



Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

S. Konak
Selin KONAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE TABAN KÜLÜ İNCE AGREGALARI İLE ÜRETİLMİŞ BETONUN GERİLME ŞEKİL DEĞİŞTİRME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Selin KONAK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Memduh KARALAR

Kasım 2018, 105 sayfa

Granüle yüksek fırın cürufu, demir çelik endüstrisinin önemli bir atığı/yan ürünüdür. Bu atığın/yan ürünün, puzolanik ve bağlayıcılık özelliğinden yararlanılarak yapı sektöründe değerlendirilmesi ile ilgili birçok araştırma mevcuttur. Granüle yüksek fırın cürufunun harç veya beton içinde gerek bağlayıcı, gerekse kaba ve ince agrega olarak kullanımına ait geçmiş çalışmalar bulunmaktadır. Kömürle çalışan termik santrallerde ise, yanma sırasında, yanma kazanının altında biriken mikron (μm) boyutundaki atığa/yan ürüne “taban külü” denilmektedir. Taban külleri de genellikle silisli ve alüminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek harç ve betonda katkı malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Tüm bu atıklar/yan ürünler, doğaya bırakıldıkları takdirde çevreye zarar veren ve depolanmaları ve/veya bertaraf edilmeleri ise ekonomik açıdan kayıplara sebep olan malzemelerdir. Bu tür atıkların başka bir sektörde, farklı bir ürün üretiminde değerlendirilmeleri hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük avantajlar kazandıracaktır ve sürdürülebilir malzeme üretimine de katkı sağlayacaktır.

ÖZET (devam ediyor)

Bu çalışmada, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün, klasik beton üretiminde ince agrega olarak kullanılan kumun yerine belirli oranlarda ikame edilerek, bu atıkların betonun mekanik özellikleri üzerinde ki etkilerinin araştırılması amaçlanmaktadır. Özellikle, betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı, elastisite modülü, tokluğu, ve son olarak basınç mukavemeti değişimi üzerinde durulmuştur. Bu değerlerden, elastisite modülü ve tokluk tahribatlı deney yöntemleri ile (statik) tespit edilmiştir. Böylece, deneysel olarak elde edilen bazı parametrelerin, ampirik formüller ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması da gerçekleştirilmiştir. Çalışmada dört aşamalı deneysel bir program izlenmiştir. İlk aşamada, kullanılacak tüm malzemelerin karakterizasyonunu içeren bir dizi deney yapılmıştır. İkinci aşamada, doğal ince agrega kullanılarak hazırlanacak referans betonun, karışım tasarımı gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada ise, taban külü ve yüksek fırın cürufu, ayrı ayrı, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında ince agrega yerine ikame edilerek, beton numuneleri hazırlanmıştır. Dördüncü ve son aşamada ise, hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük standart su kürü uygulamasından sonra, mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külü gibi endüstriyel atık/yan ürünlerin, beton tasarımı içinde ince agrega olarak kullanımının, betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bunun yanı sıra, bu malzemelerin ince agrega olarak kullanıldığı betonların, elastisite modülü ve tokluk gibi bazı parametreleri statik olarak tespit edilerek, sonuçların kıyaslanması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Granüle Yüksek Fırın Cürufu, Taban Külü, Beton, Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı, Elastisite Modülü.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

STRESS-STRAIN BEHAVIOR OF CONCRETE PRODUCT BY FINE AGGREGATES WITH GRANULATED BLAST FURNACE SLAG AND BOTTOM ASH

Selin KONAK

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Memduh KARALAR

November 2018, 105 pages

The granulated blast furnace slag is a valuable waste/by-product of the iron and steel industry. In the literature, there are many studies on the evaluation of this waste/by product in the construction industry, using its pozzolanic and binding properties. In some of these past researches, the granulated blast furnace slag was used as the fine/coarse aggregate and binder in mortar or concrete. In coal-fired thermal power plants, the waste/by product deposited under the combustion boiler during combustion in the size of micron (μm) is called as “bottom ash”. The bottom ash that generally shows a pozzolanic feature due to its composition containing silica and alumina is also used as an additive material in mortar or concrete. These two types of industrial wastes/by products damage the natural environment and lead to economic losses because of their storage and/or disposal. Use of these wastes in different products and industries can likely contribute to the production of sustainable materials and provide important benefits environmentally and economically.

ABSTRACT (continued)

In this study, it is aimed to investigate the effects of the blast furnace slag and the bottom ash on mechanical properties of concrete, substituting these wastes in specific proportions instead of sand used as the fine aggregate in the conventional concrete production. This study has particularly focused on the stress-strain behavior, modulus of elasticity, toughness and compressive strength of finally the change in concrete. Using these numerical values, modulus of elasticity has been determined by destructive (static) test methods. Thus, parameters obtained experimentally have been compared with results of empirical formulas. In this study, a four-stage experimental program has been followed. In the first stage, a number of experiments that consist of the characterization of all materials to be used have been applied. In the second stage, the composition design of the standard concrete has been prepared using the standard fine aggregate (river sand). In the third stage, the blast furnace slag and the bottom ash have separately been replaced with the fine aggregate in concrete at the percentages of 25, 50, 75, and 100. In the fourth stage, finally, mechanical properties of specimens have been determined after 7 and 28 days standard water cure.

Consequently, the effect of the use of some industrial wastes/by-products (i.e., granulated blast furnace slag and bottom ash) in concrete as the fine aggregate on mechanical properties of concrete have been investigated. In addition, some parameters (e.g., modulus of elasticity and Poisson ratio) of concrete that includes these two types of wastes/by-products in place of the fine aggregate are found out statically and the corresponding experimental and empirical results are compared with each other in terms of their similarities and differences.

Keywords: Granulated blast furnace slag, bottom ash, concrete, stress-strain behavior, modulus of elasticity.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında deneyimleriyle ve değerli fikirleriyle bana yol gösteren, çalışmamın her aşamasında yardım ve hoşgörüsünü esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Memduh KARALAR' a

Her konuda benden yardım ve desteklerini esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak bana rehber olup yol gösteren Sayın Doç. Dr. Turhan BİLİR ve Arş. Gör. Gülden Çağın ULUBEYLİ' ye

Beni bugünlere yetiştiren ve teşvik eden, her zaman her koşulda maddi manevi yanımda olan sevgili babam Metin KONAK' a, annem Gülay KONAK' a ve canım kardeşim Senem KONAK' a teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 ÇALIŞMA KONUSU.....	1
1.2 AMAÇ.....	3
BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI.....	5
2.1 TABAN KÜLÜ İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI.....	5
2.2 GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI.....	10
BÖLÜM 3 GENEL KISIMLAR.....	13
3.1 PUZOLANLAR.....	13
3.1.1 Taban Külü.....	13
3.1.2 Yüksek Fırın Cürufu.....	15
3.2 BETON GERİLME ŞEKİL DEĞİŞTİRME DAVRANIŞI.....	17
3.3 BETONUN ELASTİSİTE MODÜLÜ.....	19
3.3.1 Gerilme Şekil Değişirme Eğrisi Üzerinden Elastisite Modülünün Belirlenmesi....	19
3.3.2 Betonun Basınç Dayanımı Değeriyle Elastisite Modülünün Belirlenmesi.....	21

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

3.3.3 Betonun Elastisite Modülünü Etkileyen Faktörler.....	22
BÖLÜM 4 MALZEME VE YÖNTEM	25
4.1 KULLANILAN MALZEMELER	26
4.1.1 Çimento.....	26
4.1.2 Agregalar.....	27
4.1.3 Taban külü	27
4.1.4 Granüle Yüksek Fırın Cürufu	28
4.1.5 Karışım Suyu	29
4.1.6 Kimyasal Katkı	29
4.2 DENEYLERDE KULLANILAN ALETLER	30
4.2.1 Terazî	30
4.2.2 Etüv	31
4.2.3 Elek Takımı ve Elek Sarsma Makinası	31
4.2.4 Arşimet Terazisi.....	32
4.2.5 Kalıplar	32
4.2.6 Betoniyer.....	33
4.2.7 Slump (Çökme) Konisi, Başlığı, Şişleme Çubuğu.....	33
4.2.8 Kür Havuzu.....	34
4.2.9 Beton Test Presi	34
4.2.10 Hassas Uzama Ölçer (Extensometer).....	35
4.3 YAPILAN DENEYLER.....	35
4.3.1 Kullanılacak Malzemelerin Karakterizasyon Deneyleri	35
4.3.1.1 Çimentonun Özgül Ağırlık Tayini	35
4.3.1.2 Agregaların Elek Analizi.....	39
4.3.1.3 Agregaların Özgül Ağırlık, Su Emme ve Nem İçeriği Tayini	44
4.3.1.3.1 Piknometre Yöntemi	44
4.3.1.3.2 Arşimet Yöntemi	49
4.3.2 Mekanik ve Fiziksel Deneyler	51
4.3.2.1 Slump (Çökme) Deneyi.....	51
4.3.2.2 Birim Ağırlık Deneyi	53

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.3.2.3 Su Emme Deneyi.....	54
4.3.2.4 Basınç Dayanım Deneyi.....	55
BÖLÜM 5 BULGULAR.....	59
5.1 KULLANILAN MALZEMELERİN KARAKTERİZASYONUNU İÇEREN DENEY SONUÇLARI	59
BÖLÜM 6 TARTIŞMA VE SONUÇ	79
6.1 TAZE BETON DENEY SONUÇLARI	79
6.2 SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARI	80
BÖLÜM 7 DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ	105



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Öğütülmüş TK'nün 2000 büyütme mikroyapısı	14
Şekil 3.2 Yüksek fırındaki oluşum.....	15
Şekil 3.3 Bolu Çimento A.Ş'den temin edilen GYFC'nun görüntüsü.	16
Şekil 3.4 Beton ve betonu oluşturan malzemelerin gerilme şekil değiştirme grafiği.....	18
Şekil 3.5 Betonun sekant, başlangıç ve teğet elastisite modüllerinin gösterimi	20
Şekil 3.6 Başlangıç içbükey olan gerilme şekil değiştirme diyagramı	21
Şekil 3.7 Strain gauge (gerinim pulu) ve yapıştırıcısı örneği.....	21
Şekil 4.1 Deney çalışma şablonu.....	25
Şekil 4.2 CEM I 42,5 R, portland çimentosu.	26
Şekil 4.3 (a) 0/5 mm (b) 5/15 mm (c) 15/25 mm boyutlarındaki agregalar.	27
Şekil 4.4 Eren Enerji A.Ş taş ocağından temin edilen taban külü numunesi.	27
Şekil 4.5 Zonguldak Eren Enerji A.Ş taş ocağı kül barajı.....	28
Şekil 4.6 Bolu Çimento A.Ş' den temin edilen GYFC numune örneği.	28
Şekil 4.7 Su azaltıcı katkı maddesi olarak kullanılan hiper akışkanlaştırıcı.	29
Şekil 4.8 DEMSİ marka terazi.	30
Şekil 4.9 CAS marka \pm %0.1 hassasiyetli terazi.	30
Şekil 4.10 (110 \pm 5) $^{\circ}$ C sıcaklığa ayarlanabilen etüv.	31
Şekil 4.11 Elek takımı ve elek sarsma makinası.	31
Şekil 4.12 Arşimet deney düzeneği.....	32
Şekil 4.13 Küp numune kalıbı.....	32
Şekil 4.14 Silindir numune kalıbı.....	32
Şekil 4.15 TS EN 1766'ya uygun pan tipi mikser.....	33
Şekil 4.16 Slump deney seti.	33

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.17 (a) Küp numunelerin (b) Silindir numunelerin kür havuzunda bekletilmesi.	34
Şekil 4.18 INSTRON 1000 RD beton basınç test cihazı.....	34
Şekil 4.19 INSTRON marka extensometer.	35
Şekil 4.20 Deney için hazırlanan 64 g çimento numunesi.	36
Şekil 4.21 Su banyosu için kullanılacak suyun sıcaklığının termometre ile kontrolü.	36
Şekil 4.22 İçerisine tiner koyulan Le Chatelier balonunun su banyosuna bırakılması.	37
Şekil 4.23 Balon içindeki tiner ile suyun sıcaklıklarının belli sürelerle kontrolleri işlemi.	37
Şekil 4.24 Çimento numunesinin, ıspatula ile Le Chatelier balonuna dökülmesi.....	38
Şekil 4.25 64 g çimento numunesinin tamamının ölçü kabına aktarılması.....	38
Şekil 4.26 Su banyosuna bırakılan Le Chatelier balonları.	39
Şekil 4.27 Agregaların yıkanması.	40
Şekil 4.28 Agregaların kurutulması (105°C).....	41
Şekil 4.29 Doymun yüzey kuru (DKY) agregalar.	41
Şekil 4.30 Elek analizi.....	42
Şekil 4.31 Elek üzerinde kalan malzemenin hassas terazide tartılması.	43
Şekil 4.32 Eleklerde kalan malzemelerin ayrı bir tepside toplanması.	43
Şekil 4.33 Suya doymun hale gelmiş 0-5 mm agreganın suyunun süzülmesi.	45
Şekil 4.34 0-5 mm agreganın DKY haline getirilmesi.....	45
Şekil 4.35 Balon jojenin su ile doldurulması.	46
Şekil 4.36 Numunenin balon joje içine aktarılması.	46
Şekil 4.37 Agregaya yüzeyine kadar su ile doldurulan ölçü kabı.	48
Şekil 4.38 Ölçü kabındaki 5/15 mm agreganın 24 saat su banyosuna bırakılması.	48
Şekil 4.39 15-25 mm agreganın DKY haline getirilmesi.....	50
Şekil 4.40 Agregaya numunesinin kuru	50
Şekil 4.41 Agregaya numunesinin sudaki.....	50
Şekil 4.42 Betonun çökme konisine yerleştirilmesi.	51

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.43 Çökme konisine yerleştirilen taze betonun şişlenmesi.	52
Şekil 4.44 Beton yüzeyinin mastarlanması.	52
Şekil 4.45 Çökme konisini çekme işlemi.	53
Şekil 4.46 (a), (b) ve (c) Çökme miktarının ölçülmesi.....	53
Şekil 4.47 24 saat boyunca 100 °C’deki etüvde bekletilmiş beton numuneler.....	54
Şekil 4.48 Numunelerin ağırlığının hesaplanması.	55
Şekil 4.49 Numunenin kalıba yerleştirilmesi.	56
Şekil 4.50 Numunenin kalıptan sökülmesi.....	56
Şekil 4.51 Numunelerin kür havuzunda bekletilmesi.	57
Şekil 4.52 Numunenin kurutulması.....	57
Şekil 4.53 Numunenin prese yerleştirilmesi.	58
Şekil 4.54 Basınç testi sonrası kırılmış numuneler.	58
Şekil 5.1 Agrega en büyük tane büyüklüğü 16 mm olan beton için belirlenen granülometri eğrisi	61
Şekil 5.2 Doğal agregaların granülometri eğrisi.	62
Şekil 5.3 Yüksek fırın cürufunun granülometri eğrisi.....	63
Şekil 5.4 Taban külünün granülometri eğrisi.	64
Şekil 5.5 Taban külünün kalitatif analiz resmi.....	65
Şekil 5.6 Granüle yüksek fırın cürufunun kalitatif analiz resmi.	65
Şekil 5.7 Taban külünün mikroyapı analiz sonuçları (SEM), (a) Taban Külünün 1 mm boyutlu SEM görüntüsü, (b) Taban Külünün 500 µm boyutlu SEM görüntüsü, (c) Taban Külünün 200 µm boyutlu SEM görüntüsü, (d) Taban Külünün 100 µm boyutlu SEM görüntüsü, (e) Taban Külünün 50 µm boyutlu SEM görüntüsü.....	68
Şekil 5.8 Taban külünün mikroyapı analiz sonuçları (SEM), (a) Taban Külünün 20 µm boyutlu SEM görüntüsü, (b) Taban Külünün 10 µm boyutlu SEM görüntüsü, (c) Taban Külünün 200 µm boyutlu SEM görüntüsü, (d) Taban Külünün 20 µm boyutlu SEM görüntüsü, (e) Taban Külünün 5 µm boyutlu SEM görüntüsü.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.9 Granüle yüksek fırın cürufunun mikroyapı analiz sonuçları (SEM), (a) Granüle yüksek fırın cürufunun 1 mm boyutlu SEM görüntüsü, (b) Granüle yüksek fırın cürufunun 200 µm boyutlu SEM görüntüsü, (c) Granüle yüksek fırın cürufunun 100 µm boyutlu SEM görüntüsü, (d) Granüle yüksek fırın cürufunun 50 µm boyutlu SEM görüntüsü.....	70
Şekil 5.10 Granüle yüksek fırın cürufunun mikroyapı analiz sonuçları (SEM), (a) Granüle yüksek fırın cürufunun 100 µm boyutlu SEM görüntüsü, (b) Granüle yüksek fırın cürufunun 10 µm boyutlu SEM görüntüsü, (c) Granüle yüksek fırın cürufunun 50 µm boyutlu SEM görüntüsü, (d) Granüle yüksek fırın cürufunun 100 µm boyutlu SEM görüntüsü.....	71
Şekil 5.11 (a) Silindir numunelere çimento ile başlıklama yapılırken su terazisi ile ölçümü. (b) Çimento ile başlıklama yapılmış silindir numuneler.	76
Şekil 5.12 Extensometer ile silindir numunelerin kırım aşaması.....	77
Şekil 5.13 Silindir numuneninin kırıldıktan sonraki görüntüsü.....	77
Şekil 6.1 C20/25, C30/37 beton sınıflı TK ve GYFC ikameli taze betonların çökme değerleri....	80
Şekil 6.2 C20/25 beton sınıflı numunelerin dayanım sonuçları.....	80
Şekil 6.3 C30/37 beton sınıflı numunelerin dayanım sonuçları.....	81
Şekil 6.4 28 günlük basınç dayanım sonuçları.....	82
Şekil 6.5 28 günlük basınç dayanım sonuçları.....	82
Şekil 6.6 Kontrol betonları ve taban külü ikameli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.....	83
Şekil 6.7 Beton serilerinin su emme yüzdeleri.....	84
Şekil 6.8 C20/25 beton sınıflı TK ikameli numunelerin elastisite modülü.....	86
Şekil 6.9 C20/25 beton sınıflı TK ve GYFC ikameli serilerin teğet modülü.....	86
Şekil 6.10 C30/37 beton sınıflı numunelerin teğet modülü değerleri.....	87
Şekil 6.11 C30/37 beton sınıflı numunelerin sekant modülü değerleri.....	87
Şekil 6.12 C20/25 beton serilerinin elastisite modülleri.....	89
Şekil 6.13 C30/37 beton serilerinin elastisite modülleri.....	89
Şekil 6.14 C20/25 beton sınıflı numunelerin tokluk değerleri.....	90
Şekil 6.15 Referans betonu ve TK ikameli C20/25 beton sınıflı serilerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	90

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.16 Referans betonu ve TK ikameli C30/37 beton sınıflı serilerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.	91
Şekil 6.17 Referans betonu ve GYFC ikameli C20/25 beton sınıflı serilerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.	91
Şekil 6.18 Referans betonu ve GYFC ikameli C30/37 beton sınıflı serilerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.	92
Şekil 6.19 C30/37 %50 GYFC ikameli beton numunesinin SEM görüntüsü.	92
Şekil 6.20 Sağdaki resim C30/37 %50 TK ikameli, soldaki resim C30/37 %50 GYFC ikameli numunenin SEM görüntüsü.	93
Şekil 6.21 C30/37 %100 GYFC ikameli beton numunesindeki C-S-H ve etrenjit yapıların SEM görüntüsü.	93
Şekil 6.22 C30/37 %100 TK ikameli beton numunenin SEM görüntüsü.	94
Şekil 6.23 C30/37 %100 TK'de gözeneklerden ilerleyen çatlak oluşumlarının SEM görüntüsü.	94
Şekil 6.24 Kontrol betonlarında C-S-H yapısının içine yerleşmiş olan portlandit plakaları ve iğneli etrenjit oluşumların görüntüsü.	95



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Çeşitli cürufların kimyasal kompozisyonlar	16
Çizelge 4.1 Malzemeler ve temin edildiği yerler gösterilmiştir.....	26
Çizelge 4.2 Su azaltıcı katkı maddesi olarak kullanılan hiper akışkanlaştırıcının analizi.	29
Çizelge 4.3 Deney numunesi kısımlarının en az kütlesi (piknometre metodu)	49
Çizelge 5.1 Çimentonun özgül yüzeyi ve ağırlığının tayini.....	60
Çizelge 5.2 Agregaların özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini.....	60
Çizelge 5.3 Yüksek fırın cürufunun özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini.....	60
Çizelge 5.4 Taban külünün özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini.....	60
Çizelge 5.5 Doğal agregaların elek analizi sonuçları.....	61
Çizelge 5.6 TS 802’de yer alan granülometri alt ve üst sınır eğrilerinin değerleri.....	62
Çizelge 5.7 Yüksek fırın cürufunun elek analizi sonuçları.....	63
Çizelge 5.8 Taban külünün elek analizi sonuçları.....	64
Çizelge 5.9 GYFC XRF sonuçları.....	66
Çizelge 5.10 TK XRF sonuçları.....	67
Çizelge 5.11 C20/25 sınıflı referans betonunun gerçek karışım değerleri.....	72
Çizelge 5.12 C30/37 sınıflı referans betonun gerçek karışım değerleri.....	72
Çizelge 5.13 C20/25 sınıflı referans betonun 7 günlük ve 28 günlük dayanım sonuçları.....	72
Çizelge 5.14 C30/37 sınıflı referans betonun 7 günlük ve 28 günlük dayanım sonuçları.....	73
Çizelge 5.15 Her seri için beton karışımlarına dahil olan malzeme miktarları.....	73
Çizelge 5.16 Kontrol betonları ve %25, %50, %75, %100 taban külü, granüle yüksek fırın cürufu ikameli C20/25 ve C30/37 beton numunelerinin 7 ve 28 günlük dayanım sonuçları.....	74

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.17 C20/25 kontrol betonu ve taban külü, granüle yüksek fırın cürufu ikameli küp numunelerin kuru ve ıslak ağırlıkları.	75
Çizelge 5.18 C30/37 kontrol betonu ve taban külü, granüle yüksek fırın cürufu ikameli küp numunelerin kuru ve ıslak ağırlıkları.	75
Çizelge 5.19 TS EN 480-11 'e uygun su emme yüzdeleri.	76
Çizelge 6.1 Taze beton deney sonuçları.	79
Çizelge 6.2 Tasarlanan beton numunelerin 28 günlük birim ağırlıkları (<i>kgm³</i>) ve su emme oranları (%).	83
Çizelge 6.3 Karışım betonlarının sekant modülleri, teğet modülleri, toklukları ve max. yükteki enerjileri.	85
Çizelge 6.4 TS 500 bağıntısıyla hesaplanan elastisite modülü değerleri.	88

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

σ	: Betonun karakteristik basınç dayanımı, (MPa, kgf/cm ² vb.)
ε	: Birim şekil değiştirme
E	: Elastisite modülünü (MPa, kgf/cm ²)
ΔL	: Toplam uzama veya kısalma
L	: Şekil değiştirmeden önceki boy.
f_c	: Uygulanan gerilmenin basınç dayanımı
W	: Normal ağırlıklı betonun yoğunluğu, kg/m ³
δ	: Karakteristik ve ortalama basınç dayanımları arasındaki fark
m	: Çimento kütlesi (g)
V_1	: İlk okunan hacim (1 ml= 1 cm ³)
V_2	: Son okunan hacim (cm ³)
d	: Çimento özgül ağırlığı
A	: Balon joje ağırlığı
B	: Balon joje + su ağırlığı (W ₄)
C	: DKY malzeme ağırlığı (W ₂)
D	: Balon joje + su + numune ağırlığı (W ₃)
E	: Numunenin etüv kurusu ağırlığı (W ₁)
ρ_k	: İnce ve iri agreganın kuru özgül ağırlığı
ρ_d	: İnce ve iri agreganın DKY özgül ağırlığı
ρ_g	: İnce ve iri agreganın görünen özgül ağırlığı
D	: Taze betonun birim ağırlığı, $\frac{kg}{m^3}$
$M_1 - M_2$: Ölçme kabındaki betonun net ağırlığı, kg
V	: Ölçme kabının kalibre edilmiş hacmidir, m ³
W_s	: Su emme oranı (%)
W_1	: Islak kütle (g)
W_k	: Kuru kütle (g)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

Ecj	: j günlük betonun elastisite modülü
fckj	: j günlük beton karakteristik basınç dayanımı
C°	: santigrad

KISALTMALAR

ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
AR-GE	: Araştırma ve Geliştirme
ASR	: Alkali-silika Reaktivitesi
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
DKY	: Doygun Kuru Yüzey
Dmax	: Maksimum Agrega Tane Boyutu
GYFC	: Granüle Yüksek Fırın Cürufu
KR	: Gerilme Şiddeti Faktörü
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
Max.	: Maksimum
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
ÖGYFC	: Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu
Psi	: Pounds Per Square Inch, İngiliz Ölçü Sistemi
R EĞRİSİ	: Yarı Statik Çatlak Yayılmasına Karşı Direnç
S/Ç	: Su/Çimento
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SSB	: Silindirle Sıkıştırılmış Beton
TK	: Taban Külü
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UK	: Uçucu Kül
XRD	: X-Işını Difraktometresi Analizi
XRF	: X-Işını Flüoresans Analizi
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 ÇALIŞMA KONUSU

Beton, çimento, doğal veya yapay iri agrega, su ve gerektiğinde kimyasal veya mineral katkının karıştırılması ile yapılan ve çimentonun hidratasyonu ile dayanım kazanan malzemedir [1]. Burada çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompasitesini artırır. Çakıl veya kırmataş taneleri betonda iskelet görevi yaparak dış kuvvetlere karşı koyarlar.

Beton, çağdaş toplumların kullandıkları yapı malzemelerinin en önemlilerinden bir tanesidir. Binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları, kent mobilyaları ve benzerleri çoğunlukla betondan yapılmaktadır. Günümüzde, dünyada her yıl yaklaşık 5,5 milyar ton beton üretildiği bilinmektedir. Bu miktar dünya nüfusuna bölündüğünde kişi başına yaklaşık 1000 kg beton üretildiği ortaya çıkar. Ancak, beton bu kadar yaygın kullanılan bir malzeme olmasına karşın, çoğunlukla düşük nitelik düzeylerinde üretilir [2].

Beton diğer birçok yapı malzemesine göre;

1. Daha kolay şekil verilebilir olması,
 2. Ekonomik olması,
 3. Dayanıklı olması,
 4. Üretiminde daha az enerji tüketilmesi,
 5. Her yerde üretilebilir olması ve
 6. Estetik özellikleri
- nedenleriyle en çok kullanılan yapı malzemesidir.

Taze haldeyken plastik bir kıvamına sahip olması betona istenen herhangi bir şeklin verilmesini sağlar. Diğer bir deyişle, taze beton sertleştiğinde içine konulduğu kalıbın şeklini almış olur. Böylece kirişler, kolonlar, karmaşık şekilli kabuklar, döşemeler, kazıklar, kütle betonları yapmak mümkün olur. Beton üretiminde büyük ölçüde yerel malzemeler kullanılır. Bu husus maliyetinin diğer yapı malzemelerine oranla düşük olmasındaki en önemli etmenlerden biridir. İyi bir beton dayanıklı bir yapı malzemesidir. Uygun bir şekilde tasarlanmış, üretilmiş, yerleştirilmiş, sıkıştırılmış ve bakımı yapılmışsa uzun yıllar her hangi bir bakım, onarım gerektirmeden hizmetini sürdürür [2].

Betonun mühendislik uygulamalarında istenen birçok özelliğinin yanında bazı istenmeyen özellikleri de bulunmaktadır. Bu sebeple mühendislik uygulamalarında betonun iyileşmesi için farklı çalışmalar gözlenmiştir.

Türkiye’de hidroelektrik ve termik santraller kurulmasının sebebi enerji açığının önlenmesidir. Hidroelektrik santraller ve düşük kaliteli linyit kömürü yakan termik santrallerde enerji üretimi sırasında büyük miktarda yan ürün olarak bilinen ‘‘Uçucu Kül’’ ve ‘‘Taban Külü’’ oluşmaktadır. Bu sebeple enerji ihtiyacı artışına paralel olarak çözülmesi zorunlu teknik, ekonomik ve çevresel sorunlar da giderek artmaktadır.

Termik santrallerde oluşan atık malzemenin %15’ini taban külleri oluşturmaktadır. Taban küllerinin beton üretiminde agrega yerine kullanılması çimento maliyetinde azalma sağlaması bakımından yararlar sağlamaktadır. Termik santral atığı olan taban küllerinin çimento ve beton üretiminde kullanılması hususundaki çalışmalar Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufuna göre çok azdır [3].

Termik santrallerde açığa çıkan taban külü ve yüksek fırın cürufunun depolama, nakliyat ve çevre kirliliği gibi önemli sorunlarını önlemek için çimento üretiminde teknik yönden kullanılabilirliği, beton üretiminde ise ince ve kaba agrega yerine kullanımı değerlendirilmelidir. Bu sebebiyetle bilimsel çalışmalara ağırlık verilmelidir.

1.2 AMAÇ

Bu çalışmanın amacı, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külü atık/yan ürünlerinin, beton tasarımı içinde ince agrega yerine belirli oranlarda (%25-50-75-100) ikame edilmesi ile hazırlanan iki farklı sınıftaki beton karışımlarının (C20/25, C30/37), bazı mekanik özelliklerini tespit etmektir. Bu amaç doğrultusunda, hazırlanan beton karışımları için, gerilme-şekil değiştirme davranışı, elastisite modülü, tokluk ve son olarak basınç mukavemeti işleminin betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı ve basınç mukavemeti değişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elastisite modülü ve tokluk gibi bazı özelliklerin statik olarak elde edilmesi, malzemenin mekanik karakterinin tespitinde, ampirik formüller ile elde edilen sonuçların deneysel verilerle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Böylece granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün ince agrega olarak tasarlandığı betonların, standart beton tasarımı ile karşılaştırılması yapılmış ve bu atıkların agrega olarak kullanılabilirlikleri araştırılmış olacaktır. Proje kapsamında, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün, beton içinde ince agrega olarak kullanımının, üretilmiş kontrol numunesi betonları ile kıyaslandığında, betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu agregalarla üretilen betonların gerilme-şekil değiştirme davranışı ile ilgili verilerin elde edilmesi de amaçlanmıştır.

Betonun elastisite modülü, tokluk ve poisson oranı gibi mekanik bazı özellikleri çeşitli yöntemler ile bulunabilir. Bu değerlerin tespitinde kullanılan yöntemlere göre, elastisite modülü, tokluk ve poisson oranı değerleri, “elastik ve plastik” olmak üzere iki kısımda incelenir. Elastisite modülü, tokluk ve poisson oranı hazırlanan beton numunesi deney presinde basınç gerilmeleri altında, bu gerilmelere karşılık gelen deformasyon değerleri tespit edilerek kırılmasıyla bulunmuşsa (gerilme-şekil değiştirme diyagramı oluşturulmuşsa), veya bazı kuruluşların (Amerikan Beton Enstitüsü, Avrupa Beton Komitesi ve Türk Standartları Enstitüsü gibi) betonun basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişkiyi gösteren değişik formüller ile tespit edilmiş ise, bu tür elastisite modülü ve poisson oranına “statik elastisite modülü ve poisson oranı” denilmektedir. Bunun yanı sıra, elastisite modülü ve poisson oranı, Sonometre veya Ultrasonik test cihazı gibi ses dalgaları kullanarak tahribatsız yöntemler aracılığıyla da elde edilebilir. Bu yöntemler ile elde edildiklerinde ise “dinamik elastisite modülü ve poisson oranı” olarak isimlendirilirler [4]. Bu proje dâhilinde, çok büyük miktarlarda ortaya çıkan ve birçok çevresel ve ekonomik zarara sebep olan iki büyük endüstriyel yan ürün/atığın (granüle yüksek fırın cürufu ve taban külü), tasarımı içinde ince

agrega yerine ikamesi ile edilen betonun mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada, gerilme-şekil değiştirme davranışı, elastisite modülü, tokluk, ve son olarak basınç mukavemeti işleminin betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı ve basınç mukavemeti değişimi üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Elde edilmiş değerler, üretilmiş kontrol numunesi betonu ile kıyaslanmıştır.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

2.1 TABAN KÜLÜ İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde TK ve GYFC ile ilgili mevcut çalışmaların literatür taraması yapılmıştır.

Maier ve Durham'ın yaptığı bu araştırmada geri dönüştürülmüş beton agregasının, ezilmiş cam atığının ve granüle yüksek fırın cürufunun hem taze hem de sertleşmiş betondaki etkileri gözlemlenmiştir. Hazırlanan numunelerde granüle yüksek fırın cürufu çimento yerine, atık cam ise kaba ve ince agrega yerine kullanılmıştır. Referans betonu ise çimento ve geri dönüşmüş agrelardan oluşan normal beton şartlarında üretilmiştir. Sonuçlara göre %100 geri dönüşümlü malzemelerden oluşan betonun geçirimsizliğinin çok düşük olduğudur. Granüle yüksek fırın cürufunun %50 ikame oranında kullanıldığında zararlı sonuçların azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca da geri dönüşümlü malzemeyle yapılan çimento karışımının işlem görmemiş malzemeyle yapılan çimento karışımıyla karşılaştırıldığında %50'ye kadar dayanım ve dayanıklılık kazandığı sonucuna varılmıştır [5].

Singh ve Siddique'nin bu araştırmasında da betonun kuruma rötresi, klorür iyon geçirgenliği, dış kaynaklı sülfat ve sülfirik asit saldırısına karşı dayanımı gibi dayanıklılık özellikleri ve basınç dayanımları laboratuvar ortamında testlere tabi tutulmuştur. Gözlemlere göre taban külüyle yapılan betonun geleneksel betona göre sülfirik asit saldırısına karşı çok az bir üstünlük sergilediği tespit edilmiştir. Taban küllü betonun sülfat saldırısına karşı davranışı neredeyse kontrol betonuyla birebir olduğu gözlenmiştir. Her gün %10 magnezyum sülfat çözeltisinin içine batırılan taban küllü numunelerde 180'inci günün sonunda ne kütle kaybı ne de basınç kaybı gözlenmemiştir. Ayrıca tarama yapan elektron mikroskopla (SEM) ve XRD spektrumlarıyla yapılan gözlemlerde sülfat çözeltisine batırılmış olan beton numunelerinde sülfat saldırılarına dair bir iz görünmemiştir. Taban küllü betonun klorür iyonu geçirgenliğine karşı da daha iyi mukavemet gösterdiği tespit edilmiştir [6].

Yüksel, Bilir, Özkan bu çalışmada hem taban külünün ve granüle yüksek fırın cürufunun ayrı ayrı hem de ikisinin birlikte ince agrega olarak kullanılmasının betondaki dayanıklılığa nasıl tepki verdiğini araştırmıştır. Betonun durabilite özelliklerini tespit etmek amacıyla dayanım testleri yapılmış ve referans betonu ile karşılaştırılmış. Çalışmada granüle yüksek fırın cürufu, taban külü ve hem granüle yüksek fırın cürufu hem de taban külü ve %10, %20, %30, %40 ve %50 ikame oranları içeren ince agregalı beton örnekleri üretilmiş. Bu endüstriyel yan ürünler öğütülmemiş biçimde kullanılmıştır. Elde edilen verilere dayanarak granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün ince agrega olarak kullanılması betonun bazı dayanıklılık özelliklerini iyileştirdiği söylenebilmektedir. İyileştirdiği özelliklere, yüksek sıcaklığa ve yüzey aşınmaya karşı direnç elde edilen sonuçlar neticesinde örnek verilebilir. Ayrıca betonun kapileritesi, kurutma-ıslatma ve donma-çözülme dayanımı gibi özellikleri de bir seviyeye kadar kabul edilebilir durumdadır. Test sonuçları ve SEM görüntüleri incelendiğinde beton dayanıklılığını etkileyen başlıca etmenlerin yüksek fırın cürufunun ve taban külünün fiziksel ve kimyasal özellikleridir. Bu çalışmadan elde edilen neticelere dayanarak granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün ince agrega yerine ikamesi sonucunda dayanımı yüksek beton elde etmenin mümkün olduğu söylenebilmektedir [7].

Topçu ve Bilir'in bu çalışmasında öğütülmemiş taban külünün ince agrega yerine ikame edilip, harç örnekleri üzerindeki büzülme çatlama etkisi incelenmiştir. Taban külü, ağırlıkça 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 oranlarında ince agrega yerine kullanılmış ve taban külünün büzülme çatlama üzerindeki etkisini tespit etmek için dönme testine tabi tutulmuştur. Sonuçta %100 oranındaki değişimde taban külünün rötreyi gözenekli yapısı nedeniyle azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca taban külü değişim oranının artmasıyla doğru orantılı olan gözeneklilik yapısının artışı da dayanım ve elastisite modülünde de azalmaya sebep olmuştur [8].

Hussain, Choktaweekarn, Saengsoy, Srichan, Tangtermsirikul'un bu çalışmasında karbonlaşma derinliği ve basınç dayanımı hesaba katılarak kür duyarlılık endeksi bulunmuştur. Sonuçlara göre tip 5 kür hassasiyetini arttırırken, tip 3 daha az kür hassasiyetine sahiptir. Taban külü olmayan karışımlarda kireç tozunun kullanımı betonun kür hassasiyetini azaltmış iken uçucu külün kullanımı betonun kür hassasiyetini arttırmıştır. Taban külünün düşük miktarda kullanımı betonun kür hassasiyetini azalttı gözlemlenmiştir. Sonuçlar ince agregalı taban külü ile kireçtaşı tozu olan çimento örneğinin en az kür hassasiyetine ulaştığını

göstermiştir. Bu makaleden çıkardığımız sonuçlara göre taban külünün önemli bir iç kür malzemesi olduğudur [9].

Singh, Siddique bu makale de taban külünün betonda kullanımını inceleyen makalelere genel bir bilgi değerlendirmesi yapmıştır. Ayrıca taban külünün taze betonun işlenebilirliğine, priz süresine, terlemesine, büzülmesine ve sertleşmiş betonun mukavemet özelliklerine etkisinin nasıl olduğundan bahsetmiştir. Bu zamana kadar yapılan araştırmalar sonucunda taban külünün ince agrega yerine kullanılabilir bir malzeme olduğu görülmektedir [10].

Singh, Siddique göre termik santrallerin atığı olan kömür taban külü Hindistan'da oldukça fazla olduğudur. Hem çevre için hem de insanlık için tehdit oluşturan taban külünün sorunları minimize etmek amacıyla betonda ince agrega yerine kullanımı üzerine yapılan araştırmaların artmasına sebebiyet doğurmuştur. Bu çalışmada farklı incelik katsayılarına sahip 2 tip nehir kumundan üretilmiş kontrol betonu %20, 30, 40, 50, 75 ve 100 oranlarında oluşan taban külü ile kum yer değiştirilmiştir. Kömür taban külünün ince agrega olarak kullanılması sonucunda betonun işlenebilirliği ve terlemesi azalmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda taban külünün 1.97 incelik katsayısına sahip kumla değiştirildiğinde basınç ve yarma çekme dayanımının açıkça değişmediği ama 2.58 incelik katsayısına sahip kumla değiştirildiğinde erken yaşlardaki basınç ve yarma çekme dayanımlarında düşüş olduğu tespit edilmiştir. 90 günlük kürlenme süresinden sonra taban küllü betonun basınç ve yarma çekme dayanımı kontrol betonu ile neredeyse birebir olduğu gözlenmiştir. Elastisite modülü ve aşınma direnci katsayısı kontrol betonu ile karşılaştırıldığında taban küllü betonun daha az değerlere sahip olduğu görüldü. Ama ilerleyen zamanlarda taban küllü betonun aşınma direncine karşı gösterdiği dirençte artış tespit edilmiştir. Ultra ses geçiş hızı taban külünün her çeşit kumla yer değiştirerek iyi kalitede beton yapılabileceğini ispatlamıştır [11].

Singh, Siddique bu araştırma düşük kalsiyumlu taban külünün tamamen veya kısmi olarak ince agrega yerine kullanılmasının betonun dayanımı ve durabilitesine karşı tepkilerini araştırmaktadır. Yapılan testlerden taban külü içeriğinin artması ile su/çimento oranının, işlenebilirliğin, 28 günlük basınç dayanımının, yarma çekme dayanımının ve ultra ses geçiş hızının azaldığı sonuçlarına varılmaktadır. Taban küllü betonun basınç dayanımının referans betonuna göre ilerleyen yaşlarda daha hızlı arttığı tespit edilmiştir. Referans betonunun 180 günlük basınç ve yarma çekme dayanımını taban küllü beton 90 günlükken elde etmiştir. %75 ince agrega ile ikame oranındaki değişim 28 günlük bekleyişin taban külünün artmasıyla klorür geçirimsizliğinin arttığını

söylemektedir. İlerleyen zamanlarda tam tersi etkiler görünmeye başlanıp, klorür geçirimsizliği düşmüştür. Taban küllü ve referans betonunun dışarıdan yapılan sülfat ve asit saldırılarına karşı aynı davranışta bulunmuşlardır. SEM'e göre puzalanik aktiviteler taban külünde 28 günün sonucunda başlamaktadır. Referans betonuna göre taban küllü beton daha az aşınmaya karşı dayanıklılık sergilemiştir [12].

Bilir bu makalede öğütülmemiş kömür taban külünün ve öğütülmemiş granüle yüksek fırın cürufunun betonun geçirimsizlik özelliğine karşı oluşturduğu tepki gözlemlenmiştir. Öğütülmemiş kömür taban külü ve öğütülmemiş granüle yüksek fırın cürufu bu çalışmada da ince agreganın yerini almıştır. Bu endüstriyel yan ürünlerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti ve ani klorür geçirimsizliği, donma çözünme ve kuruma ıslanma deneylerinin yapılaş amacı betonun geçirimsizliğine nasıl tepki verip verilmediği gözlemlenmiştir. Gözlemlere göre gözenekli yapıya sahip olan öğütülmemiş taban külü ve öğütülmemiş granüle yüksek fırın cürufu betonun geçirimsizliğini arttırmaktadır. Aynı zaman da bu endüstriyel yan ürünlerin ince agrega olarak kullanılması kimyasal ve mekanik özellikleri nedeniyle geçirimsizliği azaltmaktadır. Yani bu endüstriyel yan ürünler ince agrega olarak betonda kullanıldığında betonun geçirimsizliğini azaltarak daha dayanıklı bir beton elde etmemizi sağlamaktadır [13].

Kim, Jeon, Lee bu araştırma da günümüzde artan teknolojiyle birlikte daha fazla yaygınlaşan termik santrallerden elde edilen atıkların özellikle taban külünün ince agrega olarak kullanımının, normal ve yüksek dayanımlı harcın akışını, su emmesini, mekanik özelliklerini ve harcın performansını nasıl etkilediğini gözlemlenmek amaçlı deneylere tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre ince taban küllü harcın referans harcına göre daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu ayrıca daha yavaş su emdiği tespit edilmiştir [14].

Shi-cong, Chi-sun bu araştırmasını nehir kumu, kırmataş, fırın taban külü ve ince agrega olarak ince geri dönüşümlü agrega ile hazırlanan betonların basınç dayanımını, kuruma rötresini ve klorür iyon penetrasyon direncini karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Sabit su/çimento oranı ve sabit çökme aralıkları muhafaza edilecek şekilde beton tasarımları gerçekleştirilmiştir. Sonuçta fırın taban külü miktarının artmasıyla sabit su/çimento oranının, basınç dayanımının ve kuruma rötresinin azaldığı, ince geri dönüşmüş agreganın beton basınç dayanımını düşürdüğü fakat betonun kuruma rötresini arttırdığı görülmüştür. Ancak sabit çökme değeri ile fırın taban külünün de ince agrega olarak ikame edip tasarlanan betonlarda yüksek basınç dayanımı, yüksek klorür iyon penetrasyon direnci ve kuruma rötresinin azaldığı görülür. Bu şekilde kullanılan ince geri

dönüştürmüş agrega ise basınç dayanımının düşmesine, rötrelerin artmasına sebep olmuştur. Tüm bu çalışmalara dayanarak hem fırın taban külünün hem de ince geri dönüştürmüş agreganın ince agrega yerini doldurabileceği sonucuna varılmıştır [15].

Özkan, Yüksel, Muratoğlu bu çalışmada da uçucu külün çimento yerine kullanılarak, taban külünün ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunun da ince agrega yerine kullanılması sonucunda betonun 7, 28, 90 günlük basınç dayanımı ve dayanıklılığı gibi özellikleri incelemiştir. Numuneler 2 şekilde üretilmiştir. Birinci numune kömür taban külü ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu içerir. İkinci numune ise uçucu kül, taban külü ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu içerir. Test sonuçlarından elde edilen bilgiler betonun basınç dayanımında ve su emme kapasitesinde önemli bir azalma olduğunu, betonun yoğunluğunda da azalış olduğunu göstermektedir. Tespit edilen sonuç kömür taban külü ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu seviyesi az miktarda tutulursa dayanımının az azalacağından ötürü düşük dayanımlı beton işlerinde kabul görülebilir düzeyde olduğudur [16].

Singh, Siddique'nin bu çalışmadaki numuneleri taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini karşılaştırmak amacıyla içinde ince agrega olarak taban külü bulunduran tasarımlardır. Yapılan deneyler sonucunda nehir kumu yerine taban külünün kullanılması su oranı sabit olmak şartıyla işlenebilirliği ve su kaybını azalttığı görülmüştür. Ayrıca 28 günlük kür sonucunda taban külünün basınç dayanımını çok fazla değiştirmediği sonucuna varılmıştır ama 90 günlük kür sonucunda ise referans betonunun dayanımını aştığı görülmüştür. Bunun yanında yarma çekme dayanımı tüm yaşlarda iyileştirme gösterirken elastisite modülü azalmıştır. SEM ve X ışınlarında görülen sonuç ise taban külü betonun referans betonuna göre biraz daha az homojenlikte bağlayıcılık özelliğe sahip olduğudur [17].

Yüksel, Bilir bu çalışmaların da taban külünün ve yüksek fırın cürufunun ince agrega yerine kullanılmasıyla briket, taban kaplama tuğlası ve bordür örnekleri üretilerek, durabilitelerini ve mekanik özelliklerini karşılaştırmak amacıyla testlere tabi tutmuşlardır. Yapılan deneylerin sonucunda basınç dayanımının az da olsa düştüğü, aşınmaya ve donma-çözünmeye karşı dirençlerinin iyileştiği tespitine varılmıştır. Diğer bir sonuçta taban külünün ve yüksek fırın cürufunun ince agrega ikameli olarak kullanılmasının donatsız beton üretiminde dayanıklılığı arttırdığıdır [18].

Kim, Lee bu çalışmada yüksek dayanımlı betonlarda ince ve iri agregalı taban küllerinin kullanılmasıyla akışkanlığına, yoğunluğuna, emme özelliğine ve tane şeklinin beton üzerindeki etkilerini incelemiştir. Referans olarak normal kum ve %25, 50, 75 ve %100 oranlarında çakıl agrega yerine kullanılmıştır. Çıkarılan sonuçlar iri taneli taban külü yerine %100 normal agregalı taban külü içeren yüksek dayanımlı betonların çökme yayılmasında düşüş olduğu, ince taneli taban külünün de çökme yayılmasını etkilemediğidir. Başka bir sonuçta ince ve iri agregalı taban külünün basınç dayanımının eğilme dayanımı üzerinde daha fazla tesirlere sahip olduğudur [19].

2.2 GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

Binici, Shah, Aksogan, Kaplan'a göre bu çalışmada mermer ve granit gibi yan ürünler kaba agrega, nehir kumu ve granüle yüksek fırın cürufu da ince agrega olarak kullanılmış ve standart betonla betonun dayanıklılığı karşılaştırılmıştır. Ayrıca çökme, hava içeriği, çökme kaybı ve taze betonun priz süresi, basınç dayanımı, eğilme ve yarma-çekme mukavemetleri, Young'ın elastisite modülü, aşınmaya karşı direnç, klorür penetrasyonu ve sülfat dayanımı deneyleri de yapılmıştır. Kontrol harçları, kaba agregalar olarak ezilmiş kireç taşı ile hazırlanmıştır. Kaba ve ince agregaların betonun dayanımı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde mermer ve granüle yüksek fırın cürufu ile üretilen betonun dayanıklılığı, kontrol betonundan daha üstün bulunmuştur. Bu atık yan ürünlerin beton üretiminde kullanıma uygun olduğu gözlenmiştir [20].

Albuquerque, Balbo, Sansone, Pinto bu çalışmalarında silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) karışımları hazırlamışlar ve kum yerine endüstriyel kum ve granüllü yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Silindirle sıkıştırılmış beton tasarımı; ince agregaların etkisi, sıkıştırma parametrelerine (ıslak ve kuru birim ağırlık), dolaylı gerilme mukavemetine (çekme dayanımına), eğilme mukavemetine ve elastisite modülüne bağlı olarak analiz edilmiştir. Karışımlar için R-eğrisi belirlenmiş, dayanıklılık ve kırılma testleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda cüruf içeren SSB karışımlarının, sıkıştırma için daha fazla miktarda suya ihtiyaç duyduğu, gerilme mukavemeti ve elastisite modülünde düşüşler sağladığı ve az miktarda yayılma enerjisinin ortalama değerlerini artırdığı görülmüştür. Hem referans SSB hem de cüruf SSB, sürekli yukarı doğru bir R-eğrisi göstermiş ve mutlak değerlerde, daha iyi bir R-eğrisi göstermiş ve KR performansı, daha önce literatürde çalışılan konvansiyonel ve yüksek mukavemetli betonlardan daha yüksek bulunmuştur. Bu tür bir davranışa sahip bir malzeme, katastrok (yıkıcı) çatlak

yayılmasına karşı daha fazla direnç gösterdiğinden ve kullanım ömrünü uzattığından parke için önemli sonuca varıldığı tespit edilmiştir [21].

Zhang, Zakaria, Hama çeşitli agrega malzeme özelliklerinin, harç ve kuruma büzülmesi özelliğine ve on dört çeşit ince agrega malzemesine (standart kum, doğal kum, deniz kumu, çeşitli cüruf tipi kumlar) ve üç çeşit kaba agrega (andezit çakıl, sert kumtaşı çakıl ve kireçtaşı çakıl) malzemesine sahip beton örneklerinin harç ve beton numuneleri üzerindeki etkisini açıklığa kavuşturmak için deneysel bir çalışma sunmaktadır. Test sonuçları, ince ve kaba agrega malzemelerinin özelliklerinin sırasıyla harç ve betonun kuruma büzülme özelliğinin kontrol etmede önemli bir rol oynadığını ortaya çıkarmıştır. Kireçtaşı kumu ve yüksek fırın cüruf kumu, standart kum içeren harca kıyasla, harç örneklerinin kuruma büzülmesini sırasıyla %22 ve %30 oranında durdurabildiği gözlenmiştir. Beton numunelerin kuruma rötresi, agrega rötre gerilimi artışı, spesifik yüzey alanı ve 6–30 nm çapındaki agregaların gözenek hacmi ile orantılı olarak artışı, bu sonuca göre agrega özelliklerinin kuruma rötresi gelişimi üzerinde önemli etken olduğu tespit edilmiştir. Sunulan deneysel sonuçlar neticesinde, beton karışım büzülmesinin uygun agrega özellikleriyle kontrol edilebileceği ve toplam su içeriği miktarının azaltılabileceği göz önünde bulundurularak, beton karışım tasarım uygulamaları için iyi bir perspektif sağlamak adına yararlı bilgiler olduğu sonucuna varılmıştır [22].

Yüksel, Siddique, Özkan'a göre bu çalışmada yüksek sıcaklığın, öğütülmüş granüllü yüksek fırın cürufu ve taban küllünün (TK) ince agrega olarak özelliklerine etkisi görülmüştür. Altı seri beton karışımı, ince agreganın kısmen öğütülmüş granüllü yüksek fırın cürufu ve TK ile ayrı ayrı değiştirilmesiyle hazırlanmıştır. Yedek yüzdeler, kuru agrega ağırlığının %10'luk bir artışı ile %10 ila 50 arasında olmuştur. Daha sonra, ilk üç seri ile aynı karışıma sahip olan son üç karışıma %0.2 polipropilen fiber ilave edilmiştir. İlk seri kontrol betonu, ikinci seri öğütülmüş granüllü yüksek fırın cürufu ve üçüncü seri TK'yı içermektedir. Tüm beton numuneleri 90 günlükken 800 ° C'ye maruz bırakılmıştır. Testler ağırlık, basınç mukavemeti ve dinamik elastisite modülündeki kayıpları belirlemek için yapılmıştır. Ayrıca yüzey çatlak gözlemleri mikroskop ile yapılmıştır. Test sonuçları, bu tür betonların yüksek sıcaklık tepkisine maruz kalsa bile, ince agreganın öğütülmüş granüllü yüksek fırın cürufu veya TK ile kısmen değiştirilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Taban küllü beton performansının, yedek malzeme olarak öğütülmüş granüllü yüksek fırın cürufundan daha iyi olduğu bulunmuştur [23].

Valcuende, Benito, Parra, Miñano'nun yaptıkları bu deneysel çalışmanın amacı, ince agreganın bir kısmının, kum olarak kumlanmış yüksek fırın cürufu ile yer değiştirdiği kendiliğinden yerleşen betonlarda (KYB) yaşla birlikte büzülme (rötre) evrimini incelemektir. Çalışma yedi tip KYB, 0.55 s/ç (SU/ÇİMENTO) oranı ve farklı cüruf içeriği ile yapılmıştır. Sonuçlar, kumların kumlanmış yüksek fırın cürufu ile değiştirilmesinin, daha yüksek gözenek hacmine sahip ancak daha ince gözenekli yapıya sahip (daha küçük medyan gözenek ve eşik çapları) karışımlara yol açtığını göstermektedir. Erken yaşlarda cüruf KYB'ları referans betonunki ile benzer basınç dayanımına sahiptir, ancak uzun vadede cüruf reaktivitesinin bir sonucu olarak mukavemetleri artmaktadır. Cüruf içeriği ne kadar yüksekse, hem daha yüksek otojen hem de kuruma büzülmesi ve sonuç olarak da toplam büzülme olduğunu gözlemlenmiştir. Referans beton ile kıyaslandığında, toplam büzülme artışının %4 ve %44 mertebesinde olduğu ve kumun sırasıyla %10 ve %60'ının cürufla yer değiştirdiği bulunmuştur [24].

Maier, Durham'ın yaptığı bu araştırmanın temeli, geri dönüştürülmüş malzemelerin, değişen miktarlarda, taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisini araştırmaktır. Bu çalışmada kullanılan geri dönüştürülmüş malzemeler, öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu (ÖGYFC), geri dönüştürülmüş beton agrega ve ezilmiş atık camdan oluşmaktadır. ÖGYFC veya cüruf çimentosu, çimento için bir yedek olarak kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş beton agrega ve atık cam, sırasıyla kaba ve ince agregaları değiştirmek için kullanılmıştır. Tasarlanan beton karışımları geri dönüştürülmüş malzemelerle %25'lik bir değişimden %100'üne kadar değişmiştir. Ayrıca, karşılaştırma amacıyla çimento ve işlenmemiş agregalar kullanan standart bir beton karışımı tasarlanmıştır. Çökme, hava içeriği, birim ağırlık, basınç dayanımı, mukavemet kazanımı, donma-çözülme dayanıklılığı, geçirgenlik ve alkali-silika reaktivitesi (ASR) potansiyeli dahil olmak üzere taze ve sertleştirilmiş beton özellikleri incelenmiştir. %100 geri dönüştürülmüş malzeme betonu çok düşük geçirgenliğe ve %6,5 hava içeriğine sahip 4200 psi (29.0 MPa) basınç dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. %50 ve %75 geri dönüştürülmüş malzemelerden oluşan beton karışımları, sırasıyla yaklaşık 7000 psi (48 MPa) ve 6350 psi (43.8 MPa) basınç dayanımı sağlamıştır. Geri dönüştürülmüş malzemelerin beton karışımlarında kullanılmasının faydalı ve olumsuz etkileri araştırılmış ve bunlar arasında agrega olarak atık camın kullanılmasının potansiyel alkali-silika reaktivitesi (ASR) bulunmakta olduğudur. Cüruf çimentosu, %50'lik değişim seviyelerinde kullanıldığında, bu endişeleri ortadan kaldırdığı bulunmuştur. Geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı, işlem görmemiş malzemedeki normal bir betona kıyasla %50'ye varan mukavemet ve dayanıklılık açısından yararlı olduğu tespit edilmiştir [25].

BÖLÜM 3

GENEL KISIMLAR

3.1 PUZOLANLAR

Silis veya silis-alümin esaslı malzemelere puzolan denir. Puzolanlar, hiç bağlayıcı özelliği olmayan ya da çok az kendi başlarına kireç ile reaksiyona girip bağlayıcılık özelliği oluşturan inorganik maddelerdir [26]. Puzolanlar kökenine göre 2 guruba ayrılır. Bunlar doğal puzolanlar ve yapay puzolanlardır [27]. Genellikle volkanik kökenli malzemeler; volkanik camlar, volkanik tüfler, traslar ve bazı kil ve şeyller doğal puzolan, doğal puzolanların ısıtım işlem gördüğü ve çeşitli endüstrilerin yan ürünü/ atık maddesi olanlar ise; uçucu kül, taban külü, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve pirinç kabuğu yapay puzolanlardır [28].

3.1.1 Taban Külü

Elektrik enerjisi üretim sürecinde yanma kazanı tabanına düşen iri boyutlu kalıntılara taban külü denir [29]. Taban külünün ince tane oranı %33-98'e partiküllerin boyu 1 inç (25,4 mm) den küçüktür [30].

Huang ve Lovel'e göre ince tane oranı ise %0-12 arasında değişim göstermekle birlikte ince taneli malzemenin plastik özelliği olmayıp seyrek de olsa kaba partiküller (38 mm) içermektedir. Kum boyutunda bir malzemedir. Ünifömlük katsayısı (C_u) 7-33 arasında değişmektedir. Üniförm taban külünde ise 3.7'dir. Taban külü içerisinde bulunan iri taneli kaba partiküller çakıl büyüklüğünde olup, kullanılabilir çakıl-kum boyutunda malzemedir. ASTM-D 854 standardına göre, taban külü özgül ağırlığı 1.94-3.46 gf/cm^3 arasındadır [31].

Kimyasal olarak, taban külünün uçucu kül ve bileşimine benzer özellikleri vardır. TK'de Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve SiO_2 bileşenleri bulunur. Çok az miktarda da CaO , MgO , K_2O , Na_2O_3 , SO_3 , P_2O_5 ve TO_2 bulunmaktadır. Başlangıçta linyit veya düşük bitümlü kömürlerden gelen taban

külü antrasit veya bitümlü kömürlerden elde edilenlerden daha yüksek bir kalsiyum yüzdesine sahiptir [29].

TK'de, düzensiz şekilli ve küresel taneler bulunmaktadır. Puzolanik aktivitleri yüksek olup, küresel tanecikler camsı bir yapıya sahiptir. Küresel olmayan tanecikler ise kömürden gelen yanma reaksiyonlarına katılmamış mineraller (kuartz ve feldispatlar), gözenekli yapılardan (kil kalıntıları, yanmamış karbon) oluşmaktadır (Şekil 3.1) [32].



Şekil 3.1 Öğütülmüş TK'nün 2000 büyütme mikroyapısı [33].

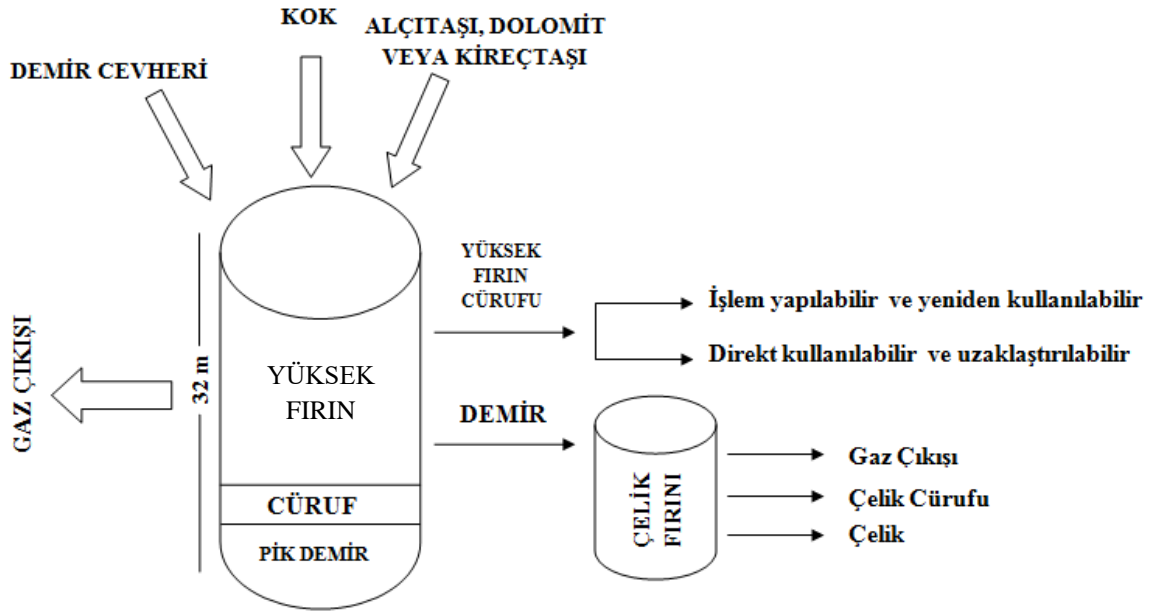
Yapısı ve fiziksel özellikleri bakımından taban külü iyi bir izolasyon görevi yapar. Bu avantajı nedeniyle taban küllü katkı briket ve blok tuğlalar izolasyon inşaat sektöründe tercih sebebidir. Drenaj sistemlerinde filtre malzemesi, çatılarda kaplama malzemesi ile mineral yünü olarak geniş çaplı uygulama alanına sahiptir. Ayrıca taban külü kaymayı önleyici malzeme olarak sıcak asfalt yüzeylerinde ve otoyollarında kullanılabilir. Taban külü ve cüruf özellikleri doğal agregalarla karşılaştırıldığında, daha iyi olduğu tespit edildiğinden, yapı endüstrisinde de kullanım alanı ortaya çıkmıştır. Bitümlü kaplama karışımlarında değerlendirilen taban külü geniş kullanım alanını sahiptir [34]. [35].

Kurama ve Kaya, taban külünün portland çimentosu yerine katılmasıyla hazırlanan temsili beton örneklerinin basınç ve eğilme dayanımlarının %10'a varan oranlarda arttığını gözlemlemiştir. Daha yüksek ikame oranlarında daha düşük mukavemet değerleri tespit

edilmiştir. İncelemede basınç ve eğilme mukavemetindeki azalma, farklı faz dağılımlarına ve kömür altı külünün daha yüksek yanmamış karbon içeriğine bağlanmıştır [36].

3.1.2 Yüksek Fırın Cürufu

1400-1600 °C’de ham demir üretiminde kalkerin yanma sonrası yan ürünlerinden yüksek fırın cürufu oluşur. Hafif olduğundan işlenmemiş demir üzerinde kalır [37]. Şekil 3.2’de YFC’nun yüksek fırındaki oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Yüksek fırındaki oluşum.

Öğütülmemiş yüksek fırın cürufu yavaş soğutulduğunda kristal, hızlı soğutulduğunda camı yapıdadır. Bu tür cüruflar granüle yüksek fırın cürufudur [37]. Ani soğutma su kullanılarak yapılır ve GYFC görüntü olarak (Şekil 3.3) da kuma benzer.



Şekil 3.3 Bolu Çimento A.Ş.’den temin edilen GYFC’nun görüntüsü.

GYFC çok büyük camsı yapıya sahiptir ancak içerisinde az miktarda mervinit ve melilit (kalsiyum, alüminyum, magnezyum silikat ve silisyumdioksit) gibi kristal fazlar da içerebilir [38]. Çeşitli metalürji tesislerinden elde edilen atık maddeler olan cüruflar, farklı kimyasal kompozisyona ve özelliklere sahiptirler. Çizelge 3.1’de çeşitli cürufların kimyasal kompozisyonları gösterilmiştir [39].

Çizelge 3.1 Çeşitli cürufların kimyasal kompozisyonlar [39].

Oksit (%)	Demir Cürufları				Diğer Cüruflar			
	Yüksek Fırın Cürufları			Linz Donawitz Cürufu (Almanya)	Kurşun-Çinko Cürufu (İngiltere)	Nikel Cürufu (Kanada)	Bakır Cürufu (Güney Afrika)	Fosfor Cürufu (ABD)
	(Fransa)	(Japonya)	(Türkiye)					
SiO ₂	35	31	40,2	13	18	29	34	41
CaO	43	37	34,5	47	20	4	9	44
MgO	8	8	9,4	1	1	2	4	1
Al ₂ O ₃	12	16	11	1	6	1	6	9
Fe ₂ O ₃	0,4	0,7	0,8	31	38	53	44	1

1774 yılında Lariot tarafından yapılan çalışmalar neticesinde öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun bağlayıcı özellikli malzeme olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir. 1862’de Almanya’da Emil Langen tarafından öğütülmüş yüksek fırın cüruflarının hidrolik bağlayıcı özelliği bulunmuştur. Yine aynı yıl ve aynı ülkede Portland yüksek fırın cürufu çimentonun üretimi başlamıştır [40, 41]. YFC’nun hidrolik bağlayıcılığı ve aktivitesi; kimyasal

kompozisyonu, alkali konsantrasyonuna, amorf yapısına, çimentonun inceliğine ve hidratasyonun ilk aşamasındaki sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir [42].

Ülkemizde GYFC üretimi kesin olmamakla 350000 ton/yıl civarında olduğu düşünülmektedir [38]. Bu da ülkemizde termik santrallerin ve metalürji tesislerin çokluğundan endüstriyel atık malzemelerin kullanılabilirliğinin araştırılmasına sebeplerden bir tanesi olarak düşünülebilir.

Yüksel v.d [43] yaptıkları çalışmada, belirli oranlarda GYFC'nu öğütmeden ince agrega olarak kullanmış ve beton özellikleri araştırılmıştır. GYFC'nun ikame oranlarının artışıyla basınç ve eğilme dayanımlarında düşüş gözlenmiştir. Sebebinin ise GYFC'nun gözenekli yapısından ötürü betonda oluşan boşlukluluğu arttırmasıdır. Su emme oranındaki artış %75 ve %100 ikameli GYFC'lu betonlarda gözlenmiştir. Yaş birim ağırlığında ise ikame oranları artmasıyla GYFC'lu numunelerin yaş birim ağırlığı azaldığı tespit edilmiştir.

3.2 BETON GERİLME ŞEKİL DEĞİŞTİRME DAVRANIŞI

Malzemeler üzerine gelen yüklerle birlikte belirli bir oranda şekil değiştirme gösterir. Şekil değiştirme malzemelerin uzaması veya kısılmasıdır [4].

Yük altında belirli bir oranda şekil değiştirme gösterip, yükün kaldırılmasıyla eski haline dönen malzemelere elastik malzemeler denir. Bu şekilde oluşan gerilme bağıntısı (3.1) ile bulunabilmektedir [27].

$$\sigma = \varepsilon \times E \quad (3.1)$$

σ : Gerilme (MPa, kgf/cm² vb.)

ε : Birim şekil değiştirme

E: Elastisite modülünü (MPa, kgf/cm²)

Burada;

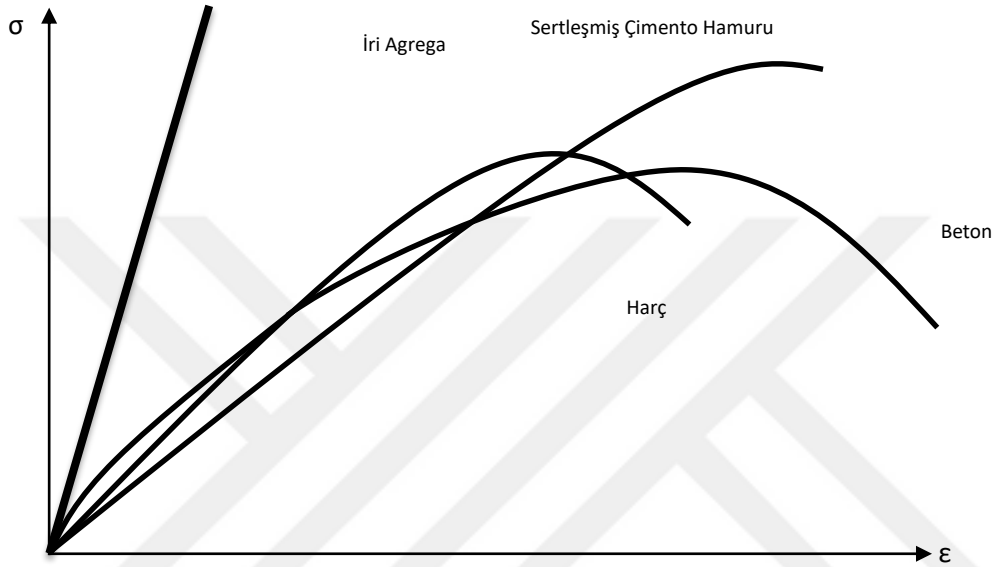
$$\varepsilon \text{ ise } \varepsilon = \Delta L / L \quad (3.2)$$

ile hesaplanır.

ΔL : Toplam uzama veya kısalma

L: Şekil değiştirmeden önceki boy.

Agrega ve çimento hamurunun gerilme şekil değiştirme eğrileri lineer artarken (Şekil 3.4), aksenal basınç altında betonun gösterdiği davranış mikro çatlakların oluşmasından dolayı lineer değildir [44].



Şekil 3.4 Beton ve betonu oluşturan malzemelerin gerilme şekil değiştirme grafiği [4].

Yük uygulamadan da iri agregat ile bağlayıcı matris arasındaki geçiş bölgesinde mikro çatlaklar bulunmaktadır. Bu mikro çatlakların oranı; betonun terlemesine, küürüne, geçiş bölgesinin dayanımına göre değişmektedir [27].

4 aşamada gerilme seviyesi ile betondaki mikro çatlakların durumu açıklanmıştır:

1. Aşama ($\sigma < 0.3f_c$): Gerilmenin basınç dayanımının %30'unun altında kaldığı bölgedeki çatlaklar karardır. Gerilme şekil değiştirme grafiği lineer olarak artar.
2. Aşama ($0.3f_c < \sigma < 0.5f_c$): Gerilme değeri basınç dayanımının %30'unu aştıkça gerilme artmaktadır. Gerilme arttıkça deformasyon da artar ve lineerlikten uzaklaşır. Fakat basınç dayanımının %50'sine kadar bu bölgede bulunan çatlaklar kararlı kabul edilir.
3. Aşama ($0.5f_c < \sigma < 0.75f_c$): Basınç dayanımı %50-60'ına ulaştığında matriste çatlamlar başlar. Yükün artmasıyla grafik yatay biçimde eğilmeye başlar.

4. Aşama ($0.75f_c$): Çatlakların kendiliğinden yayılması için gerekli olan kritik seviyeye ulaşıncaya kırılma oluşur. Bu da deformasyonların oluşmasına sebeptir [27].

Malzemenin kırılğan yani gevrek olması gerilme şekil değiştirme eğrisinin birden tepe noktasında bitmesidir. Eğrinin azalan ucu ne kadar yumuşak bir iniş yaparsa o kadar da malzemenin sünek olduğu anlaşılmaktadır [27].

3.3 BETONUN ELASTİSİTE MODÜLÜ

Elastisite modülü, malzemenin şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç kapasitesidir. Gerilme şekli değiştirme eğrisi büyük bir kısmında lineer olmadığından elastisite modülünün bulunması zordur [27]. Bu sebepten dolayı elastisite modülü değişik yöntemlerle bulunabilir.

Bunlar;

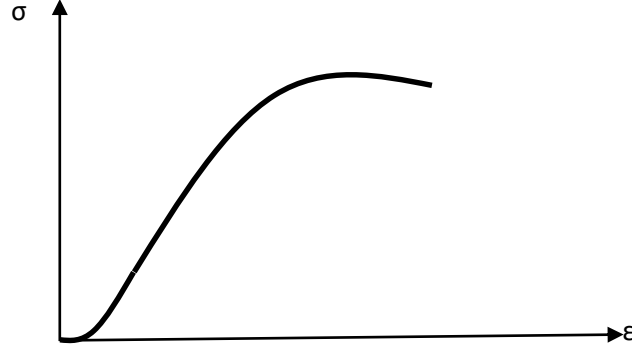
1. Sekant Modülü
2. Teğet Modülü
3. Başlangıç Modülü
4. Dinamik Elastisite Modülü
5. Chord (Kiriş) Modülü'dür.

3.3.1 Gerilme Şekil Değiştirme Eğrisi Üzerinden Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Şekil 3.6'da gösterilen gerilme şekil değiştirme eğrisinin sıfır noktasından ve eğri üzerinde herhangi bir noktadan geçen doğru çizilir. Genellikle bu nokta betonun maksimum gerilme değerinin Amerikan standardında %40, İngiliz standardında %33'üne karşılık gelen gerilme değeridir. Çizilen bu doğrunun eğimi, sekant modülüyle elde edilen elastisite modülünü verir [4].

Gerilme şekil değiştirme eğrisinin üzerinde herhangi bir nokta belirlenir. Bu noktadan teğet geçen bir doğru çizilir. Yapılan uygulamalarda maksimum gerilmenin %40'ına karşılık gelen nokta esas alınarak çizim gerçekleştirilir. Çizilen bu doğrunun eğimi, teğet modülüyle elde edilen elastisite modülünü verir [4].

Gerilme şekil değiştirme eğrisinin sıfır noktasından teğet geçen doğru çizilir. Çizilen bu doğrunun eğimi, başlangıç modülüyle elde edilen elastisite modülünü verir [4].



Şekil 3.6 Başlangıçlı içbükey olan gerilme şekil değiştirme diyagramı [4].

Genellikle standartlar betonun elastisite modülünün bulunması için kiriş yöntemini tercih eder. Kiriş modelinde Ø150 mm x 300 mm'lik silindir numuneler kullanılır. Silindir numunelerin tam ortasına gelecek şekilde komparatör, dijital encoder veya Şekil 3.7'de gösterilen strain gage takılarak elastisite modülü elde edilir [27].



Şekil 3.7 Strain gauge (gerinim pulu) ve yapıştırıcısı örneği.

Eğilme deneyiyle de elastisite modülü elde edilebilir. Bu yöntemle bulunan elastisite modülü genellikle yol döşemelerinin tasarım ve analizinde kullanıma uygundur [27].

3.3.2 Betonun Basınç Dayanımı Değeriyle Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Basınç dayanımı ile elastiklik modülü arasındaki deneysel sonuçlara dayanarak bulunan elastisite modülü, beton tasarım hesaplarında kullanılmaktadır. Betonun basınç dayanımı değeriyle elastisite modülünün belirlenmesi için birbirine benzer sonuçlar veren formüller bulunmaktadır [4]. Bu formüllerden en çok tercih edilenler; Amerikan Beton Enstitüsü Formülü [45], Avrupa Beton Komitesi Formülü [46, 47] ve Türk Standartları Formülü'dür [48].

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından sunulan formül;

$$E = 0.043W^{3/2}\sigma^{1/2} \quad (3.3)$$

Burada;

E= Sekant yöntemiyle elde edilebilecek elastiklik modülüne muadil elastiklik modülü, MPa

W= Normal ağırlıklı betonun yoğunluğu, kg/m³

σ = 15 cm X 30 cm standardında silindir numunelerin 28 günlük dayanımı, MPa Normal ağırlıklı betonun birim ağırlığı 2300 ile 2400 kg/m³ arasında değişmektedir. Birim ağırlığın 2350 kg/m³ olduğu düşünülürse, Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından normal ağırlıklı beton için sunulan formül aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$E = 4900\sigma^{1/2} \quad (3.4)$$

Avrupa Beton Komitesi tarafından sunulan formül;

$$E = 9500(\sigma+8)^{1/3} \quad (3.5)$$

Burada;

E= Elastiklik modülü, MPa

σ = Betonun karakteristik basınç dayanımı, MPa

8= Karakteristik ve ortalama basınç dayanımları arasındaki fark.

Türk Standartları Enstitüsü tarafından sunulan formül;

$$E = 14000 + 3250\sigma^{1/2} \quad (3.6)$$

Burada;

E= Elastiklik modülü, MPa

σ = Betonun karakteristik basınç dayanımı, MPa [4].

3.3.3 Betonun Elastisite Modülünü Etkileyen Faktörler

Homojen malzemelerin elastisite modülüyle yoğunluğu arasında doğrusallık söz konusudur. Beton ise heterojen bir karışımdır. Betonun ana maddelerinin hacimsel oranı, yoğunluğu, elastisite modülleri ve geçiş bölgesindeki özellikleri oluşan yeni bir karışımın oranları elastik

davranışını etkiler. Elastisite modülüyle betonun basınç dayanımı arasında doğrusal bir bağıntı vardır [27]. Aşağıda elastisite modülünü etkileyen faktörler verilmiştir;

1. Agreganın etkisi,
2. S/Ç oranı,
3. Betonun ıslaklık durumu
4. Deney çalışmasında uygulanan yük hızı
5. Deney çalışması yapılan yerin sıcaklığı [4].

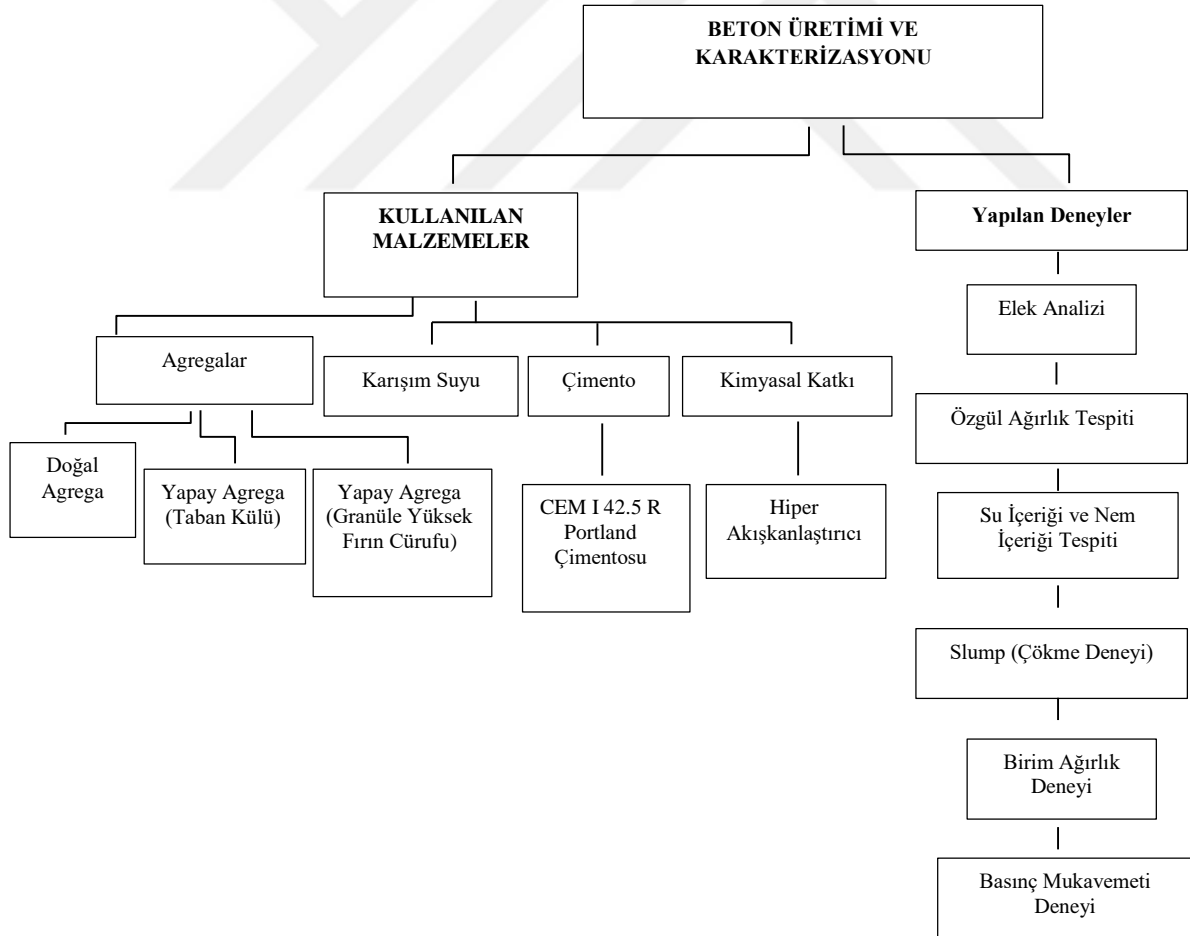




BÖLÜM 4

MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde temin edilen malzemeler, deneylerde kullanılan aletler ve yapılan deneyler açıklanmıştır. Beton tasarımı amacıyla yapı malzemesi laboratuvarına beton üretimi için gerekli malzemeler temin edilmiştir. Bu malzemelerin isimleri ve temin edildikleri yerler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Beton üretimi için kullanılacak malzemelerin karakterizasyon deneyleri, taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.1’de deneysel çalışma şablonu ile tüm çalışmada yapılanlar özetlenmiştir.



Şekil 4.1 Deney çalışma şablonu.

Çizelge 4.1 Malzemeler ve temin edildiği yerler gösterilmiştir.

Malzemeler	Malzemelerin Temin Edildiği Yerler
Agrega	Eren Enerji A.Ş Taş Ocağı
Taban Külü	Eren Enerji A.Ş
Granüle Yüksek Fırın Cürufu	Bolu Çimento A.Ş
Çimento	Pelenkoğlu. A.Ş
Karışım Suyu	Şebeke Suyu
Hiper Akışkanlaştırıcı	Draco Marka / Pelenkoğlu A.Ş

4.1 KULLANILAN MALZEMELER

4.1.1 Çimento

Yapılan çalışmada CEM I 42,5 R, portland çimentosu kullanılmış olup, Pelenkoğlu A.Ş'den elde edilmiştir. Tasarımda kullanılan çimentonun özellikleri:

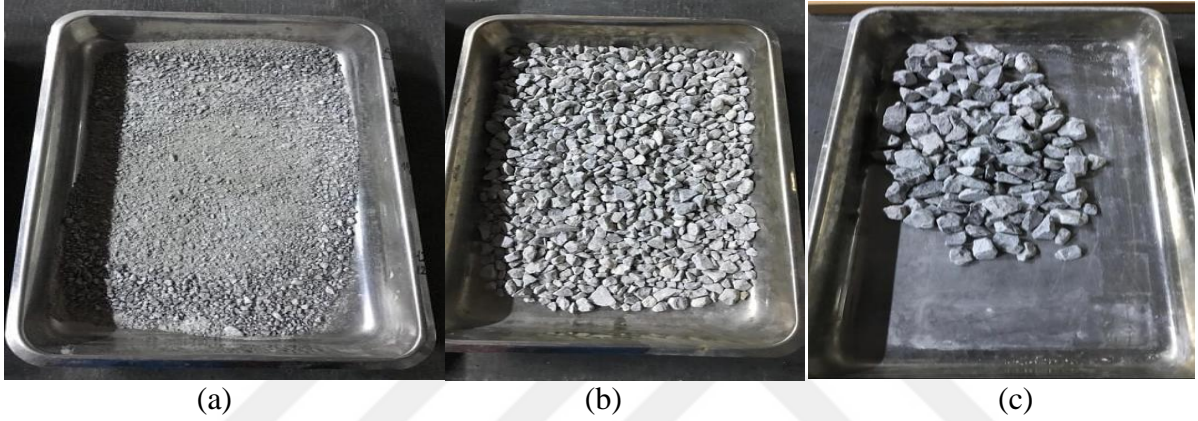
CEM I 42,5 R, Portland Çimentosu klinkeri, alçı taşı ve en çok %5'e kadar minör ilave bileşen maddenin birlikte öğütülmesi sonucu TS EN 197 -1 / Mart: 2002 "Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri" standardına uygun imal edilen, 2 günlük basınç mukavemeti en az 20 ve 28 günlük basınç mukavemeti en az 42,5 MPa, en fazla 62,5 MPa olan çimentodur [49]. Çimentonun sınıfı, ağırlığı, üretim standardı gibi bazı bilgiler çimento paketi üzerinde belirtilir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 CEM I 42,5 R, portland çimentosu.

4.1.2 Agregalar

Betonun ana iskeletini oluşturan agregalar, istenilen betonun tasarlanmasında en önemli faktördür. Yaptığımız beton tasarımlarında kullanılan agregalar, Zonguldak Eren Enerji A.Ş taş ocağından temin edilmiştir. Ocakta makinalar ile farklı büyüklüklere ayrılan agregalar, 0/5, 5/15, 15/25 mm boyutunda boyutlandırılmıştır. Şekil 4.3'te farklı boyutlardaki agrega numuneleri görülmektedir. Deneylerde kullanılan agregaların en büyük tane boyutu 25 mm'dir.



Şekil 4.3 (a) 0/5 mm (b) 5/15 mm (c) 15/25 mm boyutlarındaki agregalar.

4.1.3 Taban külü

Tasarlanan beton karışımlarında %25, %50, %75 ve %100 oranlarında ince agrega olarak ikame ettirilen taban külü Eren Enerji A.Ş taş ocağından temin edilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Eren Enerji A.Ş taş ocağından temin edilen taban külü numunesi.

Ülkemizde kömürle çalışan termik santrallerde yanma sırasında yaklaşık 15 milyon ton uçucu kül (UK) ve 4 milyon ton taban külü diğer adıyla yatak altı külü (TK) açığa çıkmaktadır [50]. Bu kadar yüksek miktarda açığa çıkan atık ürünler termik santral yakınlarında bulunan kül dağları veya barajlarında depolanmaktadır. Zonguldak Eren Enerji A.Ş taş ocağının taban küllerini biriktirdiği kül barajı Şekil 4.5'te sunulmaktadır.



Şekil 4.5 Zonguldak Eren Enerji A.Ş taş ocağı kül barajı.

4.1.4 Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Granüle yüksek fırın cürufu demir çelik fabrikalarının çelik üretimi esnasında çeliğin erimesiyle oluşan yan üründür. Bu çalışma da ince agrega yerine belli oranlarda (%25, %50, %75 ve %100) ikame ettirilmiştir. Granüle yüksek fırın cürufu (Şekil 4.6) Bolu Çimento A.Ş 'den temin edilmiştir.



Şekil 4.6 Bolu Çimento A.Ş' den temin edilen GYFC numune örneği.

4.1.5 Karışım Suyu

Beton tasarımında kullanılacak suyun içilebilir nitelikte olduğu öngörülmektedir. Bu sebeple Bülent Ecevit Üniversitesi mevcut şebeke suyu kullanılmıştır.

4.1.6 Kimyasal Katkı

Beton katkı maddeleri betonun bazı özelliklerini iyileştirmek amacıyla karma işlemi sırasında veya hemen önce karışıma katılan maddelerdir. Yapılan çalışmalarda su azaltıcı katkı maddesi olarak, Draco marka, LEVELCON KYB 105, hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır (Şekil 4.7). Akışkanlaştırıcı, Zonguldak'ta bulunan Pelenkoğlu A.Ş'den temin edilmiştir. Çizelge 4.2'de katkının +20 °C sıcaklıkta ve %50 bağıl nem ortamındaki teknik özelliklerini göstermektedir.



Şekil 4.7 Su azaltıcı katkı maddesi olarak kullanılan hiper akışkanlaştırıcı.

Çizelge 4.2 Su azaltıcı katkı maddesi olarak kullanılan hiper akışkanlaştırıcının analizi.

Ürün Adı, Tanımı ve Tipi	LEVELCON KYB 105
	Hiper Akışkanlaştırıcı
Teknik Özellikler	Analiz Sonuçları
Görünüm	Ayrışma Yok
Renk	Kahverengi
Bağıl Yoğunluk (g/cm ³)	1.062
Katı Madde Miktarı (%)	17.31
pH değeri	5.47
Klorür İçeriği Katkı Kütlesi Oranına	< 0.1
Alkali Miktarı (Na ₂ O) %	<5
Raf Ömrü ve Depolama Koşulları	1 yıl
Kimyasal Katkı Kullanım Aralığı (%)	0.6 – 2.0

4.2 DENEYLERDE KULLANILAN ALETLER

4.2.1 Terazi

Taban külü, granüle yüksek fırın cürufu, agrega, imento ve beton numunelerin tartımları DEMSİ marka Şekil 4.8’de gösterilen hassas terazi ile yapıldı. Akışkanlaştırıcı ve numunelerin tartımları ise ± 0.1 hassasiyetli terazi (Şekil 4.9) ile olmler yapılmıştır.



Şekil 4.8 DEMSİ marka terazi.



Şekil 4.9 CAS marka ± 0.1 hassasiyetli terazi.

4.2.2 Etüv

Su emme, özgül ağırlık deneylerinde kullanılmak üzere agregaların kurutulması işlemi $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ayarlanabilen (Şekil 4.10) etüvde yapılmıştır.



Şekil 4.10 $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ayarlanabilen etüv.

4.2.3 Elek Takımı ve Elek Sarsma Makinası

Agregaların, taban külünün ve granüle yüksek fırın cürufunun boyut ve miktar belirlenmesi işlemi Şekil 4.11'de gösterilen elek takımıyla, TS EN 933-1'de belirtildiği şekilde sarsma makinasıyla sarsarak granülometri eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 4.11 Elek takımı ve elek sarsma makinası.

4.2.4 Arşimet Terazisi

İri agregaların özgül ağırlığı ve su emmesini bulmak için Şekil 4.12’de gösterilen 20 kg çekerli 1 g duyarlı ve su içinde de tartım yapabilen Arşimet terazisi kullanılmıştır.



Şekil 4.12 Arşimet deney düzeneği.

4.2.5 Kalıplar

TS EN 12390-1’e uygun 15x15x15 cm boyutlu küp (Şekil 4.13) ve Ø150 mm x 300 mm boyutlu silindir kalıplar (Şekil 4.14) kullanılmıştır.



Şekil 4.13 Küp numune kalıbı.



Şekil 4.14 Silindir numune kalıbı [51].

4.2.6 Betoniyer

Pan tipi mikser de taze kontrol betonunun, taban küllü ve granüle yüksek fırın cürufllu betonların homojen bir şekilde karılması yapılmıştır. Şekil 4.15'te görülen mikser 120 derece eğim yapabilme ve 56 litre karıştırma kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.15 TS EN 1766'ya uygun pan tipi mikser.

4.2.7 Slump (Çökme) Konisi, Başlığı, Şişleme Çubuğu

Şekil 4.16'da görülen paslanmaz çelikten yapılmış slump konisi ve aparatları taze beton deneysel çalışmalarında kullanılmıştır.



Şekil 4.16 Slump deney seti.

4.2.8 Kr Havuzu

Elde edilen küp ve silindir numuneler $23\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ ve %95 neme sahip kr havuzunda 28 gün bekletilmiştir (şekil 4.17).



şekil 4.17 (a) Küp numunelerin (b) Silindir numunelerin kür havuzunda bekletilmesi.

4.2.9 Beton Test Presi

Sertleşmiş beton numunelerin basıncı dayanımı belirlemek amacıyla INSTRON marka 100-5000 kN kapasite sınırlı pres makinası kullanılmıştır (şekil 4.18).



şekil 4.18 INSTRON 1000 RD beton basıncı test cihazı.

4.2.10 Hassas Uzama Ölçer (Extensometer)

Üretilen beton silindir numunelerin gerilme şekil değiştirme ve elastisite modülünü elde etmek için kullanılmıştır (şekil 4.19).



şekil 4.19 INSTRON marka extensometer.

4.3 YAPILAN DENEYLER

4.3.1 Kullanılacak Malzemelerin Karakterizasyon Deneyleri

4.3.1.1 Çimentonun Özgöl Ağırlık Tayini

Beton tasarımında kullanılacak olan çimentonun özgül ağırlık tayini 2 yöntemle bulunabilir. Bunlar Le Chatelier balonu ve piknometredir. Çalışmamda hata yapma oranının daha az ve sonuçların daha kesin olduğu Le Chatelier balonu yöntemi uygulanmıştır.

Deney standardı: TS EN 197-1: Genel Çimentolar-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri [52].

Deneyin yapılışı:

Le Chatelier balonunun içi düzgünce temizlendi ve içinde su damlacıkları kalmayacak şekilde kurutuldu. Standartlara göre, deneyde kullanılmak üzere 64 gram çimento numunesi, 0.1 gram duyarlı hassas terazide tartılarak hazırlandı. Deney iki defa yapılacağı için iki adet 64'er gram numune, numune kaplarına koyuldu (şekil 4.20).



Şekil 4.20 Deney için hazırlanan 64 g çimento numunesi.

İçinde su damlası kalmayacak şekilde kurutulmuş Le Chatelier balonu içerisine, 0 ile 1 mililitre arasında kalacak seviyede çimento ile reaksiyona girmeyen sentetik tiner koyuldu. Oluşabilecek numune kaybını hesaplayabilmek için, balon ile tiner birlikte tartıldı ve değeri kaydedildi. Sıcaklık dengesinin sağlanması için, balonun bırakılacağı su banyosunun sıcaklığı termometre ile kontrol edildi (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Su banyosu için kullanılacak suyun sıcaklığının termometre ile kontrolü.

İçerisinde tiner bulunan Le Chatelier balonu, su sıcaklığı 22 °C olan su tankı içine yerleştirildi (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 İçerisine tiner koyulan Le Chatelier balonunun su banyosuna bırakılması.

Böylece balon içerisindeki tinerin sıcaklığı ile banyo suyunun sıcaklıkları sabitleninceye kadar bekletildi. Belli sürelerle sıcaklıkları termometre ile kontrol edildi (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 Balon içindeki tiner ile suyun sıcaklıklarının belli sürelerle kontrolleri işlemi.

0 ile 1 ml arasında bulunan tiner seviyesinin sıcaklık artışına göre değiştiği gözlemlendi. Su ve tinerin son sıcaklıkları 20.3 °C’de sabitlendiğinde, su banyosundan çıkarılan balon içerisindeki tiner seviyesi okundu ve V_1 olarak kaydedildi. 64 gram olarak hazırlanan çimento numunesi, ıspatula yardımıyla yavaş yavaş balon içerisine döküldü (Şekil 4.24).



Şekil 4.24 Çimento numunesinin, ıspatula ile Le Chatelier balonuna dökülmesi.

Balonun dar kısmında tıkanmaların olmaması ve balon yüzeyine çimento tozlarının yapışmaması için, balona hafif şiddetlerde vurularak, numunenin şişkin kısma inmesi sağlandı. Çimentonun tamamı balon jojeye aktarıldı (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 64 g çimento numunesinin tamamının ölçü kabına aktarılması.

Aktarılmasından sonra tekrar tartım yapıldı. Bütün çimento numunesi aktarıldıktan sonra balonun kapağı kapatıldı ve balon kendi ekseninde döndürülerek çimento tozları ile karışan havanın dışarıya çıkması sağlandı. Çıkan hava peçete yardımıyla dikkatlice uzaklaştırıldı. Ardından balon tekrar su banyosu içine bırakılarak yaklaşık 1 saat boyunca, balon ve içindekilerin aynı sıcaklığa gelmesi beklendi (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 Su banyosuna bırakılan Le Chatelier balonları.

1 saatlik sürenin sonunda balonun dik bir şekilde durması sağlanarak, içerisindeki tiner hacmi tekrar okundu ve V_2 olarak kaydedildi. Bu şekilde ilk deney tamamlanarak aynı işlemlerin tekrar edilmesiyle 2.deney yine 64 gram çimento numunesi için tekrarlandı ve değerler kaydedildi.

Çimento özgül ağırlığının hesabı formül (4.1)'e göre yapılmıştır.

$$\text{Çimento özgül ağırlığı; } d = \frac{m}{v} \rightarrow d = \frac{m}{V_2 - V_1} \quad (4.1)$$

m = Çimento kütlesi (g)

V_1 = ilk okunan hacim (1 ml= 1 cm³)

V_2 = son okunan hacim (cm³)

4.3.1.2 Agregaların Elek Analizi

Deney standardı: TS 706 EN 12620+A1 ; 2009; Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi [53].

TS EN 933-1; Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini - Eleme Yöntemi [54].

ASTM C136/C136M-14; İnce ve Kaba Arega Elek Analizi / C136M-14 Standart Test Yöntemi - Elek açıklıkları [55].

TS 802 2016; Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları [56].

Deneyin yapılışı:

Beton tasarımında kullanılacak olan agregadan çeyrekleme yöntemiyle örnek alındı. Alınan agregaya, yığının orta kısmının 5-10 cm üstü atılarak, orta bölgenin farklı yerlerinden örnek alındı ki yığımı temsil etsin. Yığının üst ve etek kısmından örnek alınmamasına dikkat edildi. Akabinde alınan agregaya örneği temiz bir yüzeye silindir şeklinde toplandı. Toplanan bu agregaya zemine, daire şeklinde yayıldı ve 4 eşit dilime ayrıldı. Karşılıklı 2 çeyrek dilim alınarak yeni bir numune karışımı oluşturuldu. Oluşturulan bu numuneye tekrar silindir şekli verildikten sonra zemine daire olarak yayılıp tekrar karşılıklı 2 dilim alınıp deney yapmak üzere karıştırıldı. Önceden yapılan hesaplamalar sonucu beton karışımındaki agregaya miktarı ve bu miktarın içinde boyutlarına bağlı olarak bulunması gereken agregalar belirlendi. 4 kg'lık numunede bulunması gereken miktarlar buradan yola çıkarak hesaplandı. 0/5, 5/15, 15/25 mm boyutundaki agregalar hesaplanan ağırlıkları kadar terazide ayarlanarak tartıldı. Standartta belirtilen şekilde üzeri örtülünceye kadar su ile yıkama işlemi yapıldı (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Agregaların yıkanması.

Yıkama işleminde TS EN 933-1'de belirtildiği gibi; 63 mikrometre göz açıklıklı elekte, yeterli şiddette çalkalanması ile ince tanelerin tamamen ayrılması sağlandı. İri danelerin eleğe zarar vermemesi için elek içine düşmesi engellendi. İnce danelerin su ile akıp gitmemesi için elek altına numune tepsisi yerleştirildi. Bu şekilde elekten geçen su tamamen berraklaşana kadar yıkama işlemine devam edildi. Yıkama işleminden sonra üç farklı boyuta ayrılan numuneler, üç farklı metal tepsilere yerleştirildi. Bu tepsiler 105°C'ye ayarlanmış olan etüve konarak, 24 saat boyunca kurumaya bırakıldı (Şekil 4.28).



Şekil 4.28 Agregaların kurutulması (105°C).

24 saat sonra etüvde alınan numuneler soğumaya bırakıldı. Soğuma işlemi tamamlanan numunelerin hepsi tek bir tepside toplandı (Şekil 4.29).



Şekil 4.29 Doygun yüzey kurusu (DKY) agregalar.

Tepsi darası alınmış bir şekilde, numunenin ilk kuru ağırlığı tartıldı ve kaydedildi. Yıkanmış ve kurulanmış olan malzeme, elek açıklıkları TSE ve ASTM standartlarına uygun olarak, yukarıdan aşağıya doğru elek göz açıklıkları düzenli bir biçimde azalacak şekilde birbirine geçirilmiş elek takımına boşaltıldı. Elek takımının en altına, en ince elekten geçen malzemelerin toplanması için tava yerleştirildi ve en üste de kapak takıldı. Ardından elek takımı, elek sarsma makinasına yerleştirildi ve sarsma işlemi sırasında savrulmasını engellemek için sıkıca sabitlendi. Eleme makinesinin hızı 6 Hertz ve eleme süresi 10 dk.

olarak ayarlanarak eleme işlemi uygulandı. Fazla miktardaki numunenin elek tellerine zarar vermesini önlemek için, numune üç kısma ayrılarak, üç seferde eleme işlemi tamamlandı (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 Elek analizi.

Elek sarsma makinasında 10 dk. eleme işlemi tamamlandıktan sonra darası önceden alınmış her bir elek, üzerinde kalan malzeme ile birlikte tartılarak kütleleri kaydedildi (Şekil 4.31). Elek üzerinden alınan malzemeler ayrı bir tepside toplandı (Şekil 4.32).



Şekil 4.31 Elek üzerinde kalan malzemenin hassas terazide tartılması.



Şekil 4.32 Eleklerde kalan malzemelerin ayrı bir tepside toplanması.

Bu şekilde üç defada aynı hız ve sürede numunenin tamamı elenerek, eleklerle birlikte üzerinde kalan malzemeler tartıldı, veriler kaydedildi ve ardından fırça ile elekler temizlenerek eleme işlemi sonlandırıldı. Eleme işlemi sonucunda elde edilen verilere dayanarak gradasyon eğrisi çizildi. Taban külü ve granüle yüksek fırın cürufunun da gradasyon eğrisi aynı yöntemle belirlenmiştir.

4.3.1.3 Agregaların Özgül Ağırlık, Su Emme ve Nem İçeriği Tayini

Beton tasarımında kullanılacak olan agregaların özgül ağırlığı tayini ince agregalar da piknometre, iri agregalarda ise Arşimet yöntemi kullanılmıştır.

4.3.1.3.1 Piknometre Yöntemi

Beton tasarımında kullanılacak olan 0/5 mm ince agreganın ve 5/15 mm boyutundaki agreganın, özgül ağırlığının tayini, piknometre deneyi ile yapıldı.

Deney standardı: TS EN 1097-6: Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini [57].

TS 706 EN 12620+A1 :2009; Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi [53].

TS EN 933-1; Agregaların geometrik özellikleri için deneyler – Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini – Eleme yöntemi [54].

ASTM C136/C136M-14; İnce ve Kaba Agregaya Elek Analizi / C136M-14 Standart Test Yöntemi – Elek açıklıkları [55].

Deneyin yapılışı:

0/5 mm boyutlu agregaya için özgül ağırlık tayini TS EN 1097-6'ya göre deney numunesinin hazırlanması kısmında, ince agregaya deney numunesinin kütlesinin 1 kg'dan az olmaması gerektiği belirtilir. Ayrıca eski TS 3526 incelendiğinde oradaki çizelgeye göre de 1 kg numune alınması gerekli olduğu görülür. Uygun olarak oluşturulan ve standarttaki çizelgeye göre 0/5 mm agregaya için deney numunesi 1 kg olarak alındı. Alınan numune, temizlendi ve suya tam doymuş hale gelinceye kadar 24 saat su içerisinde bekletildi. 24 saat sonra suya doymuş hale gelmiş numunenin suyu, taneler kaybolmayacak şekilde elekte süzüldü (Şekil 4.33). Malzeme kaybını önlemek için süzme işlemi elek açıklığı çok küçük olan, 200 no.lu elekte yapıldı.



Şekil 4.33 Suyu doymuş hale gelmiş 0-5 mm agreganın suyunun süzülmesi.

Suyun süzülmesi işleminden sonra numune kuru tepsi içine serildi. Aşırı derecede sulu olan numune, kesik koni yönteminden önce kurutma makinasıyla taneler arasındaki suyun buharlaşması sağlandı. Doymuş kuru yüzey hale geldiğini tespit etmek için kesik koni yöntemi uygulandı. Yaptığım uygulamada numuneye parmak ile dokunulduğunda konikliğin serbestçe bozulduğu görülüp, DKY haline geldiği anlaşıldı (Şekil 4.34).



Şekil 4.34 0-5 mm agreganın DKY haline getirilmesi.

İlk olarak balon joje boş ağırlığı tartıldı ve kaydedildi. Ardından balon jojenin boru kısmındaki 500 ml işaretli çizgiye kadar 25 °C sıcaklığında su dolduruldu (Şekil 4.35).



Şekil 4.35 Balon jojenin su ile doldurulması.

İçi su ile dolu balon joje tartıldı ve sonuç kaydedildi. Balon joje içerisindeki su boşaltılarak, içi kurulandı. Sonra içine, farklı kısımlardan alınan 100-300 g arasında numune huni yardımıyla doldurulup tartılarak, malzemenin DKY ağırlığı hesaplandı. Ardından yine 25 °C deki önceden hazırlanmış su, numune üzerini örtecek şekilde ölçü kabı içerisine dolduruldu. Hava kabarcıklarının çıkması için ölçü kabı 15 dk. boyunca sağa sola çevrilerek sallandı. Hava kabarcıkları çıktıktan sonra, ölçü kabı içerisindeki su seviyesi 500 ml çizgisine gelene kadar pipet ile su eklenerek tamamlandı (Şekil 4.36).



Şekil 4.36 Numunenin balon joje içine aktarılması.

Ardından 25 °C su banyosuna bırakılarak 24 saat beklendi. Beklemenin ardından su tankından çıkarılan balon jojenin dış yüzeyi havlu ile kurulandı. Eksilen su miktarı tekrar işaretli çizgiye kadar tamamlandı ve balon joje, içerisindeki numune ve su ile birlikte tartıldı, kaydedildi. Balon joje içerisindeki su ve numune, darası önceden alınmış olan metal bir tepsiye boşaltıldı ve numune sabit kütleyle gelene kadar tepsisi 24 saatliğine, 115 °C etüve koyuldu. Balon jojenin içi su ile temizlenerek, 5/15 mm agreganın özgül ağırlığı tayini için kurumaya bırakıldı. 24 saatin ardından etüvden çıkarılan tepsisi numuneyle birlikte tartıldı ve tepsinin darası bilindiği için numunenin etüv kuru ağırlığı hesaplandı.

A= balon joje ağırlığı

B= balon joje + su ağırlığı → W₄

C= DKY malzeme ağırlığı → W₂

D= balon joje + su + numune ağırlığı → W₃

E= numunenin etüv kuru ağırlığı → W₁

Standartlarda yer alan formül (4.2), formül (4.3) ve formül (4.4)'e göre özgül ağırlıkların hesabı;

$$\text{İnce agreganın kuru özgül ağırlığı: } \rho_k = \frac{W_1}{W_2+W_4-W_3} \quad (4.2)$$

$$\text{İnce agreganın DKY özgül ağırlığı: } \rho_d = \frac{W_2}{W_2+W_4-W_3} \quad (4.3)$$

$$\text{İnce agreganın görünen özgül ağırlığı: } \rho_g = \frac{W_1}{W_1+W_4-W_3} \quad (4.4)$$

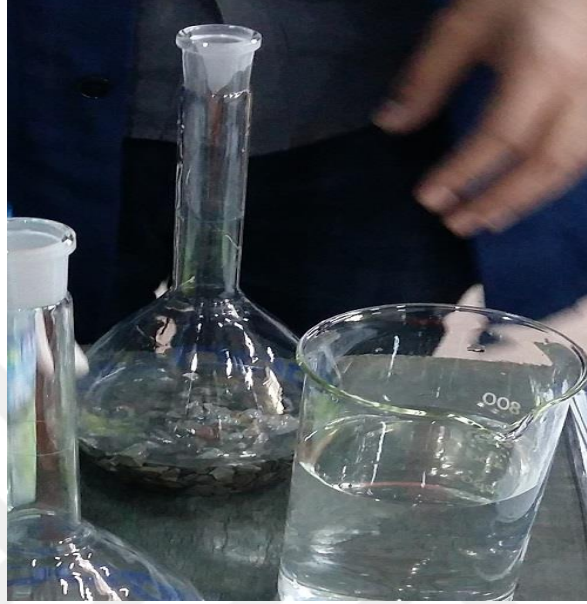
0/5, 5/15, 15/25 mm boyutlu agregası, taban külü ve granüle yüksek fırın cürufunun su emme ve nem içerikleri formül (4.5) ve (4.6)'ya göre hesaplanmıştır.

$$\text{Su emme; } \frac{W_2-W_1}{W_1} * 100 \quad (4.5)$$

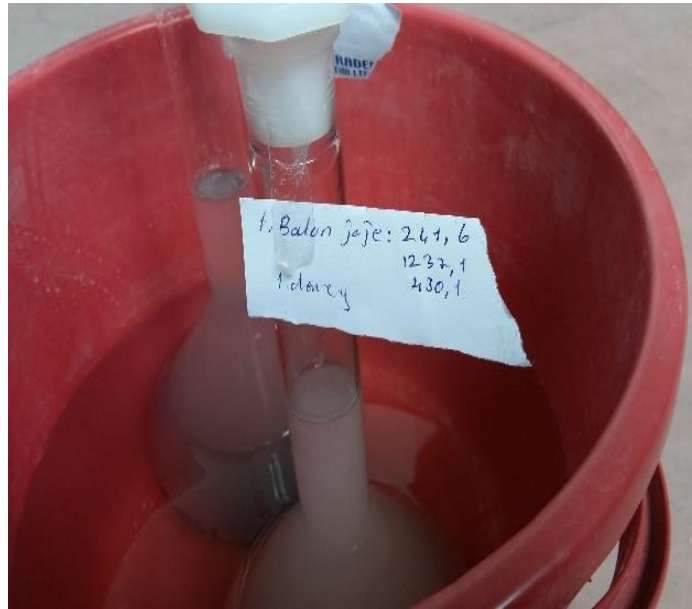
$$\text{Nem İçeriği; } \frac{W_m-W_1}{W_1} * 100 \quad (4.6)$$

5/15 mm agregası için standartta d_{max}'a göre en az alınması gereken deney numunesi kütlesi belirtilen çizelgeden; 5/15 mm için 2 kg olarak belirlendi. 0/5 mm ince agreganın özgül

ağırlığı tayinindeki adımların hepsi aynı şekilde bu deneyde de tekrarlandı (Şekil 4.37 ve Şekil 4.38) ve deneyde aynı malzemeler kullanıldı. Farklı olarak sadece; 0/5 mm ince agregada 500 ml ölçü kabı kullanılmıştı burada ise 1000 ml'lik ölçü kabı kullanıldı. Kurutma işlemleri ve tartımlar sonucunda veriler kaydedildi.



Şekil 4.37 Agregaya yüzeyine kadar su ile doldurulan ölçü kabı.



Şekil 4.38 Ölçü kabındaki 5/15 mm agreganın 24 saat su banyosuna bırakılması.

4.3.1.3.2 Arşimet Yöntemi

Beton tasarımında kullanılacak olan 15/25 mm boyutundaki agreganın, özgül ağırlığının tayini, Arşimet yöntemi ile yapıldı.

Deney standardı: TS EN 1097-6: Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini [57].

TS EN 932-1: Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler- Kısım 1 numune alma metotları [58].

Deneyin yapılışı:

TS EN 1097-6 standardında d_{max} ' a göre en az alınması gereken deney numunesi kütlesinin belirtildiği Çizelge 4.3'ten; 15/25 mm agrega için enterpolasyonla 3,7 kg olarak belirlendi.

Çizelge 4.3 Deney numunesi kısımlarının en az kütlesi (piknometre metodu) [57].

En büyük agrega büyüklüğü mm	Deney numunesi kısmının kütlesi, en az kg
31,5	5
16	2
8	1

Alınan numuneler, temizlendi ve suya tam doygun hale gelinceye kadar 24 saat su içerisinde bekletildi. 24 saat sonra suya doygun hale gelmiş numunelerin suyu, taneler kaybolmayacak şekilde elekte süzüldü. Suyun süzülmesi işleminden sonra agregalar kuru tepsi içine serildi. Bu agregaları doygun kuru yüzey hale geldiğini tespit etmek için 3 yöntem vardır. Bunlar; öncelikle tecrübe, kesik koni yöntemi ve kurutma makinasıyla kurutma yöntemidir. İri agregalar kesik koni yöntemi kullanılmadan, kurutma makinasıyla kurutulur. Tepsie serilen numuneler doygun kuru yüzey hale getirmek üzere kurutma makinasıyla kurutuldu. Kurutma işlemi, agreganın ıslak renkten açık renge değiştiği ana kadar devam ettirildi (Şekil 4.39). Daha sonra doygun kuru yüzey hale gelen numuneler tepside bir kaba aktarıldı ve kap darası alınarak tartıldı. Doygun kuru yüzey ağırlığı W_2 olarak kaydedildi.



Şekil 4.39 15-25 mm agreganın DKY haline getirilmesi.

15/25 mm iri agregası için Arşimet düzeneği hazırlandı. Agregası, kafes örtülü tel sepete konarak Arşimet terazisinde tartıldı (Şekil 4.40). Tel sepet ile birlikte numunenin kütlesi kaydedildi. Sonra tel sepet, suyla dolu kovanın içine, su yüzeyinden en az 5 cm daha aşağıda kalacak şekilde yavaşça indirildi (Şekil 4.41). Kova kenarlarına çarpıp mamasına dikkat edildi. Numune sağa sola sallanarak taneler arasında kalabilecek hava kabarcıkları çıkarıldı. Kova tam ortada ve hareketi sabitlendiğinde, doygun malzemenin sudaki ağırlığı tartıldı. Arşimet kabı ile birlikte numune kütlesi W_3 olarak kaydedildi. Su dolu kovadan çıkarılan sepetin suyu süzülerek, numune kuru tepsiye koyuldu ve 105°C etüve koyuldu. Etüv kurusu haline geldiğinde soğutuldu ve havadaki kuru ağırlığı tartıldı ve W_1 olarak kaydedildi.



Şekil 4.40 Agregası numunesinin kuru halde tartılması.



Şekil 4.41 Agregası numunesinin sudaki ağırlığı ile tartılması.

Etüv kuru ağırlığı; W_1

Doygun kuru yüzey ağırlığı; W_2

Tam olarak sudaki ağırlıktır; W_3

Standarttaki formüllere göre iri agreganın özgül ağırlığı hesaplanmıştır.

$$\text{İri agreganın kuru özgül ağırlığı, (formül 4.7): } \rho_k = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \quad (4.7)$$

$$\text{İri agreganın DKY özgül ağırlığı, (formül 4.8): } \rho_d = \frac{W_2}{W_2 - W_3} \quad (4.8)$$

$$\text{İri agreganın görünen özgül ağırlığı, (formül 4.9): } \rho_g = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \quad (4.9)$$

4.3.2 Mekanik ve Fiziksel Deneyler

4.3.2.1 Slump (Çökme) Deneyi

Deney standardı: TS EN 12350-2 Temmuz 2010 Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme(slump) deneyi [59].

Deneyin yapılışı:

Kalıbın iç yüzeyi ile taban plakası, bezle nemlendirilip, kalıp yatay konumdaki taban plakası/yüzeyi üzerine yerleştirildi. Kalıp Betonun doldurulması esnasında, iki ayak basma parçasına basılarak taban plakası/yüzeyine sıkıca sabitlendi (Şekil 4.42).



Şekil 4.42 Betonun çökme konisine yerleştirilmesi.

1. kademe slump konisi 3 seferde ve eşit miktarda (1/3) dolduruldu. Her doldurma esnasında 25 defa şişleme yapılarak sıkıştırma yapıldı (Şekil 4.43).



Şekil 4.43 Çökme konisine yerleştirilen taze betonun şişlenmesi.

2. kademe çökme konisinin 2/3 yüksekliğine kadar dolduruldu. Kademenin sıkıştırılması da 25 şiş darbesi ile yapıldı ve şiş vurma yüksekliği bir önceki kademeye geçecek kadar vuruldu.

3. kademe doldurulması çökme konisinin üst yüzeyinin üzerinde olmalıdır. 3. kademenin sıkıştırılması da 25 şiş darbesi ile yapıldı ve şiş vurma yüksekliği bir önceki kademeye geçecek kadar vuruldu. Üst başlık çıkartılırken fazla betonun tepsi yüzeyine dökülmemesine dikkat edildi. Yüzeyindeki fazla beton masterlama ile sıyrıldı (Şekil 4.44).



Şekil 4.44 Beton yüzeyinin masterlanması.

Çökme konisini çekme işlemi 2-5 saniye arasında sabit hızla yapıldı (Şekil 4.45).



Şekil 4.45 Çökme konisini çekme işlemi.

Deney kesintisiz olarak 150 sn'de tamamlandı. Çökme konisi ile beton arasında oluşan yükseklik farkı 3 farklı noktadan ölçülerek belirlenip bu ölçümlerin ortalaması alındı. Çökme miktarı uzunluk olarak ölçüldü (Şekil 4.46)



Şekil 4.46 (a), (b) ve (c) Çökme miktarının ölçülmesi.

4.3.2.2 Birim Ağırlık Deneyi

Deney standardı: TS EN 12350-6 Beton-Taze beton deneyleri- Bölüm 6: Yoğunluk [60].

Deneyin yapılışı:

Üretilen beton numuneler 15x15x15 cm boyutlu küp numunelere sıkıştırılarak doldurulmuştur. Üzerindeki beton kalıntıları silinerek temiz hale getirilmiştir. Dolu kap

tartılmış ve brüt ağırlıktan kabın tara ağırlığı çıkartılmış ve betonun net ağırlığı formül (4.10)'a göre bulunmuştur.

$$D = \frac{M_1 - M_2}{V} \quad (4.10)$$

D= Taze betonun birim ağırlığı, kg/m^3

$M_1 - M_2$ = Ölçme kabındaki betonun net ağırlığı, kg

V= Ölçme kabının kalibre edilmiş hacmidir, m^3

4.3.2.3 Su Emme Deneyi

Deney standardı: TS EN 480-11 Kimyasal katkıları- Beton, harç, şerbet için- Deney metotları- bölüm 11: Sertleşmiş betonda hava boşluğu özelliklerinin tayini [61].

Deneyin yapılışı:

Üretilen beton numuneler (Şekil 4.47) 24 saat boyunca $100^\circ C$ ' deki etüvde bekletildi. Bekletilen numunelerin kuru ağırlık ölçümü yapıldı (Şekil 4.48). Sonrasında $24 \pm 2^\circ C$ su dolu kaba konulup 24 saat bekletildi. Numuneler sudan çıkartılıp üzerindeki sular hafifçe temizlenerek su emmiş durumdaki ağırlığı ölçüldü. Üretilen beton numunelerin su emme yüzdeleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.



Şekil 4.47 24 saat boyunca $100^\circ C$ 'deki etüvde bekletilmiş beton numuneler.



Şekil 4.48 Numunelerin ağırlığının hesaplanması.

$$W_s = (W_1 - W_k) / W_k \times 100 \quad (4.11)$$

Burada;

W_s = Su emme oranı (%)

W_1 = Islak kütle (g)

W_k = Kuru kütle (g)

4.3.2.4 Basınç Dayanım Deneyi

Deney standardı: TS EN 12390-3 Beton- Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm:3 Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini [62].

TS EN 12390-4 Beton- Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm:4 Basınç dayanımı-Deney makinalarının özellikleri [63].

Deneyin yapılışı:

Numune kalıpları beton sertleştikten sonra kalıptan deformasyon olmadan ayrılabilmesi için yağlandı. Hazırlanan beton kademeli olarak küp numuneye yerleştirildi (Şekil 4.49).



Şekil 4.49 Numunenin kalıba yerleştirilmesi.

Beton kalıplar içerisinde 24 saat bekletildikten sonra kalıplardan Şekil 4.50'deki gibi hava basılarak söküldü.



Şekil 4.50 Numunenin kalıptan sökülmesi.

Numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra 23 ± 1.7 °C ve %95 neme sahip kür odasında ve bu sıcaklıktaki suda bekletildi (Şekil 4.51).



Şekil 4.51 Numunelerin kür havuzunda bekletilmesi.

Numune, prese yerleştirilmeden önce, yüzeyindeki fazla su kurulandı (Şekil 4.52).



Şekil 4.52 Numunenin kurutulması.

Pres yükleme başlıklarının yüzeyleri silinerek temizlendi ve numunenin başlıklarla temas edecek yüzeylerinde bulunan herhangi gevşek çıkıntı veya tane alındı. Küp numuneler, yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak konumda yerleştirildi (Şekil 4.53). Yük, numuneye, darbe tesiri olmaksızın, seçilen hızdan sapma, \pm %10'u geçmeyecek şekilde, en büyük yüke ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulandı. Numunenin %10 deformasyona ulaşması ile deney son buldu (Şekil 4.54). Pres makinasından numunenin yükleme altındaki şekil değiştirme grafiği ve değerler yazdırıldı.



Şekil 4.53 Numunenin prese yerleştirilmesi.



Şekil 4.54 Basınç testi sonrası kırılmış numuneler.

BÖLÜM 5

BULGULAR

Tezin bu bölümünde, yapılan deney sonuçlarına göre aşağıda tablolar ve grafikler halinde sunulan bulgulara ulaşılmıştır.

5.1 KULLANILAN MALZEMELERİN KARAKTERİZASYONUNU İÇEREN DENEY SONUÇLARI

Kullanılacak tüm malzemelerin (çimento, agrega, taban külü ve yüksek fırın cürufu) karakterizasyonunu içeren deneyler yapılmıştır. Bu deneyler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Çimentonun özgül yüzey ve ağırlığının tayini
2. Doğal agregaların özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini
3. Yüksek fırın cürufunun özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini
4. Taban külünün özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini
5. Doğal agrega, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün maksimum dane çapı büyüklüklerinin belirlenmesi (Elek analizi yöntemi kullanılarak)
6. Yüksek fırın cürufunun ve taban külünün x-ışını flüoresans analizi (XRF) ve mikroyapı analizi (SEM)

Çizelge 5.1’de Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Laboratuvar’ında yapılan çimentonun özgül ağırlığı ve Pelenkoğlu A.Ş’nin TS EN 196-6’yı esas aldığı özgül yüzey deney sonucu sunulmuştur [64].

Çizelge 5.1 Çimentonun özgül yüzeyi ve ağırlığının tayini.

Özgül Ağırlık (gr/cm^3) (TS EN 196-3)	Özgül Yüzey (cm^2/gr) (TS EN 196-6)
3,13	3471
3,13	3388

Çizelge 5.2, 5.3 ve 5.4'te doğal agregaların ve referans betonlarında kum yerine ikame ettirilen yüksek fırın cürufunun ve taban külünün TS EN 1097-6 standardına uygun özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayinine ait sonuçları sunulmaktadır [57].

Çizelge 5.2 Agregaların özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini.

Boyutlar (mm)	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Su Emme Tayini	Nem İçeriği Tayini
0/5	2,67	%1,04	%0,21
5/15	2,69	%0,37	%0,32
15/25	2,70	%0,5	%0,11

Çizelge 5.3 Yüksek fırın cürufunun özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini.

Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Su Emme Tayini	Nem İçeriği Tayini
2,69	%2,11	%0,11
2,72	%1,38	%0,06

Çizelge 5.4 Taban külünün özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini.

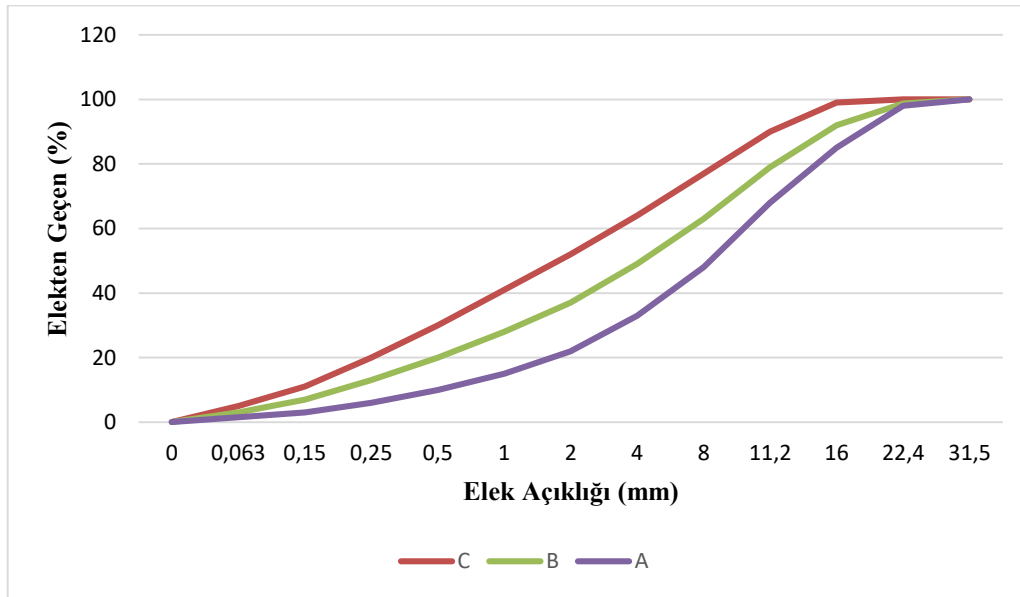
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Su Emme Tayini	Nem İçeriği Tayini
1,74	%22,75	%8,17

Betonun hacimce yaklaşık %75'ini oluşturan agregalar, istenilen betonun tasarlanmasında en önemli faktör olduğundan, beton karışımlarının teorik olarak hesaplanmasında ilk önce granülometri eğrileri dikkate alınmalıdır. Bu doğrultuda doğal agregaların, granüle yüksek fırın cürufunun ve taban külünün elek analizi deneyleri yapıp granülometri eğrileri ve karışımın incelik modülleri tespit edilmiştir. Doğal agregaların, yüksek fırın cürufunun ve taban külünün elek analizi sonuçları sırasıyla Çizelge 5.5, Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de gösterilmektedir. Yapılan çalışmada yüksek fırın cürufu ve taban külü, standart betonda ince agrega yerine ikame ettirilen kum yerine kullanılmış olan agregalardır.

Çizelge 5.5 Doğal agregaların elek analizi sonuçları.

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Darası (gr)	Dara+elek üstünde kalan malzeme (gr)	Elek üstünde kalan malzeme (gr)	Yığılımlı malzeme miktarı (kg)	Kalan (%)	Geçen (%)
25,4	469,4	469,4	0	0	0	100
19	508,2	962,1	453,9	453,9	12,1	87,9
9,5	487,6	1393,7	906,1	1360	36,2	63,8
4,75	394	1378,2	984,2	2344,2	62,4	37,6
2,36	417,6	726,6	309	2653,2	70,6	29,4
2	461,8	576,9	115,1	2768,3	73,6	26,4
1,18	404,1	762	357,9	3126,2	83,1	16,9
0,6	367,8	682,9	315,1	3441,3	91,5	8,5
0,425	405,3	524,4	119,1	3560,4	94,7	5,3
0,3	388,4	446,2	57,8	3618,2	96,2	3,8
Tepsi	333,8	477,5	143,7	3761,9	100	0

İdeal granülometri, iri ve ince agregaların birlikte bulunduğu agreganın karışımından elde edilir. İdeal granülometriye sahip betonun, dayanımı ve dayanıklılığı yüksektir. Bir agreganın beton üretimine uygun koşulları sağlaması için agreganın granülometrik bileşiminin ilgili standardın TS 802 belirlemiş olduğu max. ve min. sınır eğrileri arasına düşmesi gerekir. Bu standartta en büyük agreganın tane boyutu 8, 16, 31,5 ve 63 mm için ayrı ayrı olmak üzere A (geçen min./alt sınır eğrisi), B ve C (geçen max./üst sınır eğrisi) diye üç sınır eğrisi tanımlanmaktadır. Şekil 5.1’de TS 802’ye göre agreganın en büyük tane büyüklüğü 16 mm olan beton için belirlenen granülometri eğrisi gösterilmektedir.



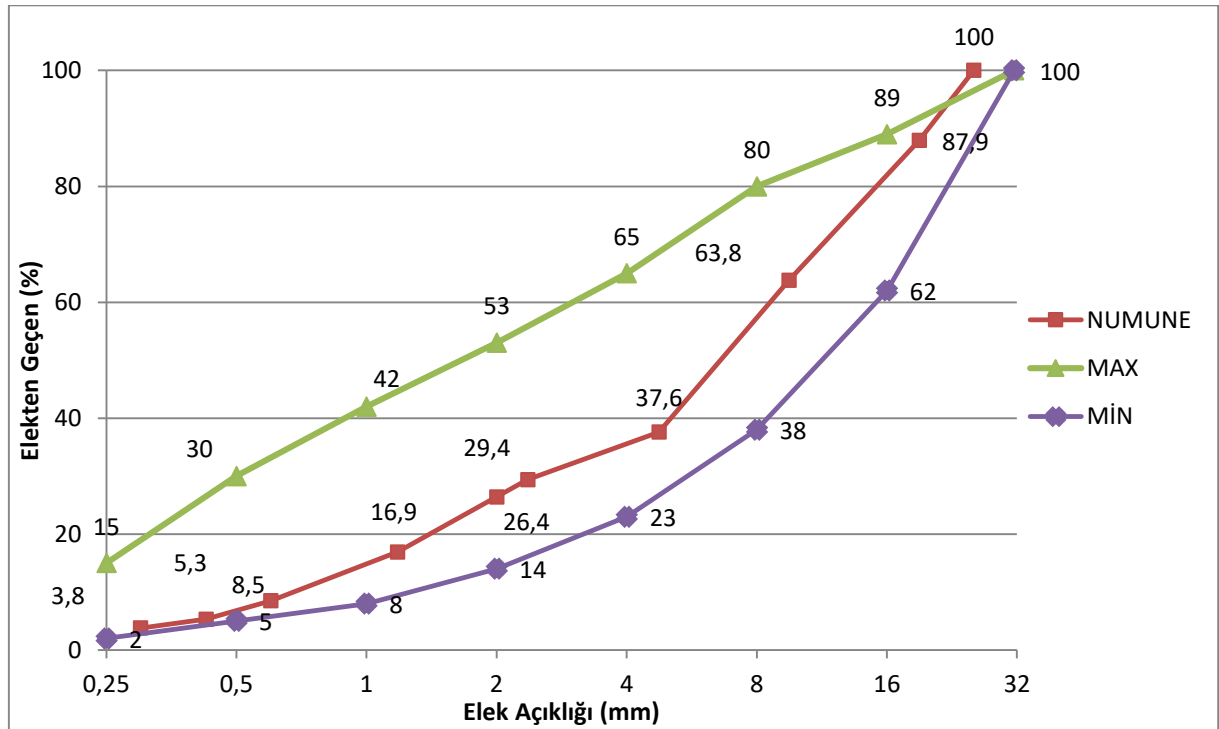
Şekil 5.1 Agreganın en büyük tane büyüklüğü 16 mm olan beton için belirlenen granülometri eğrisi.

TS 802'nin belirlemiş olduğu 31,5 mm elek göz açıklığı için sınır eğrileri değerleri Çizelge 5.6'da gösterilmektedir [56].

Çizelge 5.6 TS 802'de yer alan granülometri alt ve üst sınır eğrilerinin değerleri.

ELEK NO	KÜM. GEÇEN %MAX	KÜM. GEÇEN %MİN
31,5	100	100
16	89	62
8	80	38
4	65	23
2	53	14
1	42	8
0,5	30	5
0,25	15	2

Deney verileri sonucu elde ettiğimiz granülometri eğrisi ve Çizelge 5.6'da verilen sınır değerlere göre çizilen max. ve min. sınır eğrileri Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılacak olan doğal agrega, TS 802 standardına göre ideal (kullanılabilir) bölgededir. Yani iyi bir granülometriye sahip olarak kabul edilebilir. Bu agrega karışımıyla yapılacak olan betonun geçirimsizliğinin, dayanımının ve dayanıklılığının yüksek olması beklenmektedir.

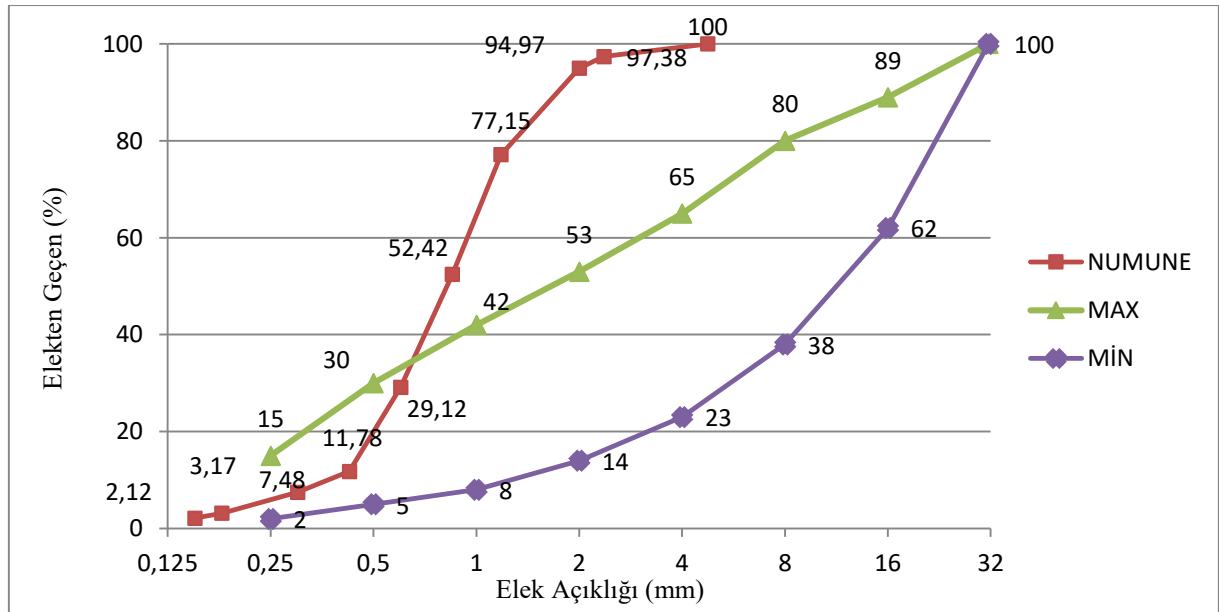


Şekil 5.2 Doğal agregaların granülometri eğrisi.

Çizelge 5.7 Yüksek fırın cürufunun elek analizi sonuçları.

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Darası (gr)	Dara+elek üstünde kalan malzeme(gr)	Elek üstünde kalan malzeme(gr)	Yığılımlı malzeme miktarı(kg)	Kalan (%)	Geçen (%)
4,75	394,3	394,3	0	0	0	100
2,36	417,8	456,7	38,9	38,9	2,62	97,38
2	462,1	498,1	36	74,9	5,03	94,97
1,18	404,5	669,6	265,1	340	22,85	77,15
0,85	411,9	779,9	368	708	47,58	52,42
0,6	368,2	714,9	346,7	1054,7	70,88	29,12
0,425	405,7	663,8	258,1	1312,8	88,22	11,78
0,3	388,7	452,7	64	1376,8	92,52	7,48
0,18	326,2	390,3	64,1	1440,9	96,83	3,17
0,15	383,3	399	15,7	1456,6	97,88	2,12
Tepsi	333,6	365,1	31,5	1488,1	100	0

Granülometri eğrisi sürekli yükselen eğilerdir ve granülometri eğrisi üst kenara (geçen max.) ne kadar yakınsa agregada o oranda fazla ince agregaya var demektir. Benzer şekilde iri tane içeren agregaların granülometri eğrileri alt kenara (geçen min.) yakın olur. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' te kullanılan agregalar yüksek fırın cürufu ve taban külü ince agregaya yerine ikame ettirilen 4 mm kare delikli elek sisteminden geçen agregalar olduğundan granülometri eğrilerinde C sınır eğrisine (max. kısmına yani üst sınıra) daha yakın oldukları görülmektedir.

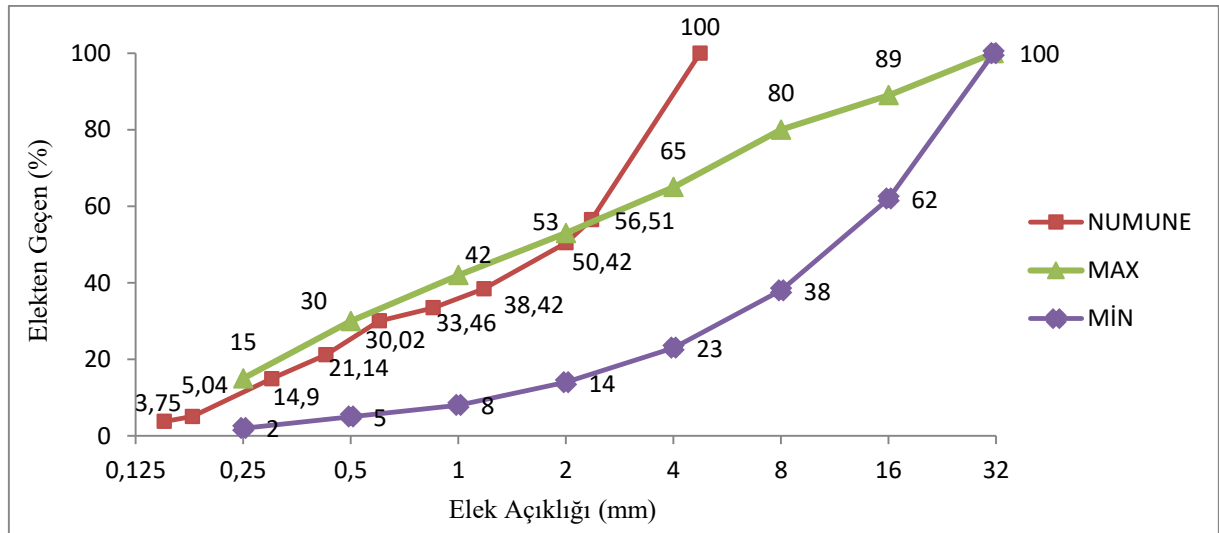


Şekil 5.3 Yüksek fırın cürufunun granülometri eğrisi.

Çizelge 5.8 Taban külünün elek analizi sonuçları.

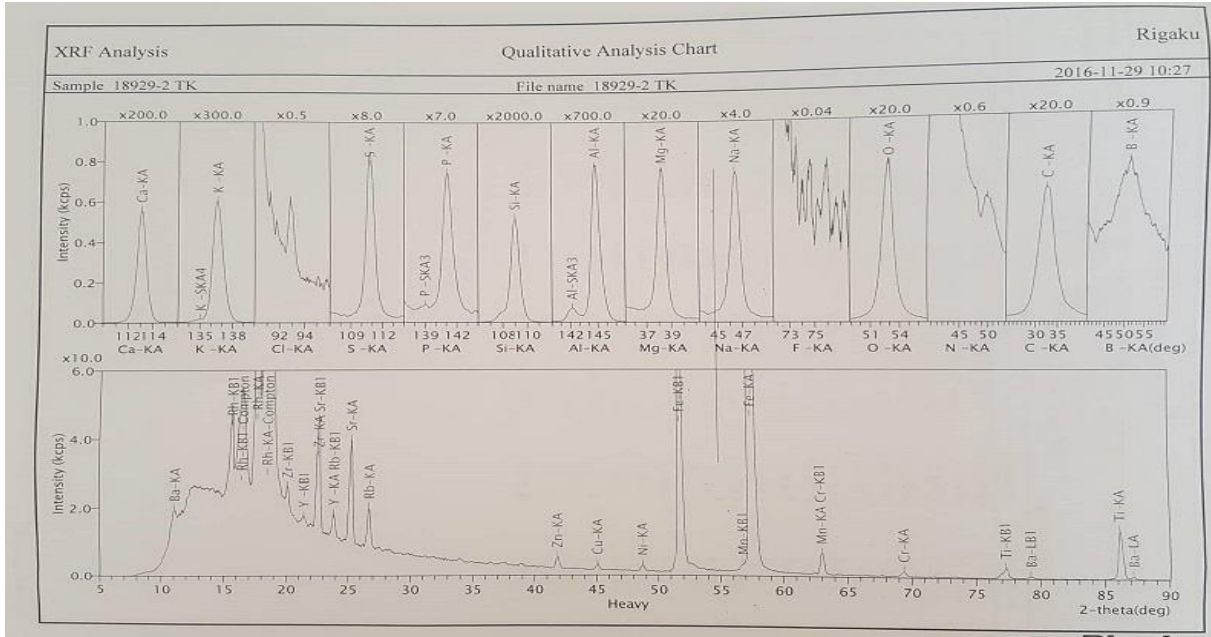
Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Darası (gr)	Dara+elek üstünde kalan malzeme(gr)	Elek üstünde kalan malzeme(gr)	Yığılmış malzeme miktarı(kg)	Kalan (%)	Geçen (%)
4,75	394,3	394,3	0	0	0	100
2,36	417,8	1067,5	649,7	649,7	43,49	56,51
2	462,1	553,1	91	740,7	49,58	50,42
1,18	404,5	583,7	179,2	919,9	61,58	38,42
0,85	411,9	486,1	74,2	994,1	66,54	33,46
0,6	368,2	419,6	51,4	1045,5	69,98	30,02
0,425	405,7	538,3	132,6	1178,1	78,86	21,14
0,3	388,7	481,9	93,2	1271,3	85,1	14,9
0,18	326,2	473,5	147,3	1418,6	94,96	5,04
0,15	383,3	402,6	19,3	1437,9	96,25	3,75
Tepsi	333,6	389,6	56	1493,9	100	0

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' ten elde edilen veriler sonucunda yüksek fırın cürufunda ve taban külünün neredeyse hepsinin ince agrega olduğu gözlemlenmiştir. İnce agrega sınırı 4mm ve altındaki boyutlara sahip agrega olarak tanımlanmaktadır. Bu iki atık/yan ürün, proje kapsamında ince agrega olarak kullanılacağından doğrudan beton içine katılarak kullanılmışlar ve hiçbir granülometrik ayırtırmaya tabii tutulmamışlardır.

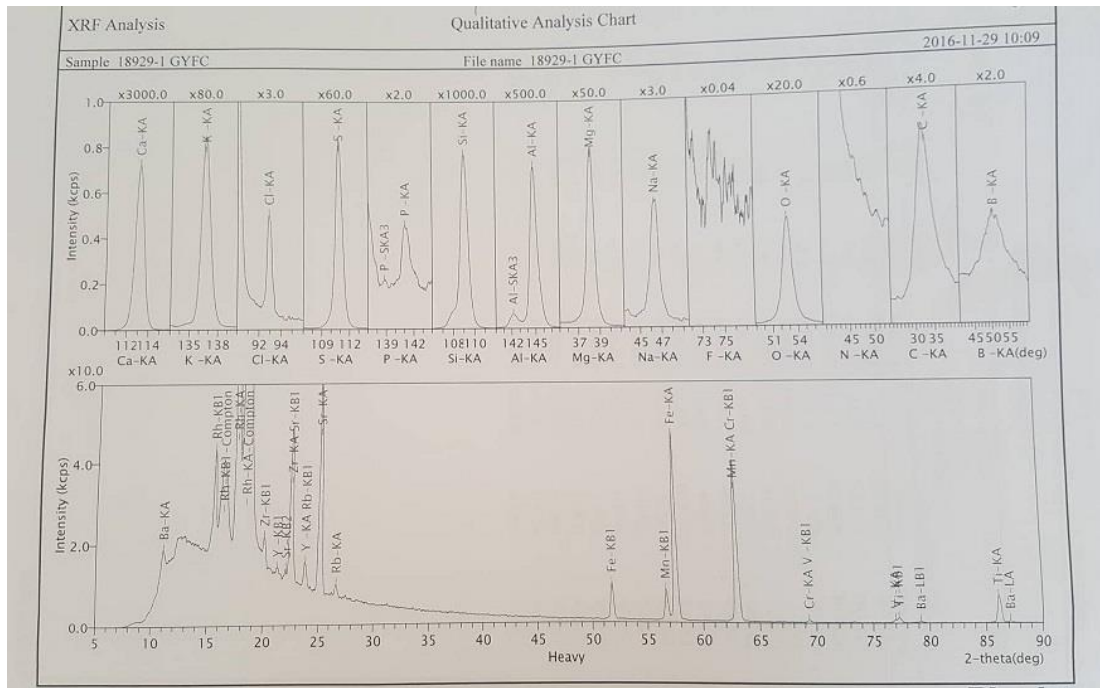


Şekil 5.4 Taban külünün granülometri eğrisi.

Şekil 5.5 ve 5.6’ da GYFC ve TK için ODTÜ Merkez Laboratuvarı AR-GE Eğitim ve Ölçme Merkezi’ne gönderilen numuneler üzerinde x-ışını flüoresans analizi (XRF) ve mikroyapı analizi (SEM) deneyleri yaptırılmış ve nicel verilerin analiz sonuçları gösterilmiştir. Örnekler 65 °C’ de 1 gece 105 °C’de 2 saat kurutulduktan sonra binde eklenmeden pellet olarak hazırlanmıştır.



Şekil 5.5 Taban külünün kalitatif analiz resmi.



Şekil 5.6 Granüle yüksek fırın cürufunun kalitatif analiz resmi.

Çizelge 5.9 GYFC XRF sonuçları.

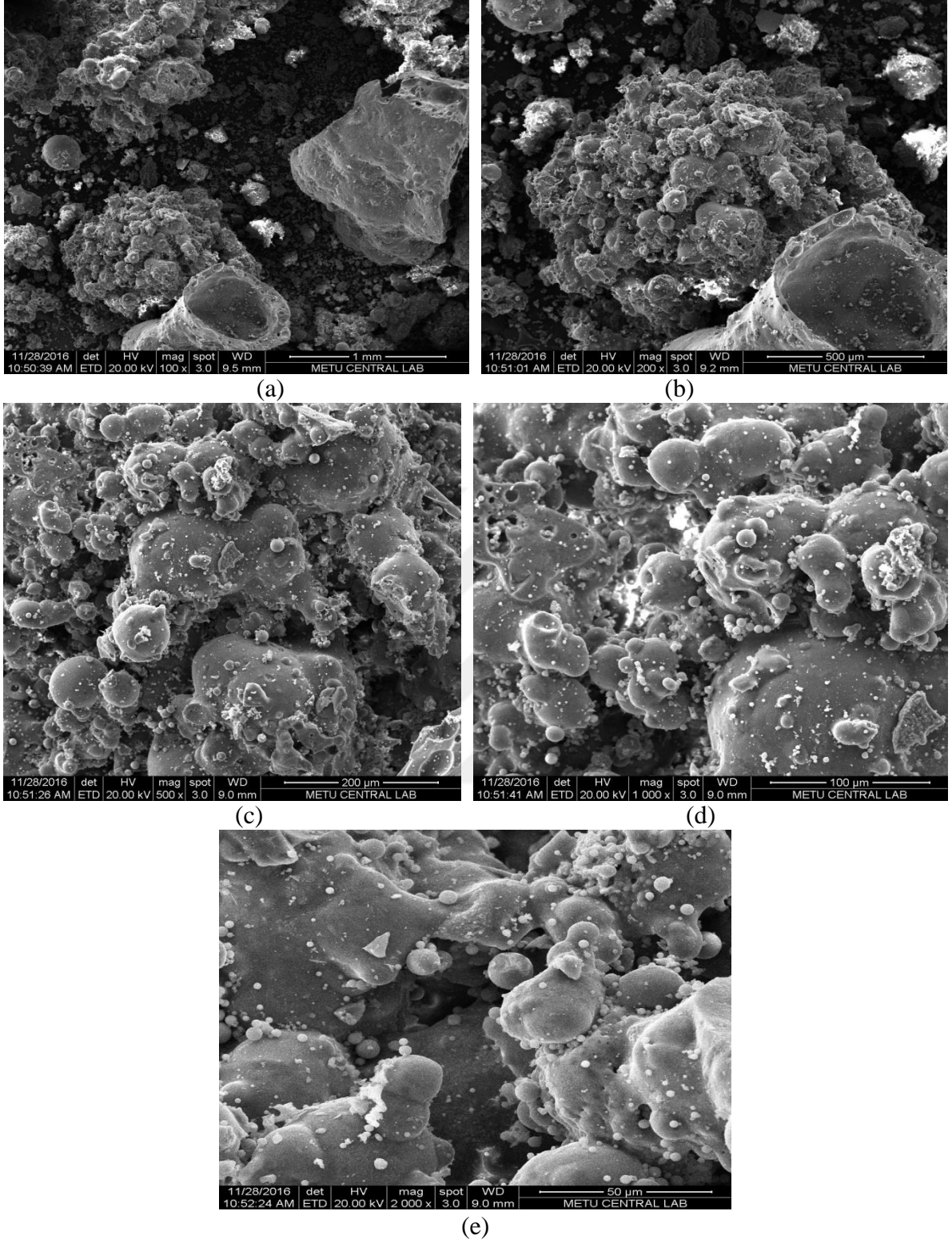
	Bileşen	Sonuç	Element	Yoğunluk
1	<i>CaO</i>	38,1	<i>Ca – Ka</i>	2155,4462
2	<i>SiO₂</i>	34,2	<i>Si – Ka</i>	762,1120
3	<i>Al₂O₃</i>	12,7	<i>Al – Ka</i>	351,6492
4	<i>CO₂</i>	5,91	<i>C – Ka</i>	2,7259
5	<i>MgO</i>	3,18	<i>Mg – Ka</i>	38,7855
6	<i>SO₃</i>	1,48	<i>S – Ka</i>	49,6299
7	<i>MnO</i>	1,10	<i>Mn – KB1</i>	7,2231
8	<i>Fe₂O₃</i>	0,966	<i>Fe – KA</i>	46,3914
9	<i>TiO₂</i>	0,854	<i>Ti – KA</i>	6,1621
10	<i>K₂O</i>	0,814	<i>K – KA</i>	66,3705
11	<i>Na₂O</i>	0,335	<i>Na – KA</i>	1,5249
12	<i>SrO</i>	0,0965	<i>Sr – KA</i>	53,1428
13	<i>BaO</i>	0,0934	<i>Ba – LA</i>	0,3041
14	<i>Cl</i>	0,0596	<i>Cl – KA</i>	1,2398
15	<i>ZrO₂</i>	0,0414	<i>Zr – KB1</i>	5,7872
16	<i>Cr₂O₃</i>	0,0200	<i>Cr – KA</i>	0,3844
17	<i>P₂O₅</i>	0,0131	<i>P – KA</i>	0,5339
18	<i>Rb₂O</i>	0,0056	<i>Rb – KA</i>	2,9665

Çizelge 5.9’da TS EN 15167-1 [65] standardına uygun granüle yüksek fırın cürufunun analiz sonuçları gösterilmektedir. Çizelge 5.10’da da taban külüne ait analiz sonuçları gösterilmektedir.

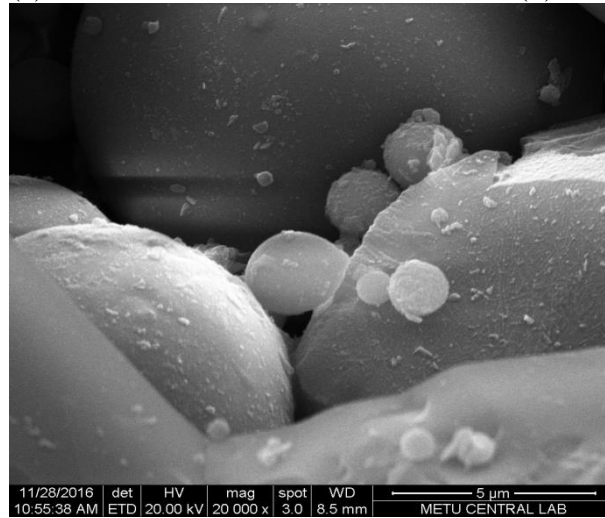
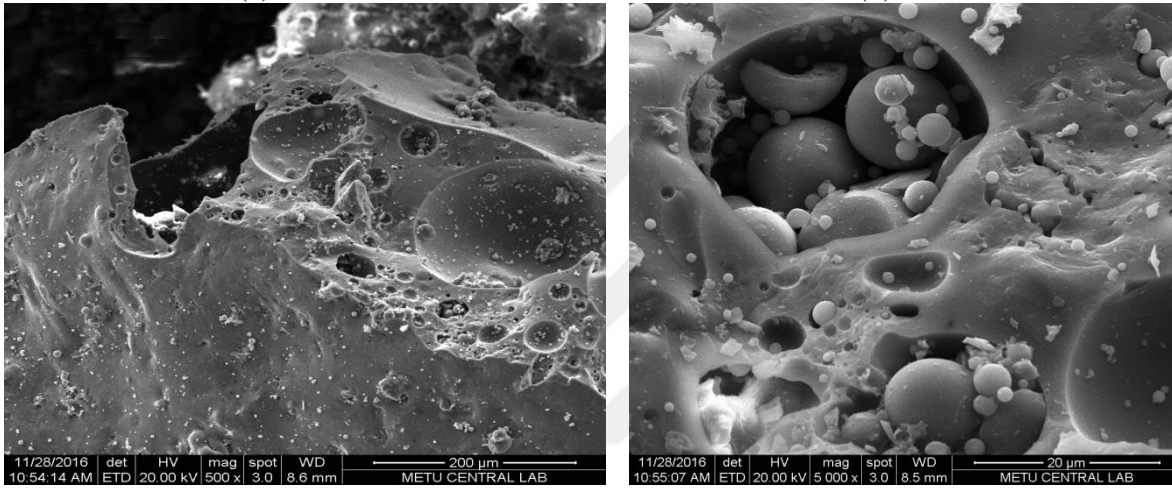
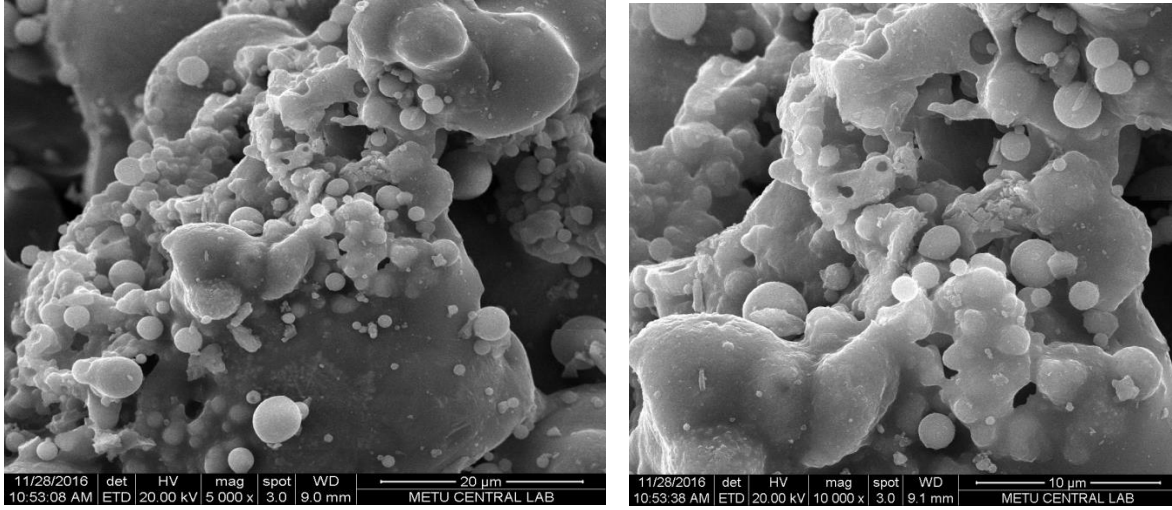
Çizelge 5.10 TK XRF sonuçları.

	Bileşen	Sonuç	Element	Yoğunluk
1	<i>SiO₂</i>	42,7	<i>Si – Ka</i>	1031,4685
2	<i>CO₂</i>	27,2	<i>C – Ka</i>	12,2434
3	<i>Al₂O₃</i>	17,1	<i>Al – Ka</i>	547,8798
4	<i>Fe₂O₃</i>	6,46	<i>Fe – KA</i>	688,0095
5	<i>K₂O</i>	2,03	<i>K – KA</i>	179,4442
6	<i>CaO</i>	1,55	<i>Ca – Ka</i>	110,2213
7	<i>MgO</i>	1,05	<i>Mg – Ka</i>	14,5065
8	<i>TiO₂</i>	0,810	<i>Ti – KA</i>	13,5800
9	<i>Na₂O</i>	0,545	<i>Na – KA</i>	2,8617
10	<i>SO₃</i>	0,193	<i>S – Ka</i>	6,5967
11	<i>P₂O₅</i>	0,116	<i>P – KA</i>	4,8205
12	<i>MnO</i>	0,0949	<i>Mn – KB1</i>	1,4117
13	<i>BaO</i>	0,0677	<i>Ba – LA</i>	0,5130
14	<i>SrO</i>	0,0302	<i>Sr – KA</i>	30,0611
15	<i>Cr₂O₃</i>	0,0284	<i>Cr – KA</i>	1,3449
16	<i>ZrO₂</i>	0,0220	<i>Zr – KB1</i>	5,5415
17	<i>Rb₂O</i>	0,0119	<i>Rb – KA</i>	11,3721
18	<i>ZnO</i>	0,0116	<i>Zn – KA</i>	3,3562
19	<i>NiO</i>	0,0103	<i>Ni – KA</i>	1,7226
20	<i>CuO</i>	0,0078	<i>Cu – KA</i>	1,6836

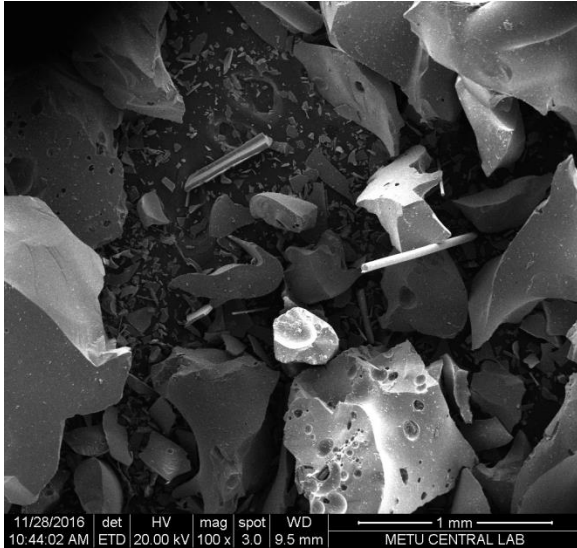
ODTÜ Merkez Laboratuvarı AR-GE Eğitim ve Ölçme Merkezi'ne gönderilen taban külü ve granüle yüksek fırın cürufu numunelerinin mikro yapı görüntüleri (SEM) Şekil 5.7, 5.8, 5.9 ve 5.10' da değişik boyutta gösterilmiştir.



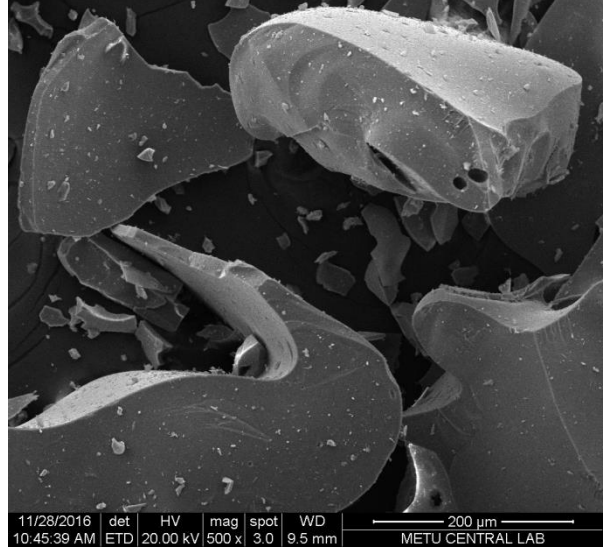
Şekil 5.7 Taban külünün mikroyapı analiz sonuçları (SEM), (a) Taban Külünün 1 mm boyutlu SEM görüntüsü, (b) Taban Külünün 500 μm boyutlu SEM görüntüsü, (c) Taban Külünün 200 μm boyutlu SEM görüntüsü, (d) Taban Külünün 100 μm boyutlu SEM görüntüsü, (e) Taban Külünün 50 μm boyutlu SEM görüntüsü



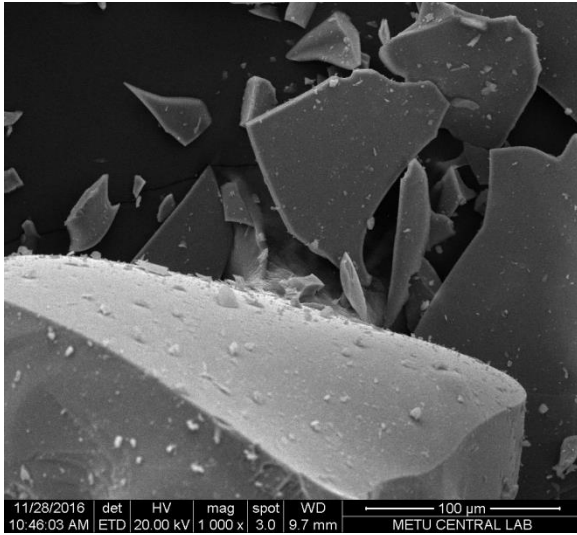
Şekil 5.8 Taban külünün mikroyapı analiz sonuçları (SEM), (a) Taban Külünü'nün 20 µm boyutlu SEM görüntüsü, (b) Taban Külünü'nün 10 µm boyutlu SEM görüntüsü, (c) Taban Külünü'nün 200 µm boyutlu SEM görüntüsü, (d) Taban Külünü'nün 20 µm boyutlu SEM görüntüsü, (e) Taban Külünü'nün 5 µm boyutlu SEM görüntüsü



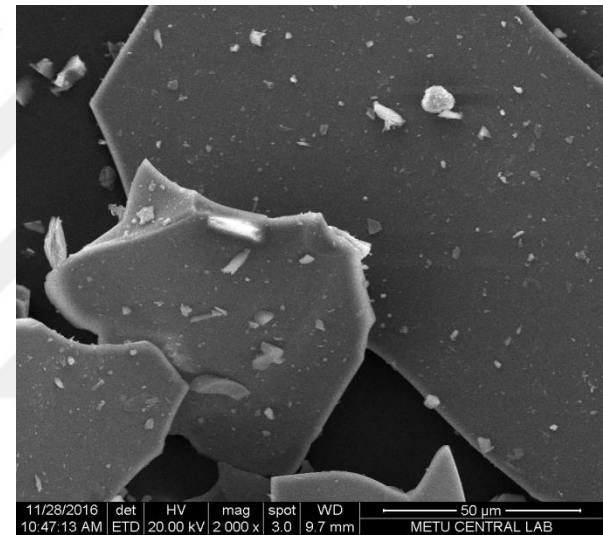
(a)



(b)

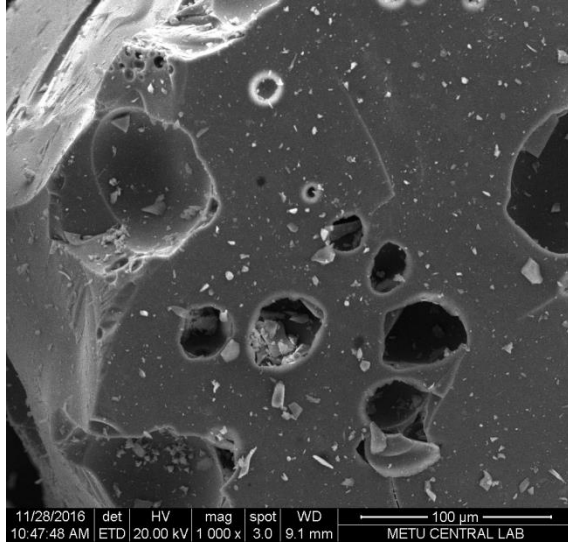


(c)

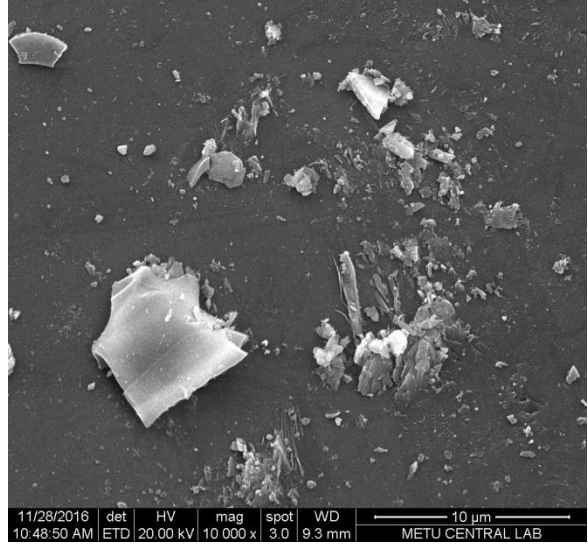


(d)

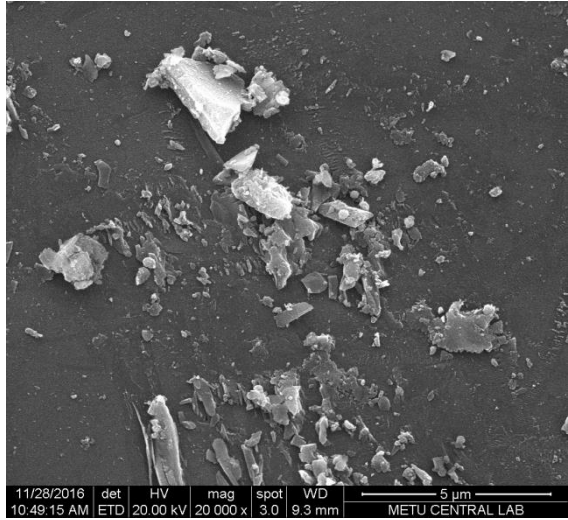
Şekil 5.9 Granüle yüksek fırın cürufunun mikroyapı analiz sonuçları (SEM), (a) Granüle yüksek fırın cürufunun 1 mm boyutlu SEM görüntüsü, (b) Granüle yüksek fırın cürufunun 200 µm boyutlu SEM görüntüsü, (c) Granüle yüksek fırın cürufunun 100 µm boyutlu SEM görüntüsü, (d) Granüle yüksek fırın cürufunun 50 µm boyutlu SEM görüntüsü



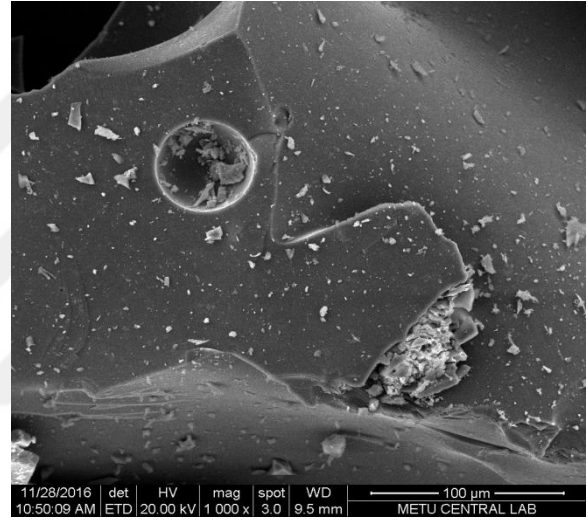
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.10 Granüle yüksek fırın cürufunun mikroyapı analiz sonuçları (SEM), (a) Granüle yüksek fırın cürufunun 100 μm boyutlu SEM görüntüsü, (b) Granüle yüksek fırın cürufunun 10 μm boyutlu SEM görüntüsü, (c) Granüle yüksek fırın cürufunun 50 μm boyutlu SEM görüntüsü, (d) Granüle yüksek fırın cürufunun 100 μm boyutlu SEM görüntüsü

5.2 MEKANİK VE FİZİKSEL DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde, elde edilen sonuçlar doğrultusunda standart kum kullanılarak hazırlanacak referans betonlarının teorik karışım tasarımı yapılmıştır. Beton karışımı için teorik değerler bulunduktan sonra beton üretilerek taze betonun birim ağırlığı tespit edilip, 1 m³'lük gerçek malzeme miktarları bulunduktan sonra gerçek referans betonları tasarlanmıştır. C20/25 sınıflı referans betonunun gerçek karışım değerleri Çizelge 5.11'de, C30/37 sınıflı referans betonun gerçek karışım değerleri Çizelge 5.12'de verilmiştir. Tasarımda istenilen işlenebilirlik elde

edilip C20/25 ve C30/37 sınıflı betonların 7 günlük ve 28 günlük dayanımlarına bakılmıştır. Çizelge 5.13' te C20/25 sınıflı betonun 7 ve 28 günlük dayanım sonuçları, Çizelge 5.14'de C30/37 sınıflı betonun 7 ve 28 günlük dayanım sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 5.11 C20/25 sınıflı referans betonunun gerçek karışım değerleri.

Malzeme	1 m ³	30 dm ³
	kg	kg
Çimento	250	7,500
Yeni w/c	0,63	0,0189
Su	157	4,71
0/5 mm boyutlu agrega	1042	31,26
5/15 mm boyutlu agrega	362	10,86
15/25 mm boyutlu agrega	604	18,12
Katkı	4,25	0,1275
TOPLAM	2419	72,596

Çizelge 5.12 C30/37 sınıflı referans betonun gerçek karışım değerleri.

Malzemeler	1 m ³	30 dm ³
	kg	kg
Çimento	300	9
Yeni w/c	0,52	0,0156
Su	156	4,68
0/5 mm boyutlu agrega	962	28,86
5/15 mm boyutlu agrega	355	10,65
15/25 mm boyutlu agrega	651	19,53
Katkı	5,10	0,153
TOPLAM	2429	72,889

Çizelge 5.13 C20/25 sınıflı referans betonun 7 günlük ve 28 günlük dayanım sonuçları.

	7 Günlük Dayanım (MPa)	28 Günlük Dayanım (MPa)
	30,578	35,123
	30,633	35,682
	30,697	35,701
Ort:	30,636	35,502

Çizelge 5.14 C30/37 sınıflı referans betonun 7 günlük ve 28 günlük dayanım sonuçları.

	7 Günlük Dayanım (MPa)	28 Günlük Dayanım (MPa)
	38,821	46,497
	38,957	47,123
	39,954	47,701
Ort:	39,244	47,107

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda referans betonları baz alınarak ince agregaya yerine taban külü ve granüle yüksek fırın cürufu ikameli beton karışımları elde edilmiştir. Taban külü ve yüksek fırın cürufu, ayrı ayrı, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında ince agregaya yerine ikame edilerek, beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan beton numunelerinin 1 m³'lük karışımı için gerekli malzeme miktarları aşağıda tablo halinde sıralanmıştır (Çizelge 5.15).

Çizelge 5.15 Her seri için beton karışımlarına dahil olan malzeme miktarları.

Beton Adı	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	S/Ç	Katkı miktarı(kg)	0-5 Kırma kum (kg/m ³)	5-12 Kırma taş (kg/m ³)	12-22 Kırma taş (kg/m ³)	Taban Külü (kg/m ³)	Granüle Yüksek Fırın Cürufu (kg/m ³)
C20/25 KB	250	157	0,63	4,25	1042	362	604	-	-
C20/25 %25 TK	250	157	0,63	4,25	781,5	362	604	169,76	-
C20/25 %50 TK	250	157	0,63	4,25	521	362	604	339,53	-
C20/25 %75 TK	250	157	0,63	4,25	260,5	362	604	509,3	-
C20/25 %100 TK	250	157	0,63	4,25	-	362	604	679,06	-
C20/25 %25 GYFC	250	157	0,63	4,25	781,5	362	604	-	264,40
C20/25 %50 GYFC	250	157	0,63	4,25	521	362	604	-	528,81
C20/25 %75 GYFC	250	157	0,63	4,25	260,5	362	604	-	793,21
C20/25 %100 GYFC	250	157	0,63	4,25	-	362	604	-	1057,61
C30/37 KB	300	156	0,52	5,10	962	355	651	-	-
C30/37 %25 TK	300	156	0,52	5,10	721,5	355	651	156,73	-
C30/37 %50 TK	300	156	0,52	5,10	481	355	651	313,46	-
C30/37 %75 TK	300	156	0,52	5,10	240,5	355	651	470,19	-
C30/37 %100 TK	300	156	0,52	5,10	-	355	651	626,92	-
C30/37 %25 GYFC	300	156	0,52	5,10	721,5	355	651	-	244,10
C30/37 %50 GYFC	300	156	0,52	5,10	481	355	651	-	488,21
C30/37 %75 GYFC	300	156	0,52	5,10	240,5	355	651	-	732,31
C30/37 %100 GYFC	300	156	0,52	5,10	-	355	651	-	976,41

İnce agrega yerine %25, %50, %75 ve %100 oranlarında kullanılan taban küllü ve yüksek fırın cürufu numuneler TS standartlarına uygun sıcaklıktaki, yeterli miktarda su dolu kür havuzuna konularak 7 ve 28 günlük dayanım sonuçları elde edilmiştir (Çizelge 5.16).

Çizelge 5.16 Kontrol betonları ve %25, %50, %75, %100 taban küllü, granüle yüksek fırın cürufu ikameli C20/25 ve C30/37 beton numunelerinin 7 ve 28 günlük dayanım sonuçları.

	C20/25		C30/37	
	7 Günlük Dayanım Sonuçları (Mpa)	28 Günlük Dayanım Sonuçları (Mpa)	7 Günlük Dayanım Sonuçları (Mpa)	28 Günlük Dayanım Sonuçları (Mpa)
KB	30,636	35,502	39,244	47,107
%25 TK	18,004	22,631	24,938	31,667
%50 TK	10,698	13,071	12,884	16,320
%75 TK	8,938	10,831	11,467	15,111
%100 TK	6,853	10,298	8,618	10,640
%25 GYFC	24,689	30,436	33,591	42,644
%50 GYFC	21,751	28,951	23,449	25,280
%75 GYFC	8,809	11,653	17,596	21,191
%100 GYFC	5,644	6,889	17,271	16,956

Kontrol betonları ve ince agrega yerine kullanılan taban küllü, granüle yüksek fırın cürufu beton karışımlarının hazırlanması esnasında öncelikle, agregalar ve çimento kuru olarak karılmış daha sonra katkı ile su karışıma dahil edilerek karıştırma işlemi devam edilmiştir. Karışımların tamamı $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ortam sıcaklığında hazırlanmıştır. Standartlara uygun olarak yapılan her bir tasarım betonunun slump (çökme değeri) değerleri tespit edilmiştir. Hazırlanan numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Kalıplardan çıkarılan $15\times 15\times 15$ cm boyutlu küp numunelerin kuru ağırlıkları tespit edilip, test uygulanacağı zamana kadar bekletilmek üzere kür havuzuna konulmuştur. 28 gün sonunda numuneler havuzdan çıkarılıp tartılmış ve bu değerler kuru ağırlık değerlerinden çıkarılarak kuru ağırlık değerlerine oranlanmış ve böylelikle her seri için türk standardı TS EN 480-11'e uygun su emme yüzdeleri belirlenmiştir ve Çizelge 5.19'da gösterilmiştir. Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18'de C20/25-C30/37 kontrol betonları ve taban küllü, granüle yüksek fırın cürufu ikameli küp numunelerinin ıslak ve kuru ağırlıkları bulunmaktadır.

Çizelge 5.17 C20/25 kontrol betonu ve taban külü, granüle yüksek fırın cürufu ikameli küp numunelerin kuru ve ıslak ağırlıkları.

	Kuru Ağırlıkları (gr)	Islak Ağırlıkları (gr)
C20/25 KB	8129	8210
C20/25 %25 TK	7781	7803,5
C20/25 %50 TK	7525,5	7532
C20/25 %75 TK	6935	6942
C20/25 %100 TK	6754,5	6761
C20/25 %25 GYFC	8083	8156
C20/25 %50 GYFC	8164	8269
C20/25 %75 GYFC	7731,5	7851
C20/25 %100 GYFC	7762	7897

Çizelge 5.18 C30/37 kontrol betonu ve taban külü, granüle yüksek fırın cürufu ikameli küp numunelerin kuru ve ıslak ağırlıkları.

	Kuru Ağırlıkları (gr)	Islak Ağırlıkları (gr)
C30/37 KB	8388	8471
C30/37 %25 TK	8017	8033
C30/37 %50 TK	7665	7670
C30/37 %75 TK	7520,5	7524,5
C30/37 %100 TK	6909,5	6936
C30/37 %25 GYFC	8158,5	8250,5
C30/37 %50 GYFC	7806,5	7907,5
C30/37 %75 GYFC	7763,5	7872,5
C30/37 %100 GYFC	7413	7554,5

Çizelge 5.19 TS EN 480-11 'e uygun su emme yüzdeleri.

Su Emme Yüzdeleri (%)		
	C20/25 Betonu	C30/37 Betonu
KB	0,996	0,990
%25 TK	0,289	0,200
%50 TK	0,086	0,065
%75 TK	0,101	0,053
%100 TK	0,096	0,384
%25 GYFC	0,903	1,128
%50 GYFC	1,286	1,294
%75 GYFC	1,546	1,404
%100 GYFC	1,739	1,909

Çalışma esnasında her bir seriden 3'er tane küp numune üretilmiştir. Üretilen küp numunelerin taze beton ve 28 gün sonunda yapılan sertleşmiş beton deney sonuçları bölüm 6 tartışma ve sonuç kısmında verilmiştir. Gerilme şekil değiştirme diyagramlarını, elastisite modüllerini ve toklukları elde etmek için ise her bir seriden 3'er tane Ø150 mm x 300 mm boyutlu silindir numune üretilmiştir. Silindir numunelere (Şekil 5.11) çimentoyla başlıklama yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5.11 (a) Silindir numunelere çimento ile başlıklama yapılırken su terazisi ile ölçümü. (b) Çimento ile başlıklama yapılmış silindir numuneler.

Daha sonra Şekil 5.12'de görülen INSTRON marka pres makinasında extensometer ile numunelerin kırımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.13' te kırım gerçekleştikten sonra numunelerin

kırım görünteleri verilmiştir. Kırım sonucunda da gerilme şekil değiştirme verileri elde edilmiştir. Bölüm 6’da tartışma ve sonuç kısmında deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.12 Extensometer ile silindir numunelerin kırım aşaması.



Şekil 5.13 Silindir numuneninin kırıldıktan sonraki görüntüsü.



BÖLÜM 6

TARTIŞMA VE SONUÇ

Tezin bu bölümünde, çalışma bulguları değerlendirilmiş olup, elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

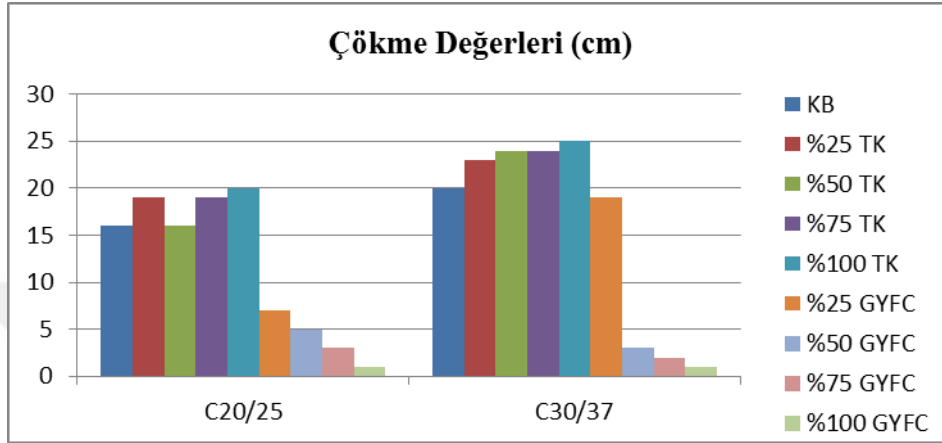
6.1 TAZE BETON DENEY SONUÇLARI

1. Taze beton deneyleri sonucunda elde edilen betonların birim ağırlıkları ve çökmeleri Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Taze beton deney sonuçları.

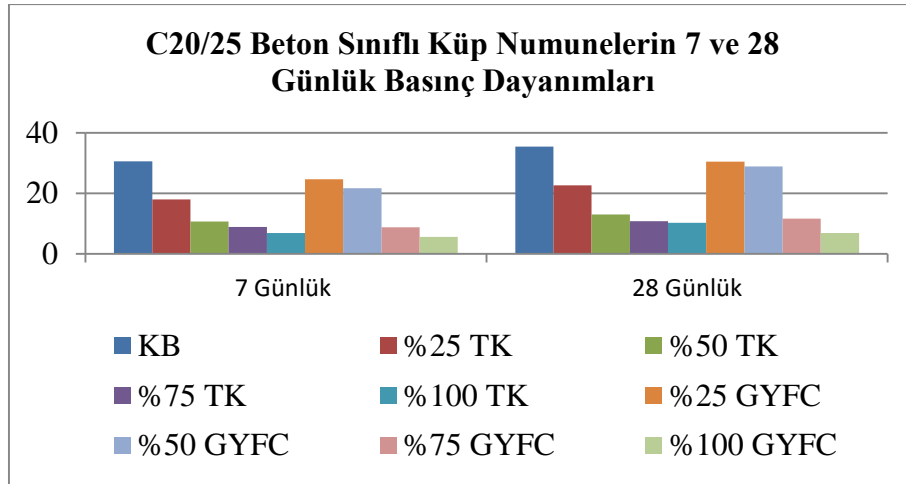
Beton No	Beton Kodu	Çökme (mm)	Birim Ağırlık(kg/m ³)
1	C20/25 Kontrol	160	2410
2	C20/25 %25 GYFC	70	2390
3	C20/25 %50 GYFC	50	2420
4	C20/25 %75 GYFC	30	2290
5	C20/25 %100 GYFC	10	2300
6	C30/37 Kontrol	200	2490
7	C30/37 %25 GYFC	190	2420
8	C30/37 %50 GYFC	30	2310
9	C30/37 %75 GYFC	20	2300
10	C30/37 %100 GYFC	10	2200
11	C20/25 %25 TK	190	2300
12	C20/25 %50 TK	160	2230
13	C20/25 %75 TK	190	2055
14	C20/25 %100 TK	200	2001
15	C30/37 %25 TK	230	2375
16	C30/37 %50 TK	240	2771
17	C30/37 %75 TK	240	2230
18	C30/37 %100 TK	250	2050

2. TS EN 206: 2013+A1 no'lu Türk standartına göre C20/25 TK ve GYFC ikameli taze betonların çökme sınıfları (kıvam sınıfları) S1, S2 ve S4; C30/37 TK ve GYFC ikameli taze betonların çökme sınıfları S1, S4 ve S5 olduğu sonucuna varılmıştır. Referans betonların ise S4 kıvam sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 6.1'de üretilen her beton numune serilerinin çökme değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir.

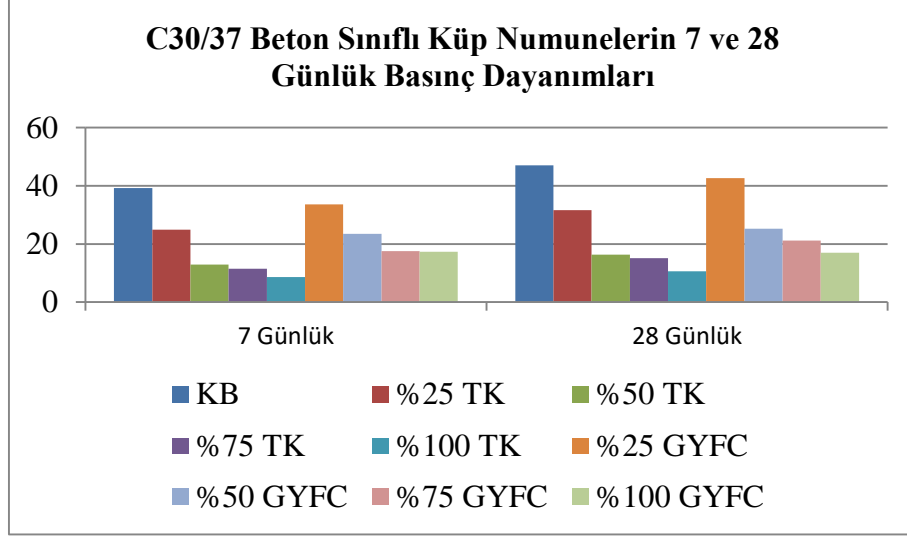


Şekil 6.1 C20/25, C30/37 beton sınıfı TK ve GYFC ikameli taze betonların çökme değerleri.

6.2 SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARI



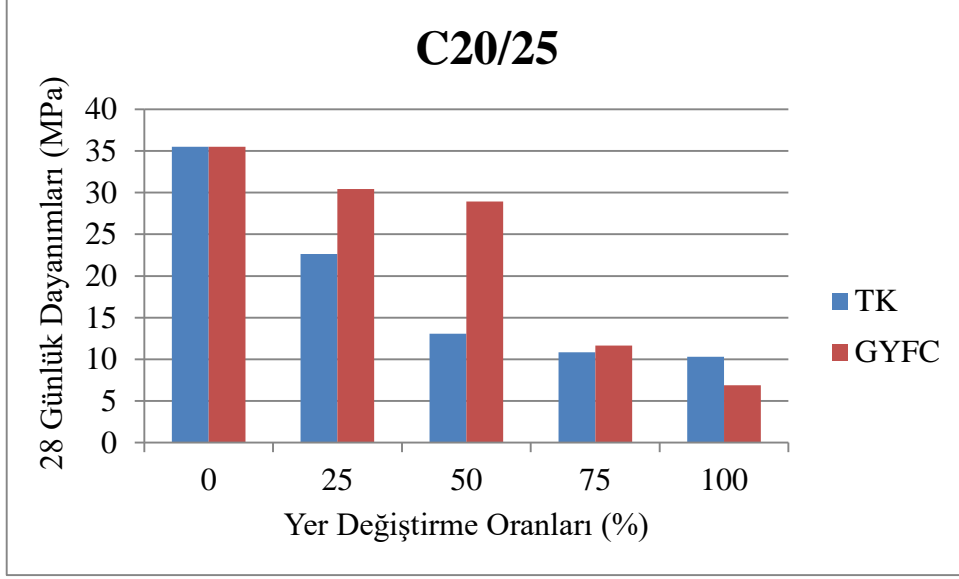
Şekil 6.2 C20/25 beton sınıfı numunelerin dayanım sonuçları.



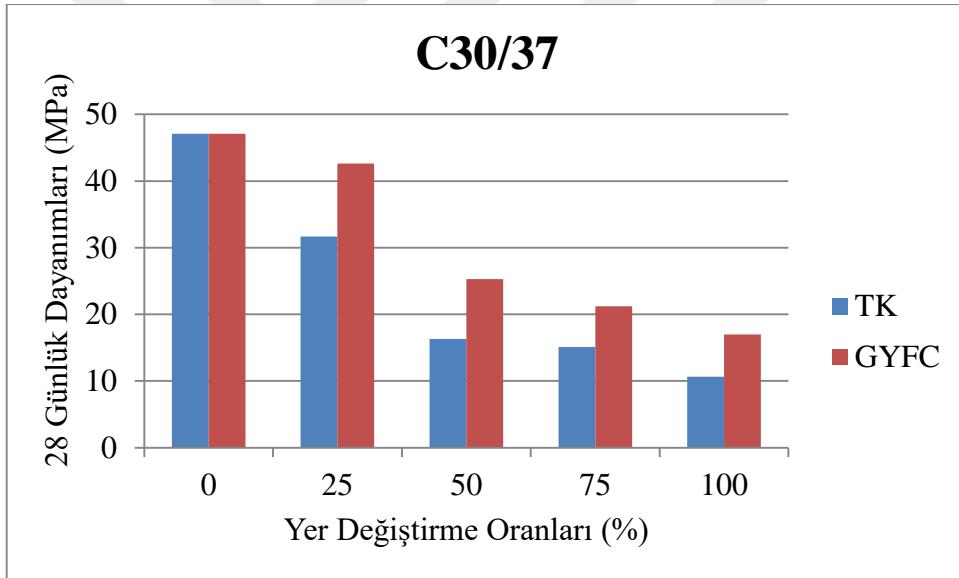
Şekil 6.3 C30/37 beton sınıflı numunelerin dayanım sonuçları.

1. C20/25 ve C30/37 beton sınıflı küp numuneleri için yapılan basınç deneyi sonuçları Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te görülmektedir. Basınç dayanımları kontrol betonuyla karşılaştırıldığında taban külü ve granüle yüksek fırın cürufunun ince agrega olarak miktarının artması betonun basınç dayanımını düşürmektedir. Basınç dayanımındaki düşüş beton dayanım kazandıkça azalmaktadır. Özkan, Yüksel, Muratoğlu [16]'e göre taban külünün ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunun ince agrega yerine kullanılması sonucunda betonun basınç dayanımlarında düşüş gözlenmiştir.

2. Granüle yüksek fırın cürufu ikameli betonların basınç mukavemeti değerlerinin standart beton numunelerine oranla C20/25 beton sınıfı için %14,27, %18,45, %67,18 ve %80,60, C30/37 beton sınıfı için %9,47, %46,33, %55,02 ve %64,00 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. Hacimce ikame oranları arttıkça basınç dayanımında azalmanın sebebi GYFC'nun gözenekli yapısından dolayı betona boşluklu yapı kazandırmasıdır. Bu sonuçla örtüşen çalışmalar literatürde bulunmaktadır.



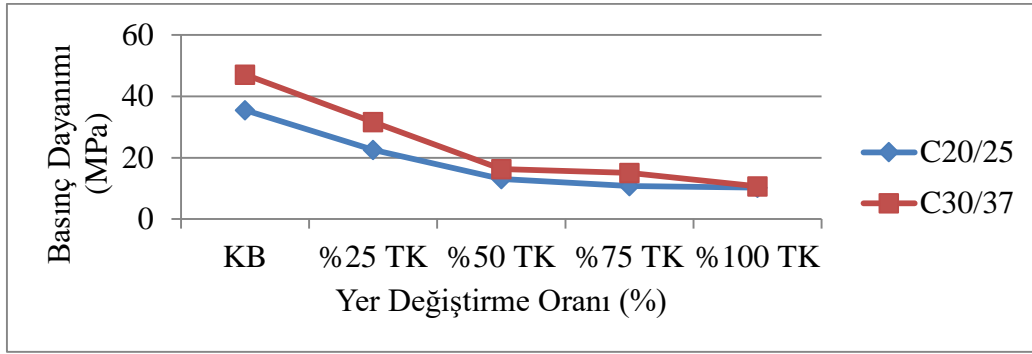
Şekil 6.4 28 günlük basınç dayanım sonuçları.



Şekil 6.5 28 günlük basınç dayanım sonuçları.

3. Referans, C20/25 ve C30/37 beton numunelerinin 28 günlük dayanım sonuçları Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te verilmiştir. Taban külü ikameli betonların basınç mukavemeti değerlerinin standart beton numunelerine oranla C20/25 beton sınıfı için %36,25 , %63,18, %69,49 ve %71,00, C30/37 beton sınıfı için %32,78, %65,36, %67,92 ve %77,41 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. Beton basınç mukavemeti için gerçekleşen düşüşün; standart agregaya göre çok daha düşük dayanıma sahip olmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır.

4. Taban küllü betonların %50 ikame oranından sonraki yer değiştirme oranlarında betonun basınç mukavemeti üzerinde büyük bir düşüş olduğu Şekil 6.6'da gözlemlenmiştir.



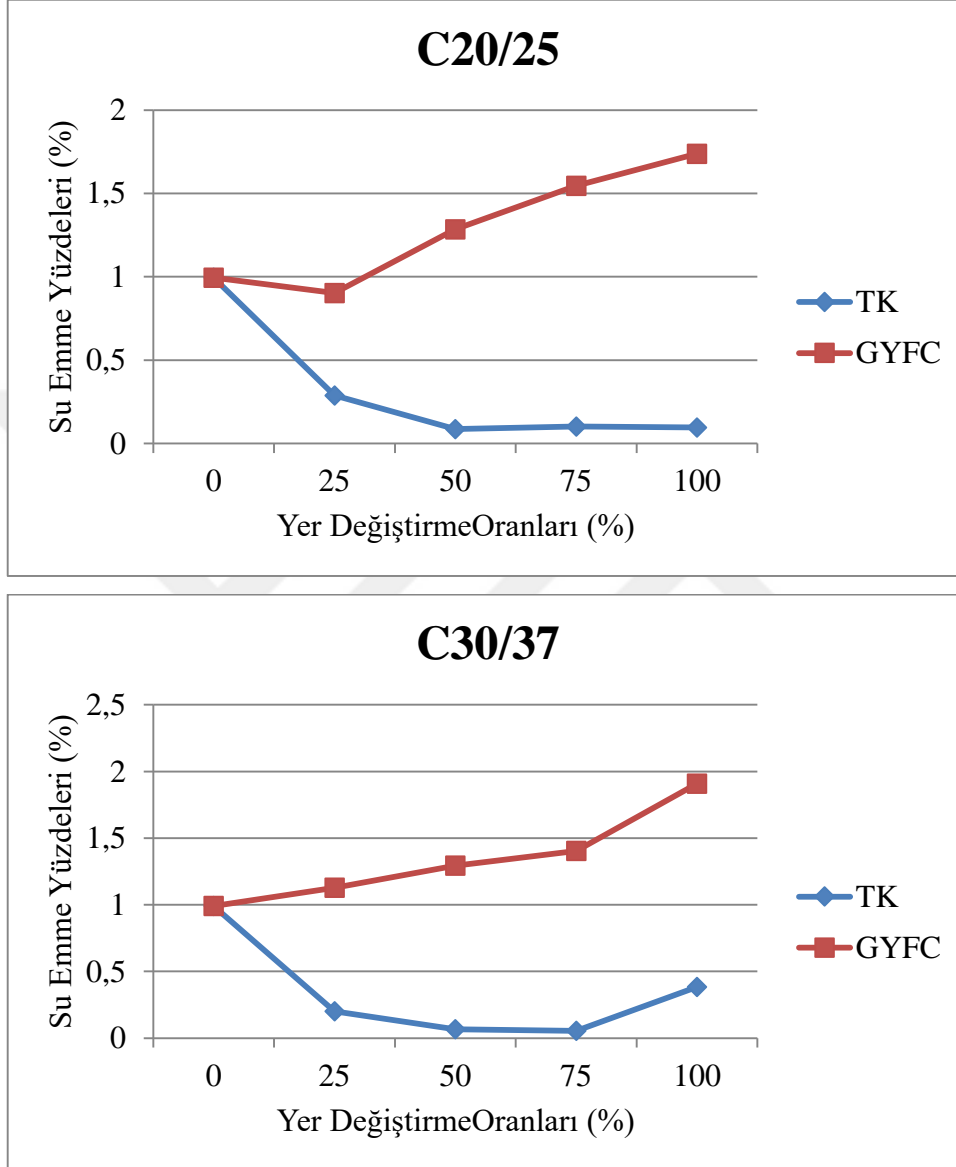
Şekil 6.6 Kontrol betonları ve taban külü ikameli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.

5. Çizelge 6.2'ye göre 28 günlük beton numunelerinin birim ağırlıkları ve su emme oranları verilmiştir. TK ve GYFC'nun betonda ince agrega olarak kullanımı birim ağırlığı azalmaktadır. TK ve GYFC'nun özgül ağırlıklarının referans betonunda kullanılan ince agreganın özgül ağırlığından daha az olması sebebiyle, üretilen numunelerin birim ağırlığında azalma meydana gelmiştir. Yüksel vd. tarafından yapılan çalışmada; GYFC'nun gözenekli bir yapısı olduğundan iki tür (0-7, 0-3 mm) ince agrega kullanılmıştır. Üretilen betonun su emme oranı ve birim ağırlığı kontrol betonuna kıyasla daha düşük olduğu, dayanıklılık açısından da uygun sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca dayanım kaybı az olan bir beton türüdür [43].

Çizelge 6.2 Tasarlanan beton numunelerin 28 günlük birim ağırlıkları (kg/m^3) ve su emme oranları (%).

Yer Değiştirme Oranı (%)	Birim Ağırlık (kg/m^3)	Su Emme Oranı(%)
C20/25 KB	2408,59	0,996
C20/25 25 TK	2305,48	0,289
C20/25 50 TK	2229,78	0,086
C20/25 75 TK	2054,81	0,101
C20/25 100 TK	2001,33	0,096
C20/25 25 GYFC	2394,96	0,903
C20/25 50 GYFC	2418,96	1,286
C20/25 75 GYFC	2290,81	1,546
C20/25 100 GYFC	2299,85	1,739
C30/37 KB	2485,33	0,990
C30/37 25 TK	2375,41	0,200
C30/37 50 TK	2271,11	0,065
C30/37 75 TK	2228,30	0,053
C30/37 100 TK	2047,26	0,384
C30/37 25 GYFC	2417,33	1,128
C30/37 50 GYFC	2313,04	1,294
C30/37 75 GYFC	2300,30	1,404
C30/37 100 GYFC	2196,44	1,909

6. Su emme oranında ise TK'nün ince agrega yerine ikame ettirilmesiyle elde edilen beton numunelerinde azalma, GYFC'nun ikame ettirilmesiyle elde edilen beton numunelerinde artış Şekil 6.7'den gözlenmiştir.



Şekil 6.7 Beton serilerinin su emme yüzdeleri.

7. Tek eksenli basınç deneyi esnasında beton numunelerdeki şekil değiştirmeleri ölçebilmek için kullanılan ekstansometre yardımı ile artan yük altında numunede oluşan deformasyonlar 0,001 mm hassasiyetinde ölçülmüştür. Deney aşamasında deformasyonlara karşılık gelen yük değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerler ile gerilme-şekil değiştirme diyagramları çizilmiştir. Çizilen gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının altında kalan alandan numunelerin tokluğu elde edilmiştir. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin eğimi ile beton

numunelerinin sekant ve teğet elastisite modülleri hesaplanmıştır. Çizelge 6.3'te karışım betonlarının elastisite modülleri, toklukları ve max. yükteki enerjileri verilmiştir. C30/C37 %75 TK ve %100 TK numunelerde deneyler gerçekleştirilememiştir. Bunun sebebi ise ekstansometrenin güvenli kısımda kalıp 15 MPa dayanıma sahip numuneleri 5 kere kırdığından daha fazla kırım gerçekleşmemiştir ve cihazın kendini otomatik olarak kapatmasıdır.

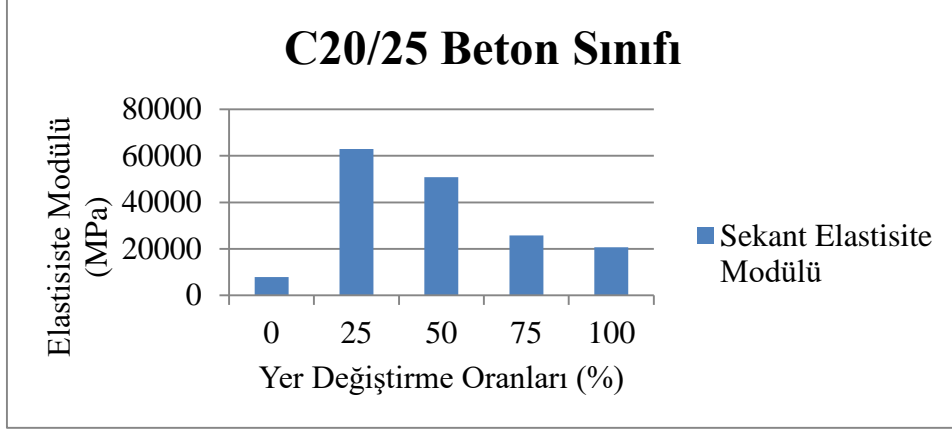
Çizelge 6.3 Karışım betonlarının sekant modülleri, teğet modülleri, toklukları ve max. yükteki enerjileri.

Yer Oranları (%)	Değiştirme	Sekant Modülü (MPa)	Teğet Modülü (MPa)	Tokluk (J)	Max. Yükteki Enerji (J)
C20/25	KB	7873,50801	3904,77955	270,53450	74,50784
C20/25	%25 TK	62954,76142	45944,57977	309,11213	97,99414
C20/25	%50 TK	50813,29	30692,78	300,384	71,38600
C20/25	%75 TK	25767,02931	12203,35927	149,52411	34,84000
C20/25	%100 TK	20691,19855	9232,39479	11,82414	11,82632
C20/25	%25 GYFC	46566,28635	27796,48964	171,49632	47,86286
C20/25	%50 GYFC	39683,29940	21706,29569	141,82912	21,72240
C20/25	%75 GYFC	32076,77378	15117,51239	130,71949	31,76264
C20/25	%100 GYFC	31581,85022	5126,01276	8,98858	7,50992
C30/37	KB	5177,22339	3604,13367	374,64495	163,77165
C30/37	%25 TK	54214,77014	28288,17568	170,73540	39,21298
C30/37	%50 TK	6655,19318	2309,68189	196,73735	77,50000
C30/37	%75 TK	-	-	-	-
C30/37	%100 TK	-	-	-	-
C30/37	%25 GYFC	6734,81090	3212,70480	354,69993	135,42140
C30/37	%50 GYFC	14853,08351	4503,35671	162,25941	37,31084
C30/37	%75 GYFC	-231388,37538	-3237,76352	0,00634	0,02117
C30/37	%100 GYFC	39516,19992	5021,72787	15,83025	3,68798

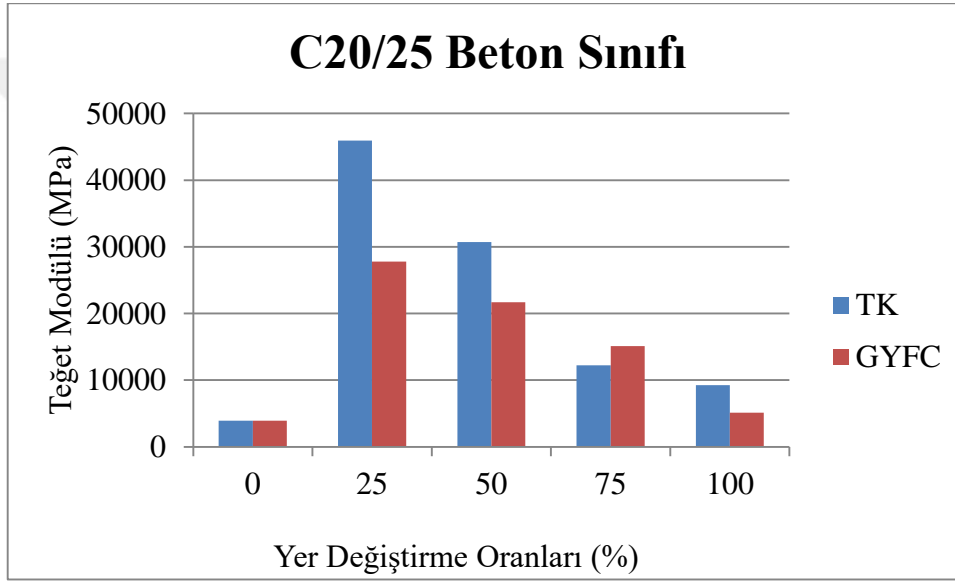
8. İkame oranı %25 ve %50 oranlarında GYFC ikameli numunenin gözenekli yapısından dolayı elastisite modülünde TK ikameli numuneye göre düşüş gözlenmektedir.

9. Kontrol betonu C20/25 ile TK ikameli numuneler kıyaslandığında kontrol betonunun elastisite modülünün, TK ikameli numunelerden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

10. C20/25 TK ikameli betonlar gözenekli bir yapıya sahip olduğundan ikame oranı arttıkça elastiklik modülünde düşüş gözlenmiştir (Şekil 6.8'de gösterilmektedir). Topçu ve Bilir [8] bu çalışmada taban külünü ince agrega olarak ağırlıkça 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 oranlarında kullanmıştır. Taban külü değişim oranının artmasıyla gözeneklilik yapısının arttığı gözlenmiştir. Bu sebeple dayanım ve elastisite modülünde azalma olmuştur. Bu çalışma literatürle paralellik göstermektedir.



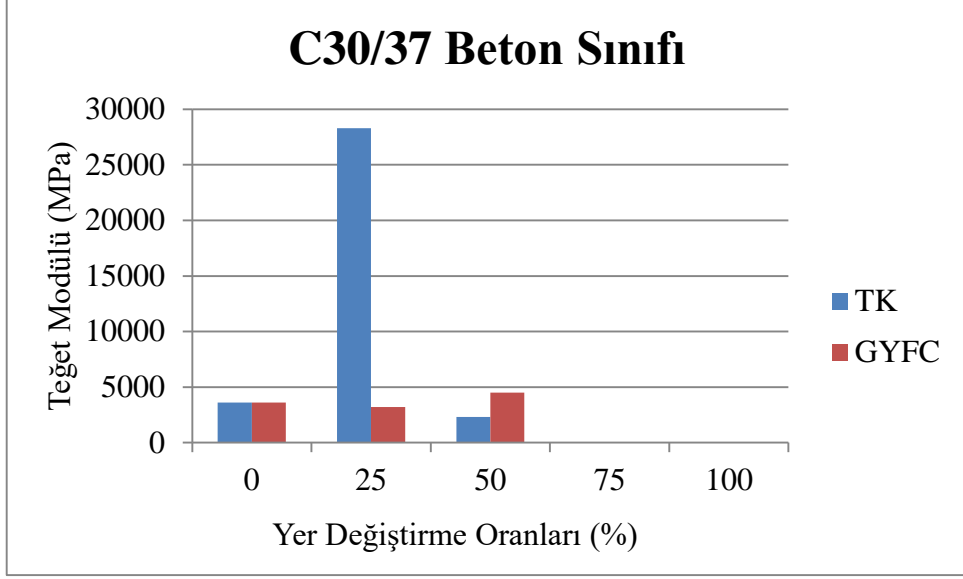
Şekil 6.8 C20/25 beton sınıfı TK ikameli numunelerin elastisite modülü.



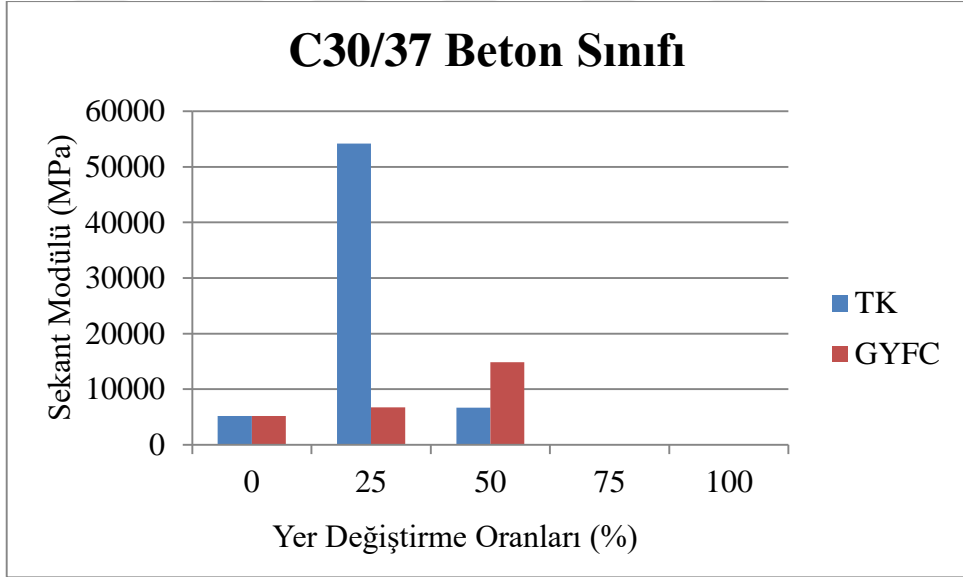
Şekil 6.9 C20/25 beton sınıfı TK ve GYFC ikameli serilerin teğet modülü.

11. Şekil 6.9'a göre C20/25 beton sınıfı TK ve GYFC ikameli numunelerin teğet modülleri kıyaslandığında azalma olduğu gözlenmiştir.

12. C30/37 beton sınıfı %25 ve %50 yer değiştirme oranlarına sahip TK'lu numunelerin teğet ve sekant modüllerinde azalma, GYFC'lu numunelerde ise artma gözlenmiştir (Şekil 6.10 ve Şekil 6.11). %75 ve %100 oranlarında düşük dayanıma sahip olmasından ekstansometreye ve basınç deneyinin yapıldığı cihaza zarar vermesinden ötürü tespit edilememiştir. Çizelge 6.3'te verilen %75 ve %100 GYFC'lu numunelerin sekant modülü, teğet modülü, tokluk ve max. yükteki enerji değerlerindeki sapmalar bundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.10 C30/37 beton sınıfı numunelerin teğet modülü değerleri.



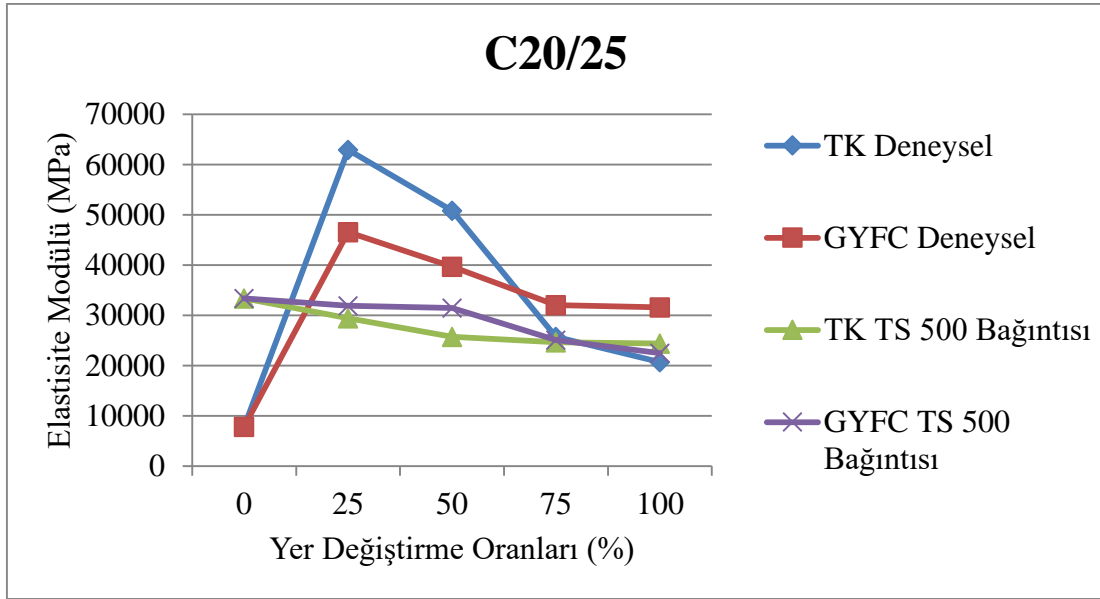
Şekil 6.11 C30/37 beton sınıfı numunelerin sekant modülü değerleri.

13. TS 500'de [48] verilen elastisite modülü [$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000$ (MPa)] bağıntısında bulunan formül yardımıyla Çizelge 6.4'teki değerler 28 günlük silindir numunelerin basınç dayanımlarının yerine konulmasıyla bulunmuştur.

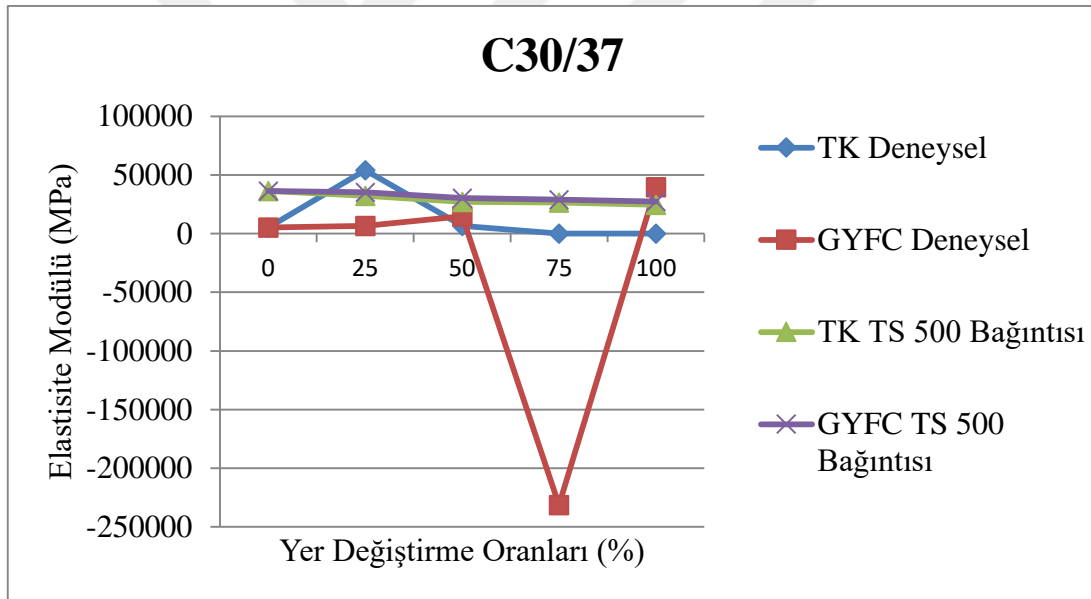
Çizelge 6.4 TS 500 bağıntısıyla hesaplanan elastisite modülü değerleri.

Yer Değiştirme Oranları (%)	TS 500 Bağıntısıyla Hesaplanan Elastisite Modülü (MPa)
C20/25 KB	33364,66
C20/25 %25 TK	29460,92
C20/25 %50 TK	25750
C20/25 %75 TK	24695,91
C20/25 %100 TK	24429,41
C20/25 %25 GYFC	31929,87
C20/25 %50 GYFC	31486,99
C20/25 %75 GYFC	25094,36
C20/25 %100 GYFC	22530,24
C30/37 KB	36306,23
C30/37 %25 TK	32288,87
C30/37 %50 TK	27129,36
C30/37 %75 TK	26633,68
C30/37 %100 TK	24601,18
C30/37 %25 GYFC	35223,27
C30/37 %50 GYFC	30340,75
C30/37 %75 GYFC	28960,95
C30/37 %100 GYFC	27382,74

14. Şekil 6.12 ve 6.13'te formül yardımıyla hesaplanan elastisite modülü değeriyle deneysel çalışmalarla bulunan elastisite modülü değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 6.12 ve 6.13'ten de görüleceği gibi TS 500'deki bağıntının yardımıyla bulunan eğrinin eğimi deneysel elastisite modülü ile bulunan eğrinin eğiminden daha küçüktür. TS 500 bağıntısıyla bulunan elastisite modülü değerleri deneysel elastisite modülü değerlerinden daha küçük değerler olduğu gözlenmiştir.

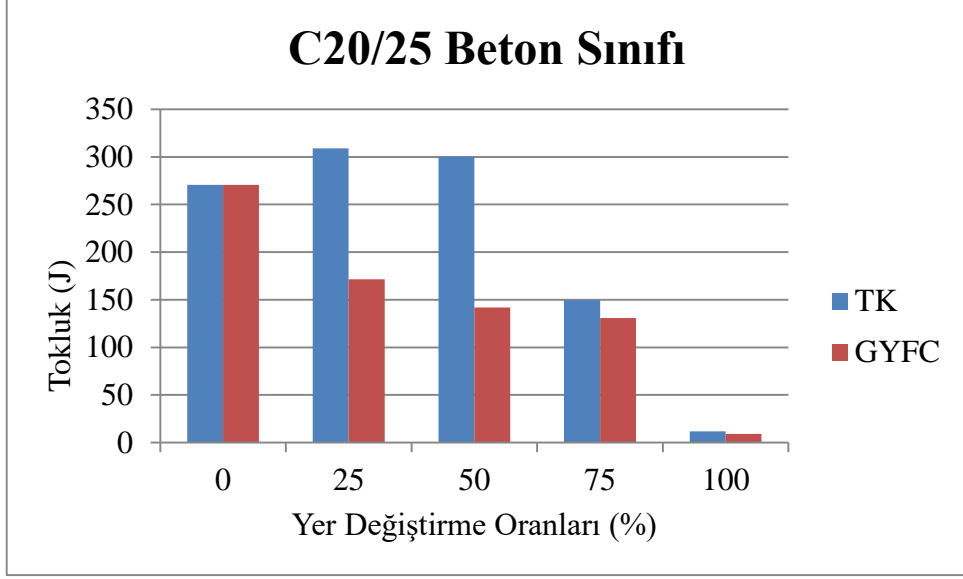


Şekil 6.12 C20/25 beton serilerinin elastisite modülleri.



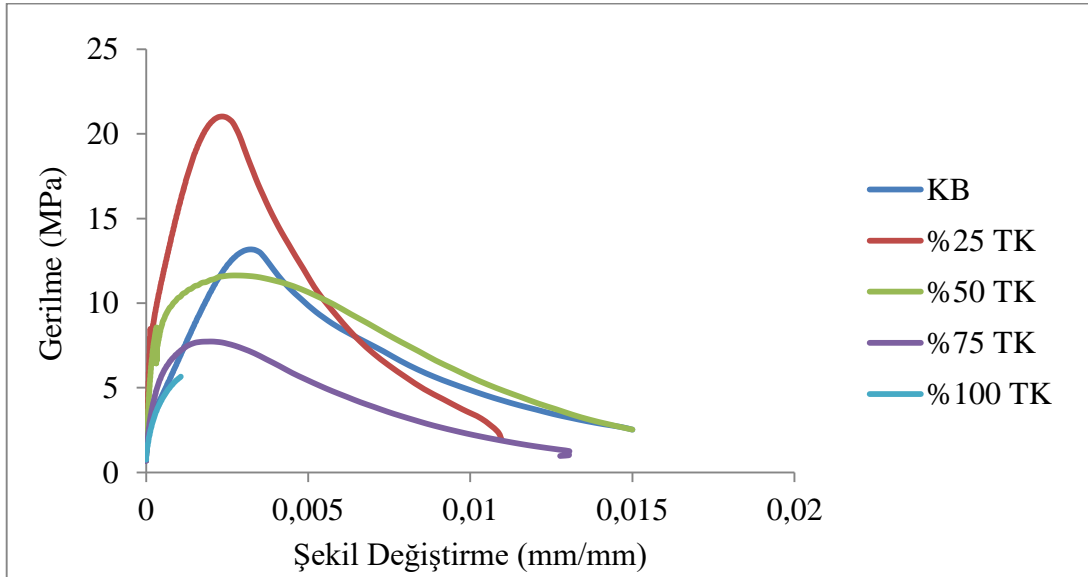
Şekil 6.13 C30/37 beton serilerinin elastisite modülleri.

15. C20/25 beton sınıfı TK ve GYFC ikameli numunelerin yer değiştirme oranları arttıkça tokluklarında azalma olduğu tespitine varılmıştır. %100 yer değiştirme oranlarında büyük düşüş gözlenmiştir. TK ve GYFC ikameli numuneler kıyaslandığında GYFC ikameli numunelerin tokluğunun daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 6.14). Literatürlerde de benzer sonuçlara ulaşıldığı belirtilmektedir.

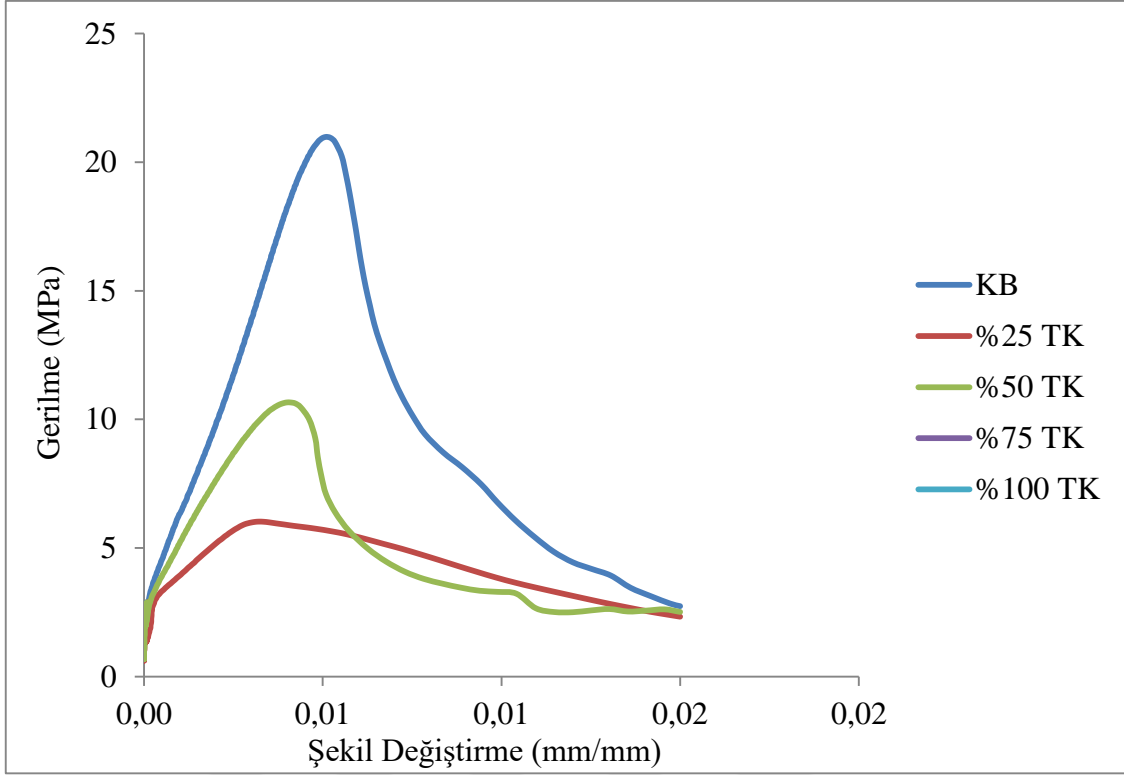


Şekil 6.14 C20/25 beton sınıfı numunelerin tokluk değerleri.

16. Şekil 6.15'te C20/25 beton sınıfı TK serilerinin gerilme şekil değiştirme diyagramı mevcuttur. Şekil 6.15'e göre grafiğin altında kalan tokluğu ifade etmektedir. TK serilerinin referans betonuna göre tokluğu azaldığı ancak referans betonuna kıyasla %25 TK numunesinin fazla olduğu gözlenmiştir. Bu durum numunenin üretim hatasından kaynaklandığı düşünülmektedir. C30/37 beton sınıfı TK (Şekil 6.16) ve GYFC ikameli serilerde herhangi bir terslik rastlanmadığı tokluklarında azalış olduğu gözlenmiştir.

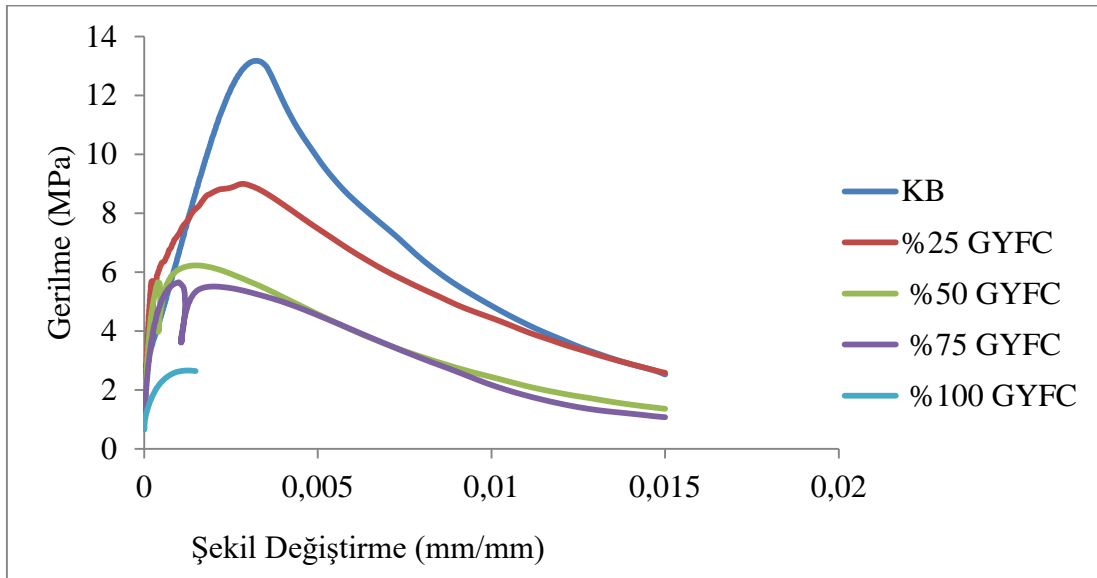


Şekil 6.15 Referans betonu ve TK ikameli C20/25 beton sınıfı serilerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

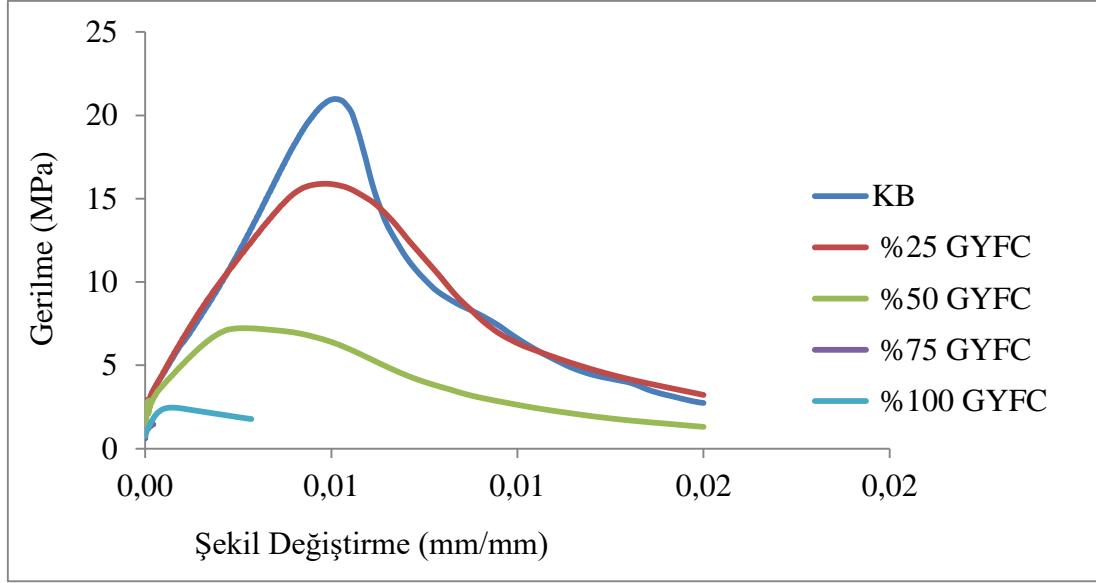


Şekil 6.16 Referans betonu ve TK ikameli C30/37 beton sınıflı serilerin gerilme-şekil değişirme diyagramı.

17. Referans betonu GYFC ikameli numunelerle kıyaslandığında gerilme şekil değişirme diyagramının altında kalan alanının azaldığı yani tokluğun azaldığı tespitine varılmıştır (Şekil 6.17 ve Şekil 6.18).



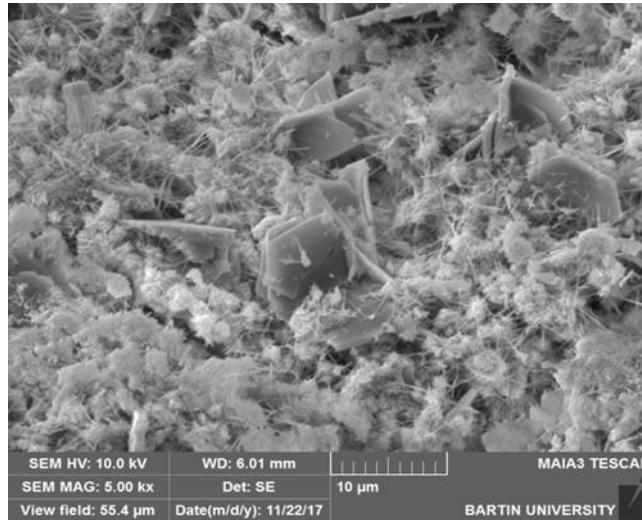
Şekil 6.17 Referans betonu ve GYFC ikameli C20/25 beton sınıflı serilerin gerilme-şekil değişirme diyagramı.



Şekil 6.18 Referans betonu ve GYFC ikameli C30/37 beton sınıfı serilerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

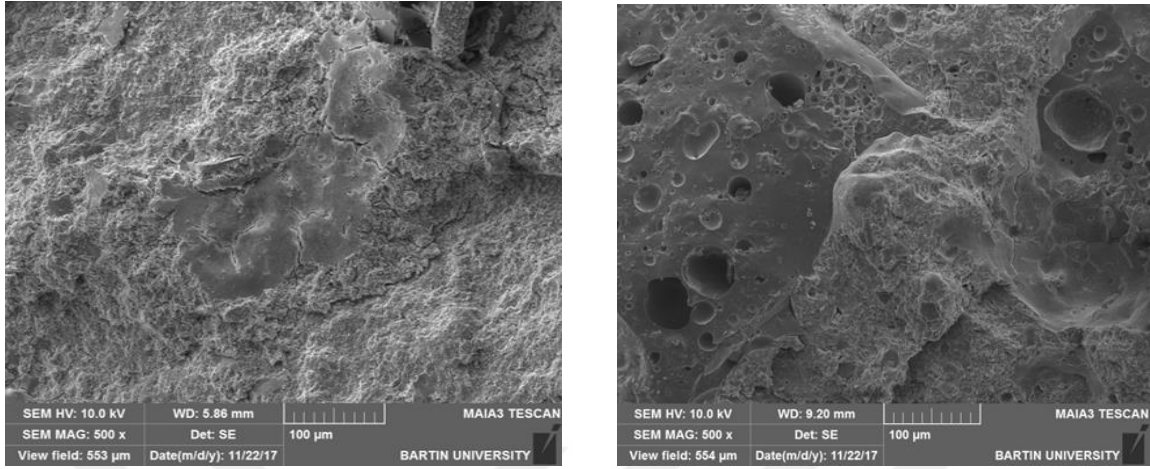
18. Şekil 6.15, 6.16, 6.17 ve 6.18 gerilme şekil değiştirme eğrilerine göre max. gerilmeye kadar olan kısımları doğrusal olarak artmış, tepe noktasından sonraki kısımları, numunede oluşan çatlamalara bağlı olarak düzensiz bir seyir izlemiştir.

19. C30/37 %50 GYFC ikameli beton numunesinde plaka halinde $Ca(OH)_2$ kristalleri ve etrenjit yapıları Şekil 6.19'da görülmektedir. İnce malzemede GYFC' nun yapıda ilave CSH yapılarının oluşumuna ortam sağladığı düşünülmektedir.



Şekil 6.19 C30/37 %50 GYFC ikameli beton numunesinin SEM görüntüsü.

20. C30/37 %50 TK ikameli beton numunesi C30/37 %50 GYFC beton numunesi ile kıyaslandığında (Şekil 6.20'ye göre) gözenekliliğin arttığı görülmektedir.

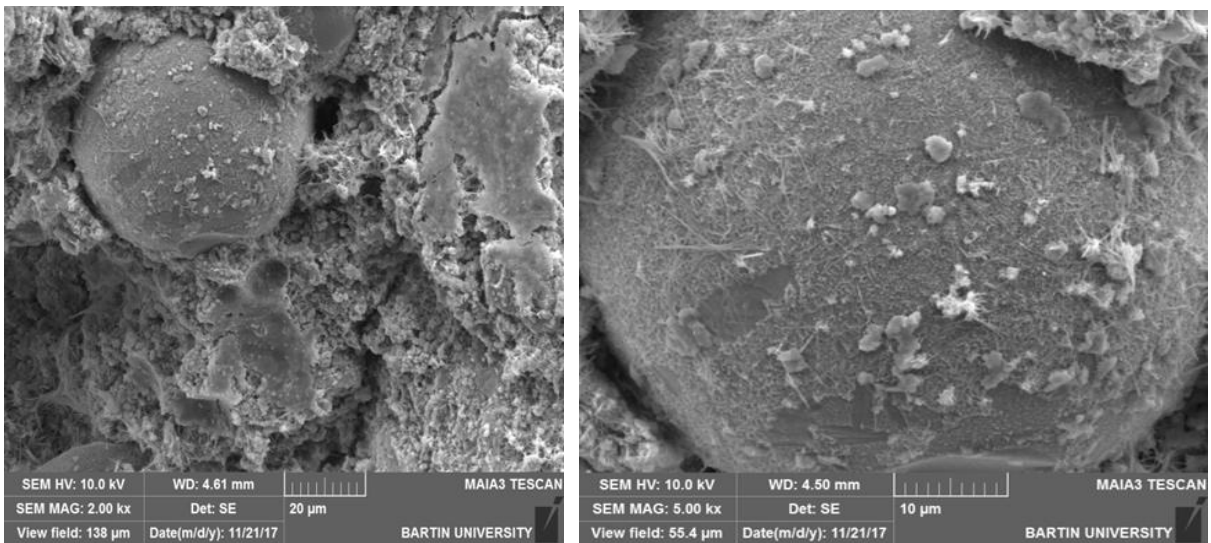


Şekil 6.20 Sağdaki resim C30/37 %50 TK ikameli, soldaki resim C30/37 %50 GYFC ikameli numunenin SEM görüntüsü.

21. Taban külü numunelerin gözenekli yapısı kompozitin porozitesini arttırmaktadır.

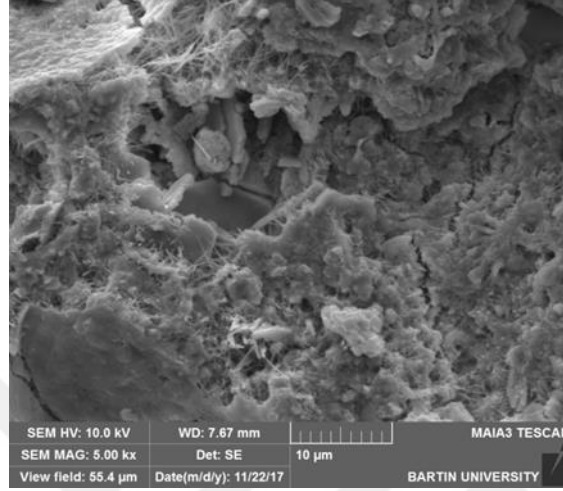
22. C30/37 %50 TK ikameli beton numunesinde etrenjit oluşumu daha belirgin görülmektedir.

23. C30/37 %100 GYFC beton numunesinin çimento fazı ile agrega fazı arasındaki kenetlenme bölgesinde C-S-H ve etrenjit yapılarının Şekil 6.21'de yoğunlaştığı görülmektedir.



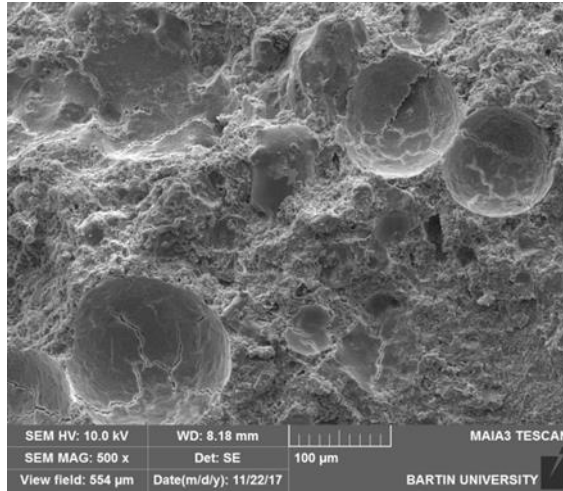
Şekil 6.21 C30/37 %100 GYFC ikameli beton numunesindeki C-S-H ve etrenjit yapıların SEM görüntüsü.

24. C30/37 %100 TK beton numunesinde gözenekliliğin arttığı görülmektedir.
25. C30/37 %100 TK ile C30/37 %50 TK numuneleri kıyaslandığında gözenek boyutunun %50 TK numunesine göre daha büyük olduğu gözlenmiştir.
26. Şekil 6.22'de C30/37 %100 TK'de belirgin etrenjit yapıları gözlenmektedir.



Şekil 6.22 C30/37 %100 TK ikameli beton numunenin SEM görüntüsü.

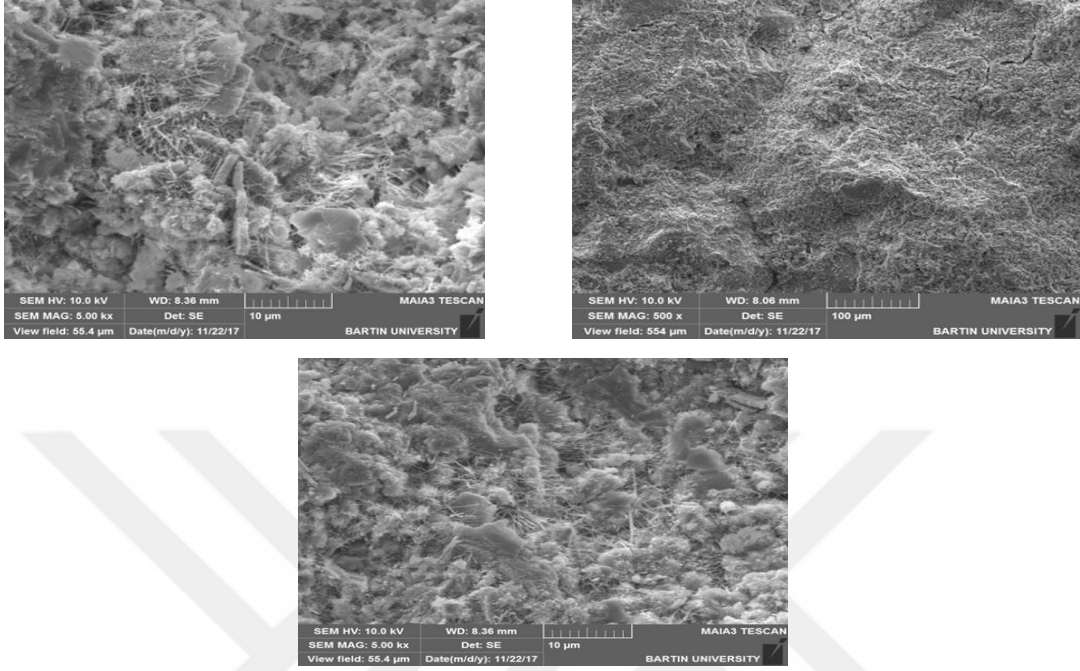
27. Şekil 6.23'e göre C30/37 %100 TK'de gözeneklerden ilerleyen çatlak oluşumları görülmektedir.



Şekil 6.23 C30/37 %100 TK'de gözeneklerden ilerleyen çatlak oluşumlarının SEM görüntüsü.

28. C30/37 kontrol betonunun C30/37 %50 GYFC numunesine benzer bir iç yapının olduğu görülmektedir.

29. Kontrol betonlarında C-S-H yapısının içine yerleşmiş olan portlandit plakaları ve iğneli etrenjit oluşumları görülmektedir (Şekil 6.24).



Şekil 6.24 Kontrol betonlarında C-S-H yapısının içine yerleşmiş olan portlandit plakaları ve iğneli etrenjit oluşumlarının görüntüsü.

30. Kontrol betonları TK ikameli beton numuneleri ile kıyaslandığında TK katkılı numunelerdeki gözenekliliğin olmadığı tespit edilmiştir.

31. Bir atık malzemenin ekonomik olarak değerlendirilmesine olanak verdikleri için ince agrega yerine taban külü ve granüle yüksek fırın cürufunun kullanılabilir olması uygun görülmektedir.

32. Endüstriyel yan ürün olan taban külü ve granüle yüksek fırın cürufunun santrallerde depolanması hem ekonomik hem de çevresel etkilerden dolayı büyük sorunlar oluşturduğundan agrega olarak kullanılması uygun görülmektedir.

33. Taban küllerinin ve granüle yüksek fırın cürufunun betonda ince agrega yerine kullanılabilir olduğu gözlemlenmiştir. Yüksel, Özkan ve Bilir [43]'a göre de GYFC'nun betonda öğütülmeden ince agrega yerine kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.



BÖLÜM 7

DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak endüstriyel yan ürünlerinin ince agregaya yerine kullanılmasının beton üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı irdelenmesi için ileride yapılacak olan araştırmalarda aşağıda belirtilen önerilerin dikkate alınması faydalı olacaktır.

1. Kullanılan endüstriyel yan ürünlerin ince agregaya olarak, beton eleman özelliklerine etkisi daha geniş kapsamlı ve yer değiştirme oranları daha düşük oranlarda seçilmiş şekilde araştırılmalıdır.
2. Beton üretiminde ince agregaya olarak kum yerine maliyeti daha uygun olan taban külü ve granüle yüksek fırın cürufunun kullanımının tercih edilmesi ve bunun üzerine yönelik çalışmaların artırılması gerektiği düşünülmektedir.
3. Bu çalışmada gözlenen basınç mukavemeti düşüşlerinin ortadan kalkması için daha kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- [1] **TS-EN 206:2013+A1** (2017) Beton-Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, *Türk Standartları Enstitüsü Teknik Kurulu*, Ankara.
- [2] **Öztoprak E** (2008) Hazır Beton Tesisinde En Uygun Nitelik Denetim Düzeyinin Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 132 s.
- [3] **Landva A and Knowles D G** (1994) *Construction Material, Geotechnics of Waste Fills, Theory and Practice*. ASTM STP 1070, Philadelphia, 371 s.
- [4] **Erdoğan T Y** (2013) *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 4. Baskı, Ankara, 757 s.
- [5] **Patrick M L and Stephan D A** (2012) Beneficial Use of Recycled Materials in Concrete Mixtures, *Construction and Building Materials*, 29: 428-437.
- [6] **Malkit S and Rafat S** (2014) Compressive Strength, Drying Shrinkage and chemical Resistance of Concrete Incorporating Coal Bottom Ash as Partial or Total Replacement of Sand, *Construction and Building Materials*, 68: 39-48.
- [7] **Yüksel İ, Bilir T and Özkan Ö** (2007) Durability of Concrete Incorporating Non-Ground Blast Furnace Slag and Bottom Ash as Fine Aggregate, *Building and Environment*, 42: 2651-2659.
- [8] **Topçu İ B and Bilir T** (2010) Effect of Bottom Ash as Fine Aggregate on Shrinkage Cracking of Mortars, *ACI Materials Journal*, January-February, 107-M08: 48-56.
- [9] **Kinaanath H, Pongsak C, Warangkana S, Theerati S and Somnuk T** (2013) Effect of Cement Types, Mineral Admixtures, and Bottom Ash on the Curing Sensitivity of Concrete, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 20 (1): 94-105.
- [10] **Malkit S and Rafat S** (2013) Effect of Coal Bottom Ash as Partial Replacement of Sand on Properties of Concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, 72: 20-32.
- [11] **Malkit S and Rafat S** (2016) Effect of Coal Bottom Ash as Partial Replacement of Sand on Workability and Strength Properties of Concrete, *Journal of Cleaner Production*, 112: 620-630.
- [12] **Malkit S and Rafat S** (2015) Effect of Low-Calcium Coal Bottom Ash as Fine Aggregate on Microstructure and Properties of Concrete, *ACI Materials Journal*, September-October, 112-M66: 693-703.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [13] **Bilir T** (2012) Effects of non-Ground Slag And Bottom Ash as Fine Aggregate on Concrete Permeability Properties, *Construction and Building Materials*, 26: 730-734.
- [14] **Kim H K Jeon J H and Lee H K** (2012) Flow, Water Absorption, and Mechanical Characteristics of Normaland High-Strength Mortar Incorporating Fine Bottom Ash Aggregates, *Construction and Building Materials*, 26: 249-256.
- [15] **Kou Shi-Cong, Poon Chi-Sun** (2009) Properties of Concrete Prepared with Crushed Fine Stone, Furnace Bottom Ash and Fine Recycled Aggregate as Fine Aggregates, *Construction and Building Materials*, 23: 2877-2886.
- [16] **Özkan Ö, Yüksel İ and Muratoğlu Ö** (2007) Strength Properties of Concrete Incorporating Coal Bottom Ash and Granulated Blast Furnace Slag, *Waste Management*, 27: 161-167.
- [17] **Malkit S and Rafat S** (2014) Strength Properties and Micro-Structural Properties of Concrete Containing Coal Bottom Ash as Partial Replacement of Fine Aggregate, *Construction and Building Materials*, 50: 246-256.
- [18] **Yüksel İ and Bilir T** (2007) Usage of Industrial By-Products to Produce Plain Concrete Elements, *Construction and Building Materials*, 21: 686-694.
- [19] **Kim H K and Lee H K** (2011) Use of Power Plant Bottom Ash as Fine and Coarse Aggregates in High-Strength Concrete, *Construction and Building Materials*, 25: 1115-1122.
- [20] **Binici H, Shah T, Aksogan O and Kaplan H** (2008) Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates, *Journal of Materials Processing Technology*, 208: 299-308.
- [21] **Maria Albuquerque C F, José B T, Eduardo S C and Paulo P C** (2011) Fracture Characterization of Roller Compacted Concrete Mixtures with Blast Furnace Slag and Industrial Sand, *Chinese Society of Pavement Engineering*, 4 (4): 244-251
- [22] **Wenyan Z, Mohamed Z and Yukio H** (2013) Influence of Aggregate Materials Characteristics on the Drying Shrinkage Properties of Mortar and Concrete, *Construction and Building Materials*, 49: 500-510.
- [23] **Yüksel İ, Rafat S, Özkan Ö** (2011) Influence of high temperature on the properties of concretes made with industrial by-products as fine aggregate replacement, *Construction and Building Materials*, 25: 967-972.
- [24] **Valcuende M, Benito F, Parra C and Miñano I** (2015) Shrinkage of Self-Compacting Concrete Made With Blast Furnace Slag as Fine Aggregate, *Construction and Building Materials*, 76: 1-9.
- [25] **Patrick M L and Stephan D A** (2012) Beneficial use of Recycled Materials in Concrete Mixtures, *Construction and Building Materials*, 29: 428-437.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [26] **ASTM C 618-94a** (1994) Standart Specification for Coal Fly ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixtures in Portland Cement Concrete. *Annual Book of ASTM Standartds.*
- [27] **Baradan B, Yazıcı H ve Aydın S** (2012) *Beton*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 334, İzmir, 825 s.
- [28] **Swamy R N** (1986) *Cement Replacement Metarials (Concrete Tecnology and Desing)*. Vol.3, ISBN: 0903384523, Blackie Academic and Professional (an İmprit of Chapman and Hall) Surrey University Press, 200 pp.
- [29] **Kaya İ A** (2010) Taban Külü Katkılı Çimentolara Yönelik Bir Çalışma. *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çimento Mühendisliği, Ankara, 60 s.
- [30] **Leonards A and Bairley B** (1982) Pulvirized coal ash structral fill. *Journal of Geotecnical Engineering. ASCE*, (108), GT4, 517-531.
- [31] **Huang W and Lovell W** (1990) Bottom ash as Embankment Material. *American Society for Testing and Materials*, Philedephia, 71-75.
- [32] **Tikalsky P and Carraqulla R** (1992) Influence of Fly Ash on Swiphade Resistance of Concrete, *ACI Metarial Journal*, 89-1, 69-75.
- [33] **Toprak M** (2011) Termik Santral Taban Küllerinden Alkali Aktivasyon ile Geopolimer Üretilmesi. *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 100 s.
- [34] **Moulton L K** (1974) Bottom Ash and Bailerslag. *Symposium on Fly Ash Utilization*, 13-14 Mart, Pittsburgh, 148-169.
- [35] **Kinder D** (1979) The Impact of Presed RCRA Regulation on Resavice Recovery and Utilization. *Fifth İnternational Ash Utilization Symposium*, 12-15 Mayıs, Atlanta, 1045-40.
- [36] **Kurama H and Kaya M** (2008) Usage of Coal Combustian Bottomash in Concrete Mixture. *Construction and Building Materials*, 22: 1922- 1928.
- [37] **Tokyay M ve Erdoğan K** (1997) Cürufklar ve Cürufllu Çimentolar, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, TÇMB/AR-GE/Y 97.2, 34.
- [38] **Tokyay M** (2014) Betonda UK, GYFC ve SD' nin Rolü: Mevcut Bilgi Birikimi, *Hazır Beton*, Ocak - Şubat 2014, İstanbul, 64-84.
- [39] **Tokyay M** (2007) Cürufklar ve Cürufllu Çimentolar, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara, 9-30.
- [40] **Tokyay M** (2003) Cürufklar ve Cürufllu Çimentolar, Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi Raporu, *TÇMB*, Ankara, 47 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [41] **Erdoğan T Y** (1995) Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Kullanımı. *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TBMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 1-13.
- [42] **Bilir T** (2005) Donatısız Beton Eleman Üretiminde Çeşitli Endüstriyel Yan Ürünlerin Kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 104 s.
- [43] **Yüksel İ, Özkan Ö ve Bilir T** (2003) Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonda İnce Agrega Olarak Kullanımı, *5. Ulusal Beton Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 471-481.
- [44] **Baradan B, Yazıcı H and Ün H** (2010) Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). İstanbul, *Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları*, 318 s.
- [45] **ACI 318-92** (1994) Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 3.
- [46] **Comite Euro-International Du Beton** (1978) CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, Bull. April, 124-125.
- [47] **Ersoy U, Özcebe G, Tankut T** (2010) *Reinforced Concrete*. 8. Basım, ISBN: 978-975-6151-33-4, METU, Ankara, 660 s.
- [48] **TS 500** (2000) Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [49] **URL-1** <http://www.bartincimento.com.tr/cem_i_425_r-11-2>, Ziyaret tarihi: 09.09.2016.
- [50] **Aruntaş H** (2006) Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (1): 193-201.
- [51] **URL-2** <<http://www.utest.com.tr/tr/20643/Silindir-Kalip>>, Ziyaret tarihi: 09.09.2016.
- [52] **TS EN 197-1** (2012) Genel Çimentolar- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [53] **TS 706 EN 12620+A1** (2009) Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [54] **TS EN 933-1** (2012) Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 1:Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini- Eleme Yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [55] **ASTM C136/C136M-14** İnce ve Kaba Agrega Elek Analizi/C136M-14 Standart Test Yöntemi- Elek Açıklıkları.
- [56] **TS 802** (2016) Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [57] **TS EN 1097-6** (2013) Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler- Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [58] **TS EN 932-1** (1997) Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler- Kısım 1 Numune Alma Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [59] **TS EN 12350-2** (2010) Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [60] **TS EN 12350-6** (2010) Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 6: Yoğunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [61] **TS EN 480-11** (2008) Kimyasal Katkılar- Beton, Harç, Şerbet İçin- Deney Metotları- Bölüm 11: Sertleşmiş Betonda Hava Boşluğu Özelliklerinin Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [62] **TS EN 12390-3** (2010) Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [63] **TS EN 12390-4** (2002) Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 4: Basınç Dayanımı- Deney Makinalarının Özellikleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [64] **TS EN 196-6** (2010) Çimento Deney Yöntemleri- Bölüm 6: İncelik Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [65] **TS EN 15167-1** (2006) Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu- Beton, Harç ve Şerbette Kullanım İçin- Bölüm 1: Tarifler, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

Selin KONAK, 1992 yılında Zonguldak' ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini TED Zonguldak Koleji İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini Zonguldak Atatürk Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi. 2010 yılında başlamış olduğu lisans öğrenimini 2014 yılında tamamladı. Aynı yıl, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Meslek hayatına 2014 yılında başlamış olup şuan Zonguldak İl Özel İdaresi Plan ve Proje Müdürlüğü'nde görevine devam etmektedir.

Adres : Yayla Mahallesi İhsan Soyak Sokak TTK Lojmanları F Blok Kat:3 Daire:5
Merkez /ZONGULDAK

Tel : 05368122893

E- posta : konakselin@hotmail.com