

**BETONDA YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNİN
MİNERAL KATKI ÇEŞİTLERİNE
GÖRE DEĞİŞİMİ**

Alper KURT

Yüksek Lisans Tezi

Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yüksel ESEN

KASIM-2012

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONDA YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNİN MİNERAL KATKI ÇEŞİTLERİNE
GÖRE DEĞİŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Alper KURT
(101125105)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 Kasım 2012
Tezin Savunulduğu Tarih : 05 Kasım 2012**

Tez Danışmanı	Doç. Dr. Yüksel ESEN (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri	Doç. Dr. Ömer KELEŞOĞLU (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri	Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ (F.Ü)

TEŞEKKÜRLER

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim dönemim boyunca üzerimde emeği bulunan ayrıca “Betonda Yüksek Sıcaklık Etkisinin Mineral Katkı Çeşitlerine Göre Değişimi” konusunda hazırlamış olduğum Yüksek Lisans tezinin hazırlanmasında bilgi ve tecrübesinden yararlandığım Sayın hocam Doç. Dr. Yüksel ESEN’e teşekkür ederim.

Numunelerin hazırlanmasında yardımını esirgemeyen Fırat Üniversitesi Öğr. Gör. Ahmet COŞKUN’a Tunceli Üniversitesi Öğr. Gör. Zülfü Murat DOĞAN’a ve Yüksek Lisans arkadaşım Mehmet TEMİZER’e teşekkürlerimi sunarım.

Yine bu çalışma döneminde her türlü konuda desteklerini esirgemeyen Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi öğretim elemanları ve diğer çalışanların her birisine ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca malzeme temininde yardımcı olan Sika Yapı Kimyasalları A.Ş., Elazığ Birlik Beton ve Ekton İnşaat Müteahhitlik Lojistik San. ve Tic. A.Ş. ‘ye teşekkür ederim.

Bu çalışmamı tüm yaşantım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok sevgili ailem’e atfediyorum.

Alper KURT
ELAZIĞ-2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	X

BİRİNCİ BÖLÜM

1. GİRİŞ.....	1
---------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

2. METARYAL METOD.....	2
2.1. Beton	2
2.2. Beton Yapımında Kullanılan Malzemeler.....	2
2.2.1 Çimento	2
2.2.2 Agregalar.....	3
2.2.3 Beton Karışım Suyu	4
2.2.4 Betonda Mineral Katkı	5
2.3. Betonun Mukavemetini Etkileyen Faktörler	5
2.3.1. Çimento Miktarının Betonun Basınç Dayanımına Etkisi.....	5
2.3.2. Agrega Granülometrisinin ve Dmax'ın Basınç Dayanımına Etkisi	6
2.3.3. Çimento Kalitesi ve Türünün Basınç Dayanımına Etkisi	7
2.3.4. Su/Çimento Oranının Basınç Dayanımına Etkisi.....	7
2.3.5. Yüksek Sıcaklığın Beton Dayanımına Etkisi	8

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	10
3.1. Deneylerin Özeti	10
3.2. Kullanılan Cihazlar ve Materyaller	11
3.2.1. Teraziler.....	11
3.2.2. Ultra ses Ölçme Cihazı (PGH Ölçüm Cihazı).....	11
3.2.3 Diğer Cihazlar	11

3.3. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri ve Oranları.....	11
3.3.1. Çimentonun Özellikleri.....	11
3.3.2. Kullanılan Agrega Özellikleri.....	11
3.3.3. Karışım Suyu.....	13
3.3.4. Kimyasal Katkı.....	13
3.3.5. Mineral Katkılar.....	14
3.3.5.1. Barit Tozu.....	15
3.3.5.2. Diatomit Tozu.....	15
3.3.5.3. Silis Dumanı.....	16
3.3.5.4. Uçucu Kül.....	16
3.4. Beton Karışım Hesabı.....	17
3.5. Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	22
3.5.1. Numunelerin Fiziksel Özellikleri.....	22
3.5.1.1. BT Katkılı Betonun Fiziksel Deney Sonuçları.....	23
3.5.1.2. DT Katkılı Betonun Fiziksel Deney Sonuçları.....	24
3.5.1.3. SD Katkılı Betonun Fiziksel Deney Sonuçları.....	26
3.5.1.4. UK Katkılı Betonun Fiziksel Deney Sonuçları.....	27
3.5.2. Mineral Katkılı Betonların Ultrases Hızlarının(PGH) Ölçülmesi.....	28
3.5.2.1. BT Katkılı Beton Numunelerin PGH Sonuçları.....	30
3.5.2.2. DT Katkılı Beton Numunelerin PGH Sonuçları.....	31
3.5.2.3. SD Katkılı Beton Numunelerin PGH Sonuçları.....	32
3.5.2.4. UK Katkılı Beton Numunelerin PGH Sonuçları.....	33
3.6. Mineral Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları.....	34
3.6.1. Kontrol Betonlarının Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları.....	36
3.6.2. BT Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları.....	37
3.6.3. DT Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları.....	40
3.6.4. SD Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları.....	42
3.6.5. UK Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları.....	45

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. SONUÇLAR.....	48
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	54

ÖZET

Bu çalışmada, betonda yüksek sıcaklık etkisinin mineral katkı çeşitlerine göre değişimi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, CEM I 42,5 R çimentosu ile %0 %10, %20, %30, %40 ikameli olarak katılan Barit tozu, Diatomit, Silis dumanı, Uçucu kül, gibi farklı mineraller kullanılmıştır. TS 802'ye uygun olarak 600 adet 10*10*10 numune üretilmiş ve bunlar kirece doymun kür havuzlarında 28 günlük bekletildikten sonra 200, 400, 600 ve 800°C gibi yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır.

Ayrıca 28 günlük dayanıma sahip mineral katkıli beton numunelerin; kuru birim ağırlıkları, su altı ağırlıkları ve suya doymun ağırlıkları bulunmuştur. Ağırlıkça su emme yüzdeleri de tespit edilen beton numunelerin PGH ölçümleri yapılmış daha sonra basınç dayanımları bulunmuştur.

Deney sonuçlarından, yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun basınç dayanımında meydana gelen değişimler mineral katkı çeşidine göre incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Sıcaklık, Barit Tozu, Diatomit tozu, Silis Dumanı, Uçucu Kül

ABSTRACT

In this study, the effect of high temperature mineral admixture in concrete according to the types of change were investigated. For this purpose, cement CEM I 42.5 R and % 0% 10%, 20%, 30%, 40 joined as a substituted barite powder, diatomite, silica fume, fly ash is used as the different minerals. TS802 in accordance with 600 pcs 10 * 10 * 10 samples were produced. These are pools of lime saturated cycles after waiting 28 days 200, 400, 600, and 800 ° C were exposed to high temperatures.

In addition, mineral reinforced concrete specimens with a 28-day strength, dry unit weights, weights and saturated weights were underwater. Detected in the percentages of water absorption by weight of the concrete compressive strength of the samples were then made measurements of PGH.

Experimental results show that the compressive strength of concrete exposed to high temperature changes that occur are analyzed according to the type of mineral additives.

Keywords: High Temperature, Barite Powder, Diatomite Powder, Silica Fume, Fly Ash

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1 Palu agregası gronülometri grafiği	13
Şekil 3. 2 Kullanılan mineraller	14
Şekil 3.3 Hassas su altı terazisi.....	22
Şekil 3.4 BT katkılı beton numunelerin su emme yüzdeleri	24
Şekil 3.5 DT katkılı beton numunelerin su emme yüzdeleri	25
Şekil 3.6 SD katkılı beton numunelerin su emme yüzdeleri	26
Şekil 3.7 UK katkılı beton numunelerin su emme yüzdeleri.....	28
Şekil 3.8 Ultrases hızlarının(PGH) ölçüm cihazı	30
Şekil 3.9 BT katkılı beton numunelerin PGH değerleri	31
Şekil 3.10 DT katkılı beton numunelerin PGH değerleri	32
Şekil 3.11 SD katkılı beton numunelerin pgh değerleri	33
Şekil 3.12 UK katkılı beton numunelerin pgh değerleri.....	34
Şekil 3.13 Ela international auto test 3000 test cihazı.....	35
Şekil 3.14 Protherm Hlf 150 yüksek sıcaklık cihazı	36
Şekil 3.15 Kontrol numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	36
Şekil 3.16 % 10 BT katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	37
Şekil 3.17 %20 BT katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	38
Şekil 3.18 %30 BT katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	38
Şekil 3.19 %40 BT katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	39
Şekil 3.20 % 10 DT katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri.....	40
Şekil 3.21 % 20 DT katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri.....	40
Şekil 3.22 %30 DT katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri.....	41
Şekil 3.23 %40 DT katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri.....	42
Şekil 3.24 % 10 SD katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	42

Şekil 3.25 %20 SD katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	43
Şekil 3. 26 %30 SD katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	44
Şekil 3. 27 %40 SD katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	44
Şekil 3. 28 %10 UK katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	45
Şekil 3. 29 %20 UK katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	46
Şekil 3. 30 %30 UK katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	46
Şekil 3. 31 %40 UK katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri	47

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları.....	3
Tablo 3.1 Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.....	12
Tablo 3.2 Sika ViscoCrete Hi-Tech 28 kimyasalının teknik özellikleri.....	14
Tablo 3.3 Deneylerde kullanılan öğütölmüş barit tozunun analiz raporu.....	15
Tablo 3.4 Seydiler ditayomiti kimyasal özellikleri.....	15
Tablo 3.5 Silis dumanının kimyasal kompozisyonu.....	16
Tablo 3.6 Deneylerde Kullanılan Öğütölmüş Uçucu Külün Kimyasal Kompozisyonu.....	17
Tablo 3.7 1000 dm ³ 400 dozlu BT katkılı beton için karışım hesabı.....	18
Tablo 3.8 1000 dm ³ 300 dozlu BT katkılı beton için karışım hesabı.....	18
Tablo 3.9 1000 dm ³ 400 dozlu DT katkılı beton için karışım hesabı.....	19
Tablo 3.10 1000 dm ³ 300 dozlu DT katkılı beton için karışım hesabı.....	19
Tablo 3.11 1000 dm ³ 400 dozlu SD katkılı beton için karışım hesabı.....	20
Tablo 3.12 1000 dm ³ 300 dozlu SD katkılı beton için karışım hesabı.....	20
Tablo 3.13 1000 dm ³ 400 dozlu UK katkılı beton için karışım hesabı.....	21
Tablo 3.14 1000 dm ³ 300 dozlu UK katkılı beton için karışım hesabı.....	21
Tablo 3.15 300 dozlu barit katkılı betonun su emme yüzdeleri.....	23
Tablo 3.16 400 dozlu barit katkılı betonun su emme yüzdeleri.....	23
Tablo 3.17 300 dozlu diatomit katkılı betonun su emme yüzdeleri	24
Tablo 3.18 400 dozlu diatomit katkılı betonun su emme yüzdeleri	24
Tablo 3.19 300 dozlu silis dumanı katkılı betonun su emme yüzdeleri	26
Tablo 3.20 400 dozlu silis dumanı katkılı betonun su emme yüzdeleri	26
Tablo 3.21 300 dozlu uçucu kül katkılı betonun su emme yüzdeleri.....	27
Tablo 3.22 400 dozlu uçucu kül katkılı betonun su emme yüzdeleri.....	27
Tablo 3.23 400 ultra ses hızlarına göre beton kalitesi.....	29

Tablo 3.24 300 dozlu barit katkılı betonun pgh deney sonuçları.....	30
Tablo 3.25 400 dozlu barit katkılı betonun pgh deney sonuçları.....	30
Tablo 3.26 300 dozlu diatomit katkılı betonun pgh deney sonuçları.....	31
Tablo 3.27 400 dozlu diatomit katkılı betonun pgh deney sonuçları.....	32
Tablo 3.28 300 dozlu silis dumanı katkılı betonun pgh deney sonuçları.....	32
Tablo 3. 29 400 dozlu silis dumanı katkılı betonun pgh deney sonuçları.....	33
Tablo 3.30 300 dozlu uçucu kül katkılı betonun pgh deney sonuçları.....	33
Tablo 3.31 400 dozlu uçucu kül katkılı betonun pgh deney sonuçları.....	34

SEMBOLLER LİSTESİ

a	: Numunenin kesit boyu
C_{min}	: Çimento dozajı için önerilen minimum değer
D	: Dane çapı
D_{max}	: Maksimum dane çapı
f_{ck}	: Karekesirlik basınç dayanımı
l	: Örneğin boyu
L	: Mesnetler arası mesafe
m_1	: Su emme oranı
p	: Porozite
δ_k	: Kuru özgül ağırlığı (gr/cm^3)
P	: Kırılmanın olduğu max. yük
t	: Ultrasonik cihazdan okunan değer
v	: Ultrasonik dalgaların örnekte yayılma hızı
γ	: Birim ağırlık (gr/cm^3)
V	: Kabin hacmi (cm^3)
W_{kuru}	: Kuru ağırlık (gr)
W_{dky}	: Doygun kuru yüzey ağırlığı (gr)
W_{Suda}	: Sudaki ağırlığı (gr)
KBH	: Kuru birim hacim ağırlığı
K	: Kontrol numunesi
PGH	: Puls geçiş hızı
S/Ç	: Su/Çimento oranı
S/B	: Su/Bağlayıcı oranı
BT	: Barit tozu
DT	: Diatomit tozu
SD	: Silis dumanı
UK	: Uçucu Kül

BİRİNCİ BÖLÜM

1. GİRİŞ

Beton karışımını oluşturmak üzere kullanılan temel malzemelerin (çimentonun, agreganın ve suyun), karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi esnasında beton karışımının içerisine katılan malzemeye “beton katkı maddesi” denilmektedir [1].

Bilindiği gibi beton karışımında çimento, agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve mineral katkıları kullanılmaktadır. Beton yapımında genellikle kullanılan mineral katkı maddeleri uçucu kül, silis dumanı, tras, granüle yüksek fırın cürufu gibi puzolanik özellikli maddelerdir. Betonda kullanılacak mineral katkı maddelerinin mutlaka çok ince taneli durumda olmaları gerekmektedir.

Uçucu kül ve silis dumanı çok ince taneli puzolanik malzemeler olarak elde edilmektedir. Tras ve benzeri doğal puzolanları veya granüle yüksek fırın cürufunu beton katkı maddesi olarak kullanabilmek için, bu maddeler, öğütülerek ince taneli duruma getirilmektedirler. Puzolanik malzemelerin dışında, taş unu gibi puzolanik özellik taşımayan ince taneli malzemelerde beton katkı malzemesi olarak kullanılabilirler.

İnce taneli mineral katkıları, betonun işlenebilirliğini, dayanımını, dayanıklılığını ve ekonomikliğini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Yapılarda durabilite problemlerine yol açan başlıca fiziksel etkilerden biri de yüksek sıcaklıktır. Bu etki yapılarda kalıcı hasarlar oluşturarak yapı struktürünü önemli bir şekilde etkilemektedir. Yüksek sıcaklığın etkisi ile betonda meydana gelen patlama ve parça atmalar yapıda hasarlara, can ve mal kaybına neden olabilmektedir. Betonun yüksek sıcaklık karşısındaki dayanımı, doğal olarak betonun karışımına giren malzemelerden etkilenmektedir.

Bu çalışmada, Barit tozu, Diatomit, Silis dumanı, Uçucu kül gibi mineral katkıları betonun bağlayıcısı olan çimento ile ikameli olarak yer değiştirilerek beton numuneleri hazırlanmıştır. Aynı şartlar altında hazırlanan bu numunelere, basınç dayanımı, yüksek sıcaklık, PGH ve su emme deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçları kendi içinde ve karşılaştırılmalı olarak mukayese edilmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. METARYAL METOD

2.1. Beton

Çimento, iri agrega, ince agrega ve suyun, kimyasal ve mineral katkı da ilâve edilerek veya edilmeden karıştırılmasıyla oluşturulan plastik kıvamdaki harcın, katılaşp serleşmesiyle meydana gelen bir yapı malzemesidir.

Bir başka deyişle beton, önceden şekil verilebilen yapay bir taş olarak ta tanımlanabilir. Beton, değişik boyutlarda agrega adı verilen mineral dolgu malzemesinin, çimento ve su karışmasından oluşan bağlayıcı harç ile bileşimi sonucu, zamanla sertleşip dayanım kazanan kompozit bir malzeme olarak ta tanımlanabilir [7].

İstenilen özellikte beton üretilebilmesi için beton karışımlarının standartlara uygun olarak yapılması ve karışıma katılacak malzemenin içyapısının iyi bilinmesi gerekmektedir betonun hizmet gördüğü sürece boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yani yeterince dayanıklı olması, en az betonun dayanımı kadar, hatta çoğu zaman betonun dayanımından daha önemlidir. Betonun bazı özelliklerini değiştirerek performansını arttırabilmek ve/veya betonun daha ekonomik olmasını sağlayabilmek için betona bazı katkı malzemeleri katılmaktadır. Beton katkı maddeleri taze betonun işlenebilme, kıvam, su ihtiyacı ve priz süreleri gibi özelliklerini istenildiği yönde değiştirmek, terlemesini azaltmak için kullanılmaktadır. Taze betonun özellikleri, başta dayanım ve dayanıklılık olmak üzere, sertleşmiş betonun tüm özelliklerini ve ekonomikliğini etkilemektedir [1].

Katkı maddeleri kullanılarak gerek ilk günlerde gerekse nihai olarak daha yüksek beton dayanımı elde edilebilmektedir. Ayrıca, beton katkı maddelerinin kullanımları ile sertleşmiş betonun çevreden veya ortamdan kaynaklanan yıpratıcı etkenlere karşı daha dayanıklı olabilmesi sağlanabilmektedir.

2.2. Beton Yapımında Kullanılan Malzemeler

2.2.1 Çimento

Çimento, ana hammaddeleri kalker ve kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, biriket vs.) yapıştırımda kullanılan bir yapı malzemesidir. Çimentonun bu

yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen hidrolik bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve/veya kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500 °C’de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne ‘‘klinker’’ denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı eklenir ve çok ince toz haline öğütülerek Portland çimentosu elde edilir. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları Tablo 2.1’ de verilmiştir [3].

Tablo2.1 Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık Miktarları [4].

Oksit	Sembol	Çimento Kimyasına Göre Sembolü	Miktar (%)
Kireç	CaO	C	60-67
Silis	SiO ₂	S	17-25
Alümin	Al ₂ O ₃	A	3-8
Demir Oksit	Fe ₂ O ₃	F	0,5-6
Kükürt Trioksit	SO ₃	S	1-3
Magnezyum Oksit	MgO	M	0,1-4
Alkaliler	Na ₂ O+K ₂ O	N+K	0,2-1,3

2.2.2 Agregalar

Betonun ana iskeletini oluşturan, toplam hacmin yaklaşık % 60-80 oranlarında yer işgal eden mineral kökenli, taneli malzeme, agregalar olarak isimlendirilir. Agregalar elde edilmesine göre doğal ve yapay agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalar; suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile birlikte zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir [5].

Agregada aranılan özellikleri kısaca aşağıdaki gibi sıralandırabiliriz;

1. Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
2. Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür vb.)
3. Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
4. Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,

5. Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
6. Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir.
7. Agregada silt ve kil olmamalıdır.

Agregaların fiziksel özellikleri denildiğinde ise başlıca şu özellikler ön plana çıkar; birim ağırlık, özgül ağırlık, kompasite, boşluk oranı, agreganın su emme kapasitesine mevcut rutubet durumu, donma-çözülme ve diğer fiziksel etkilere karşı dayanıklılık [6].

Agregalarda aranılan en önemli özelliklerden biri, mekanik mukavemetlerinin bunların içinde özellikle basınç mukavemetinin yüksek olmasıdır. Betonda kullanılacak agreganın basınç dayanımının en az 600 kgf/cm² olması istenir. Yol ve hava meydanlarındaki beton, çarpma ve aşınma etkisi altındadır. Betonun bu etkilere dayanabilmesi için, yapımında kullanılan iri agreganın aşınmaya ve çarpmaya karşı yüksek mukavemete sahip olması gerekir [6].

2.2.3 Beton Karışım Suyu

Beton mukavemeti su/çimento oranına bağlıdır. Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir. Bir takım ön deneyler yapılmak kaydıyla, içilmeyen sular da bile gayet kaliteli beton üretilmektedir [3].

Beton karışımında kullanılan sular değişik kaynaklardan elde temin edilebilmektedir. TS EN1008 nolu türk standartı, beton yapılarında kullanılabilen suları aşağıdaki gibi sınıflandırmaktadır [1].

1. İçilebilen sular
2. Beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan sular
3. Yer altı kaynaklarından çıkan sular
4. Doğal yüzey suları ve endüstriyel atık suları
5. Deniz suyu ve göl suyu

Deniz suyunun içerdiği mineraller demir donatılı (betonarme) yapılarda beton içerisindeki donatıları bünyesinde bulundurduğu klorür iyonun sayesinde beton içerisindeki demir donatıların korozyonunun artmasına sebep vermektedir. Bundan dolayı demir donatılı betonlarda deniz suyu kullanılmasından kesinlikle kaçınılmalıdır. Bunlarla birlikte beton priz süresini etkilemekte ve sertleşmiş betonda çiçeklenme olayına sebep vermektedir.

2.2.4 Betonda Mineral Katkı

Betonu meydana getiren bileşenlerin özellikleri ile karışımın içerisindeki oranlar betonun karakterine etki etmektedir. Beton bileşimlerinden çimento ile mineraller yer değiştirilerek betonun özelliklerini etkilemektedir. Deneylede kullanılan mineraller doğal ve yapay mineraller kullanılmıştır.

2.3. Betonun Mukavemetini Etkileyen Faktörler

Betonun basınç dayanımına etki eden önemli faktörler: çimento miktarı, su çimento oranı agrega özellikleri (agreganın cinsi, granülometrik bileşimi, maksimum tane büyüklüğü, petrografik ve geometrik özelliği), çimentonun kalitesi, taze betonun kompasitesi, katkı maddesi türü ve miktarı, kür şekli (ortamı) ve sertleşme yaşı olarak sıralanabilir. Ayrıca, bu çalışmanın kapsamına alınmayan, karışımın hazırlanıp kalıba yerleştirme biçimi ve laboratuvar çalışmalarında test yöntemleri ile ilgili faktörlerde basınç dayanımına etken unsurlardır [8].

2.3.1. Çimento Miktarının Betonun Basınç Dayanımına Etkisi

En genel şekliyle tanımlandığında; çimento, karışımında su ile bağlayıcı hamur oluşturarak agrega taneciklerini birbirine bağlayan malzemedir. Bir beton kütle, çimento, su ve havadan oluşan bağlayıcı hamur ile agreganın iç içe girmesinden oluşmaktadır. Beton kütledeki agrega taneciklerinin yeterli sağlamlıkta (dayanımda) oldukları varsayılırsa, bağlayıcı hamurun agrega tanecikleri arasındaki boşlukları doldurucu yeterlilikte ve sağlamlılıkta olmasının betonun dayanımı üzerindeki etkisi ortaya çıkar.

Nitekim basınç altındaki beton kütlesi en zayıf yeri olan bağlayıcı hamurundan kırılmaktadır ki, bağlayıcı hamurun güçlendirilmesi doğrudan betonun güçlendirilmesidir. Bağlayıcı hamurun yeterliliğinin ve sağlamlılığının diğer faktörlerin yanı sıra önemli ölçüde içindeki çimento miktarına bağlı olduğu bilindiğine göre, belli bir kritik değere kadar betonun içerisinde çimento miktarı arttıkça betonun dayanımı da artacaktır [8]. Bu kritik değer aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$C_{\min} = \frac{550}{\sqrt[5]{D}} \quad (2.1)$$

Bu bağıntıdan anlaşılacağı gibi tane çapı büyüdükçe gerekli en az çimento dozajı azalmaktadır. Bunun nedeni tane çapının büyümesine bağlı olarak agrega yığınının boşluğunun azalmasıdır. Dozaj için bir minimum değer verilmesindeki gaye çimentonun agreganın tüm ara yerlerinde bulunmasını sağlamaktır [7].

Çimentonun bir diğer etkime şekli mekanik mukavemetinin beton mukavemetin değiştirmesine neden olmasıdır. Zira çimentonun mukavemetinin yüksek olması ile çimento hamuru parçalanmadan daha fazla gerilmelere maruz kalabilir ki bu da betonun mukavemetini artırır [7].

Çimentoların mekanik mukavemetlerinin zamanın bir fonksiyonu olmasından dolayıdır ki betonların mukavemeti de zamanla artmaktadır [7].

2.3.2. Agrega Granülometrisinin ve Dmax'ın Basınç Dayanımına Etkisi

Betonda, yeterli basınç dayanımının elde edilmesi, büyük oranda su ve çimentodan oluşan bağlayıcı hamurun niteliğine bağlıdır. İstenilen dayanımı en ekonomik şekilde elde etmek ise, bağlayıcı hamur azaltılıp yerine daha fazla agrega kullanmakla mümkündür. Öte yandan, yeterli akıcılığın sağlanması için bağlayıcı hamurun miktarının artırılmasının gerektiği bilinmektedir. Bağlayıcı hamur, agrega boşluklarını doldurmaktan başka, agrega taneciklerinin etrafını ince bir tabaka halinde sarmalı ve böylece onların fazla grift olmamasını sağlamalıdır. Bu şekilde homojen bir yapı oluşacaktır [8].

1.3.3. Çimento Kalitesi ve Türünün Basınç Dayanımına Etkisi

Çimentonun genel anlamda tanımı, "karışımında su ile bağlayıcı hamur oluşturarak agrega tanelerini birbirine bağlayan malzemedir" olarak verilmişti. Bu genel tanımlama içerisinde farklı türden çimentolar vardır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı ve yeraltı beton çalışmalarında esası oluşturarı portland çimentolardır. Portland çimentoları, portland çimento klinkerinin, alçı taşı ve istenirse % 10'a kadar herhangi bir doğal ya da yapay puzolanik madde ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen bir hidrolik bağlayıcı olarak tanımlanırlar. Portland çimento klinkeri ise, kireç taşı, silisli kum ve kilin belli oranlarda karıştırılıp öğütülerek en az sinterleşmeye kadar pişirilmesiyle oluşan bir üründür. Puzolanik maddelere gelince; bunlar kendi başlarına hidrolik bağlayıcı olmayan, ancak ince olarak öğütüldüklerinde nemli ortamda ve normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan doğal ya da yapay maddelerdir. Puzolanik maddelere örnek olarak; yüksek fırın cürufu, uçucu küller, tras, asit nitelikli riyolit, trakit ve tüfleri, asit nitelikli bazaltlar, ince silis kumları, pomza ve perlitler verilebilir [9].

1.3.4. Su/Çimento Oranının Basınç Dayanımına Etkisi

Basınç Dayanımına Etkisi Madencilikteki beton çalışmalarında az bilinen, ancak beton dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri de yoğurma suyunun karışım içindeki çimentoya oranıdır (su/çimento oranı). Karışım içerisine konulan beton karma suyunun iki temel görevi vardır:

Betonun mukavemetinde etken olan görevi; yoğurma suyu çimento ile reaksiyona girer, bağlayıcı hamuru oluşturur. Çimentonun prizini (hidratasyonunu) ve sertleşmesini sağlar. Bu iş için gerekli yoğurma suyu miktarı literatürde çimento ağırlığının 0,08 ile 0,22'si arasında verilmektedir [10].

Betonun akıcılığı ve işlenebilirliği üzerinde etken olan görevi, karma suyu agrega ve çimento taneciklerini ıslatarak taze betona belirli bir akıcılık (kıvam) verir. Bu görev için gerekli yoğurma suyu ise, çimento ağırlığının 0,30 ile 1,50 si kadardır. Görüldüğü gibi, bağlayıcı hamur oluşturmak için gereken suyun miktarı, tanecikleri ıslatmak için gerekenden çok azdır. Beton yoğurma suyunun belirlenmesinde taze betonun akıcılığının

(kıvamının) esas alındığı buradan da anlaşılmaktadır. Çimentonun prizinden (hidratasyonundan) sonra taze beton akıcılık sağlaması için konulan su zamanla buharlaşarak ayrılır ve betonda boşluklar oluşur. Bu durumda ise, betonun dayanımının düşmesine neden olur. Diğer bir deyişle, beton içinde (hidratasyon için gereken suyun dışında) taze betonun akıcılığı için katılan su miktarı arttıkça, yani su çimento oranı yükseldikçe, taze betonun akıcılığı (kıvamı) artar ancak betonun dayanımı hızla düşer [11].

1.3.5. Yüksek Sıcaklığın Beton Dayanımına Etkisi

Beton sertleşmiş çimento hamuru ve agregalardan meydana gelen heterojen yapıdaki bir malzemedir [12]. Betonun yangına karşı dayanıklı bir malzeme olduğuna inanılmasına rağmen, yapılan çalışmalar betonun yüksek sıcaklıkta önemli hasarlara uğradığını göstermiştir [13]. Beton bir bütün olarak düşünüldüğünde, genellikle içindeki sertleşmiş çimento hamuru ve agrega gibi bileşenlerin termal genleşmelerinin birbirinden farklı olduğu bilinir. Bu nedenle, betondaki sıcaklık değişimleri, içerisindeki bileşenlerde birbirinden farklı hacim değişmelerine, çatlak oluşumuna ve betonun dayanımının azalmasına neden olur. Bu olay “betondaki bileşenlerin termal uyumsuzluğu” olarak bilinmektedir [14]. Sertleşmiş çimento hamuru oda sıcaklığından yaklaşık 150 °C ye ısıtıldığında maksimum % 0.2 oranında genişir [15]. Sıcaklık 150 °C den 300 °C ye arttırıldığı zaman sertleşmiş çimento hamuru büzölmeye başlar. Sıcaklık 800 °C ye arttırıldığında ise çimento hamurundaki büzölme % 2.2 ye kadar çıkabilir. Genellikle, 150 °C nin üzerindeki yüksek sıcaklıklarda agregalar genişip dağılmaya başlarken, hidratasyon ürünlerinin dehidratasyonu sonucu çimento pastası büzöür. Bu nedenle, yüksek sıcaklık şartları altında termal genleşmeler ve çatlamlar gelişir [12].

Betonun termal iletkenliği düşük olduğu için, hızlı ısıtıldığı zaman betonun dışı ile iç kısmı arasında termal farklılıklar meydana gelerek betonun çatlamasına da yol açabilir [12]. Termal farklılık, betonun özgül ısısı ve termal iletkenliği gibi termal özellikleri ile ısıtma özelliklerine bağlıdır [16]. Ancak, termal etkiler numunenin hacmi ve şekli, uygulanan ısıtma yöntemi ve hızı ile ilgili olduğundan ısıtma hızının etkisi tek başına değerlendirilemez [12].

Çimento hamuru, ısınma esnasında önemli fiziksel ve kimyasal değişimlere uğradığından en kararsız beton bileşenidir. Çimento hamurunun, 100-200°C civarındaki

düşük sıcaklıklardaki davranışında buharlaşabilen su etkin rol oynamaktadır. Kimyasal ayrışma ve suyunun kaybı 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, termal etkiler ise 600 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda daha önemli olmaktadır. Kimyasal ayrışma ve bağ suyunun kaybı çimento hamurunun mikro yapısında değişikliklere neden olur. Çimento hamurundaki kimyasal bağlar, kohezif kuvvetler, porozite ve gözenek boyut dağılımı değişikliğe uğrar [17].

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Deneylerin Özeti

Bu çalışmada, TS 802'ye uygun olarak dökülmüş beton karışımına giren çimento miktarı, sırasıyla %10, %20, %30, %40 oranında ağırlıkça azaltılıp, yerine aynı oranlarda Barit tozu, Diatomit tozu, Uçucu kül ve Silis dumanı gibi doğal ve yapay mineraller katılmıştır. 300 ve 400 dozlu numuneler halinde üretilmiştir. Elde edilen betonların 28 günlük kürü sonrası normal ve yüksek sıcaklıktaki dayanımları, PGH ölçümleri, su emme ve boşluk oranları incelenmiştir.

Karışım hesapları yapılırken kullanılan mineral katkı çeşidine göre karışım suyu ihtiyacı değişeceğinden, su/çimento oranını sabit tutmak amacı ile yeni nesil süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Hazırlanan beton harcı slump deneyine tabii tutulmuş ve her mineral katkılı numune karışımı için 7 ± 1 cm çökme değeri elde edildiği görüldüğünde kalıplara yerleştirilmiştir. Deneyler için $10*10*10$ ebatlarında kalıplar yağlanmış ve hazırlanan harç kalıplara, kademeli olarak şişlenerek yerleştirilmiştir. Kalıplardan sökülen beton numuneler 28 gün kireçe doymun suda bekletilmiş ve sudan çıkarılan numuneler 24 saat havada kurumaya bırakılmıştır. Her deney için üç numune dökülmüş ortalama değerler alınmıştır.

28 günlük dayanıma sahip numunelerin önce kuru birim ağırlıkları, sualtı ağırlıkları ve suya doymun ağırlıkları bulunmuştur. Ağırlıkça su emme yüzdeleri de tespit edilen beton numuneleri daha sonra ultrases ölçme deneyine tabi tutularak PGH ölçümleri oda sıcaklığındaki numuneler üzerinde yapılmıştır. Numuneler 24 saat 105°C de etüvde sabit ağırlığa ulaşmucaya kadar bekletilmiştir. Daha sonra sırasıyla oda sıcaklığında, 200, 400, 600 ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler fırından alınarak, kendi halinde soğumaya bırakılıp, basınç tablasında kırma işlemine tabi tutulmuş ve basınç dayanımları bulunmuştur.

3.2. Kullanılan Cihazlar ve Materyaller

3.2.1. Terazı

Numune ağırlıklarının ölçümünde 0,1gr hassasiyetli elektronik terazi kullanılmıştır.

3.2.2. Ultra ses Ölçme Cihazı (PGH Ölçüm Cihazı)

Beton numunelerin karşılıklı iki yüzeyine tutulan diskler üzerinden betona ultra ses akım verilerek, geçiş süresi cihaz üzerinden mikro saniye olarak okunmuştur. Bu deney, ASTM C 597 standardına uygun olarak yapılmıştır [20]. Ultrasonik test cihazı ile betonun içerisine gönderilen ses üstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğer yüzeyine geçme süresi ölçülüp, dalga hızı hesaplanmaktadır. Bulunan bu ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki elde edilmektedir. Ultrasonik ses geçirgenliği deneyi her oran için 3'er adet 10*10*10 cm ölçülerindeki küp numuneler üzerinde uygulanmıştır. Beton numunenin bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalganın diğer yüzeyine ne kadar zamanda geçtiği incelenmiştir.

3.2.3 Diğer Cihazlar

Laboratuvar aşamasında kullanılan cihazlar Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Laboratuvarında bulunan; etüv, slump deney aleti, uygun kare gözlü elekler, cam balon, mikser, basınç ölçüm aleti, vb. gibi malzemelerdir.

3.3. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri ve Oranları

3.3.1. Çimentonun Özellikleri

Elazığ Altınova Çimento Fabrikasından temin edilen PÇ 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Çalışmada çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

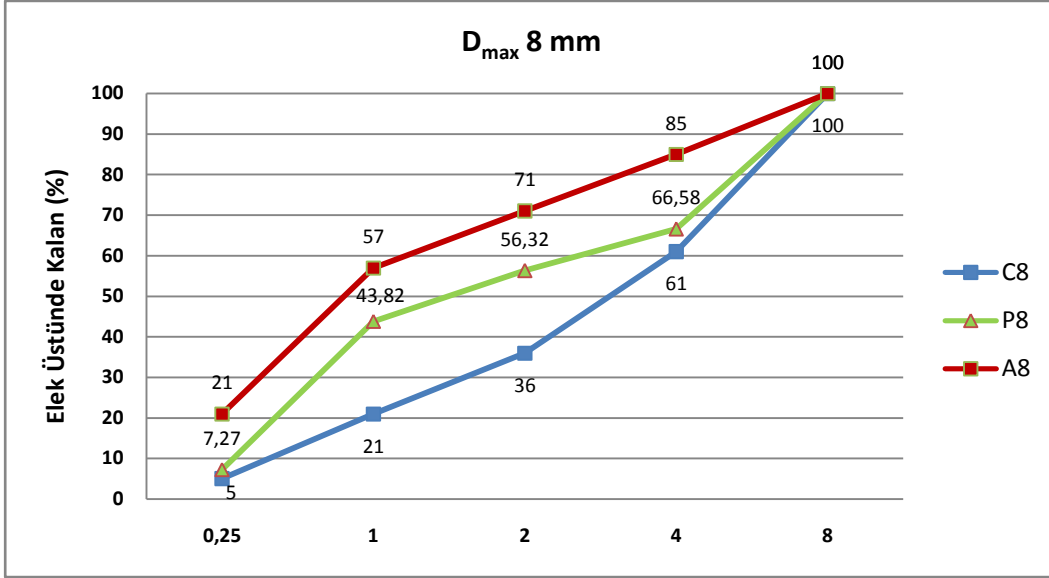
3.3.2. Kullanılan Agrega Özellikleri

Deneyde normal agrega olarak Elazığ Palu ilçesine ait dere yatağından çıkarılan özgül ağırlığı 2,70 gr/cm³ olan doğal agrega kullanılmıştır. Maksimum dane çapı 8 mm

seçilmiş ve 3000 gr alınan agrega numunesine yapılan granülometri deneyi sonucu Şekil 3.2’de granülometrik eğrisi elde edilmiştir.

Tablo 3.1 Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal özellikler	
Bileşenler	Bileşen miktarları (%)
Silyum dioksit (SiO ₂)	20,4
Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	5,61
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	3,27
Kalsiyum oksit (CaO)	63,01
Mağnezyum oksit (MgO)	2,49
Kükürt trioksit (SO ₃)	2,26
Klorür (Cl)	0,006
Kızdırma kaybı (K.K.)	1,64
Tayin edilemeyen (T.E.)	1,68
Fiziksel özellikler	
Özgül ağırlık, (gr/cm ³)	3,05
Özgül yüzey, (cm ² /gr.Blaine)	3470
Hacim genişmesi, (mm)	7
Priz başlama süresi, (h/dk.)	03:10
Priz sonu, (h/dk.)	04:15
Mekanik özellikler	
2. gün mukavemet, (N/mm ²)	24,2
7. gün mukavemet, (N/mm ²)	43,5
28.gün mukavemet, (N/mm ²)	54,5



Şekil 3.1. Palu agregası granülometri grafiği

Agrega karışımının boşluğunun en az, diğer bir ifade ile kompasitenin en fazla olması istenir. Böylelikle betonda hem sağlam bir taşıyıcı iskelet oluşması, hem de boşlukları dolduracak çimento hamurunun azalması gerçekleştirilebilir [21]. TS 706'ya göre en büyük tane çapına bağlı olarak granülometrik eğrinin C8 ve A8 eğrileri arasında bulunması gerekmektedir.

3.3.3. Karışım Suyu

Karışım hesapları yapıldıktan sonra karışımda kullanılacak suyun Elazığ merkez şebeke suyu belirlenmiştir.

3.3.4. Kimyasal Katkı

Beton numuneler hazırlanırken slump değerini su/çimento oranını değiştirmeden sabit tutabilmek amacı ile Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'den Yüksek performanslı hiper akışkanlaştırıcı beton katkıları olan Sika ViscoCrete Hi-Tech 28 kimyasal temin edilerek kullanılmıştır.

Tablo 3.2 Sika ViscoCrete Hi-Tech 28 kimyasalının teknik özellikleri

Sika ViscoCrete Hi-Tech 28

	Modifiye Polikarboksilat	
Kimyasal Yapı	Esaslı Polimer	
Yoğunluk	1.055 - 1.095 kg/l, 20°C	
pH Değeri	3 - 7	
Donma Noktası	-5°C	
Suda Çözünebilir Klorür	En fazla %0.1, klorür	(TS EN 934-2)
Yüzdesi	içermez	
Alkali Miktarı (%Na₂O	En fazla %4	(TS EN 934-2)
Eşdeğeri Olarak)		

3.3.5. Mineral Katkılar

Beton üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanılan birçok malzeme türü mevcuttur. Daha önceden bahsedildiği betonda mineral katkı olarak doğal ve yapay mineraller kullanılmıştır. Betonda kullanılacak olan mineral katkı ince taneli olmalıdır. Deneyde kullanılan yapay mineral olan silis dumanı ve uçucu kül elde edilmişlerine göre ince malzemelerdir. Doğal mineral olan barit ile diatomit mineralleri çimento inceliğine yakınlık teşkil edilecek duruma getirildikten sonra kullanılmıştır. İnce taneli mineraller beton kullanılırken çimento ile ikameli olarak kullanıldığından dolayı Su/Bağlayıcı oranını sabit tutmak amacı ile kimyasal katkı kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Kullanılan mineraller

3.3.5.1. Barit Tozu

Bu çalışmada, Muş End. Dış Ticaret A.Ş.'den temin edilen öğütülmüş haldeki barit kullanılarak betonda mineral katkı olarak kullanılmıştır.

Tablo 3.3 Deneylerde kullanılan öğütülmüş barit tozunun analiz raporu [18].

İçerik	Ağırlıkça (%)
Yoğunluk (gr/cm ³)	4,35
BaSO ₄	94,24
SiO ₂	2,23
Al ₂ O ₃	0,30
Fe ₂ O ₃	0,13
CaO	0,04
MgO	0,15
SrO	2,61
PbO	0,00
MnO	0,00
Kızdırma Kaybı	0,14

3.3.5.2. Diatomit Tozu

Kullanılan diatomit, Afyon-Ankara karayolu üzerinde bulunan Afyon Seydiler bölgesinden kayaç olarak temin edilmiş temin edilen diatomit çelik bilyeli tamburda öğütüldükten sonra 0,15 mm elek altında kalan diatomit mineral katkı olarak kullanılmıştır. Kullanılan diatomitin kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.4 Seydiler diatomitinin kimyasal özellikleri [19].

Bileşen (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	Ateşte Kayıp	Özgül ağırlık
Diatomit	67,20	10,09	2,74	0,63	1,36	0,36	-	0,67	8,00	1,45

3.3.5.3. Silis Dumanı

Silis dumanının elde edilişii genel olarak bakılırsa silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızla soğutulularak yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85-%98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye silis dumanı adı verilmektedir [6]. Silis dumanı Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'den temin edilmiştir. Silis dumanının kimyasal özelliklerine baktığımızda aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.5 Deneylerde kullanılan silis dumanının kimyasal kompozisyonu.

Bileşen	Silis dumanı
SiO ₂	93-95
C	0,8-1
Fe ₂ O ₃	0,4-1
Al ₂ O ₃	0,4-1,4
MgO	1-1,5
CaO	0,6-1
Na ₂ O ₃	0,1-0,4
K ₂ O	0,5-1
S	0,1-0,3
K.kaybı	0,5-1
Özgöl ağırlık	2,20

3.3.5.4. Uçucu Kül

Adana Yumurtalık ilçesi sınırları içerisinde bulunan Su gözü termik santralde linyit kömürün yakılmasıyla ortaya çıkan uçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan bu külün özgül ağırlığı 2,31 gr/cm³, blaine özgül yüzeyi ise 2840 cm²/gr dır. Kimyasal kompozisyonu bakımından Adana-Yumurtalık Uçucu Külü standart dışı bir küldür. [4].

Tablo 3.6 Deneylerde kullanılan uçucu külün kimyasal kompozisyonu

Bileşenler	Ortalama
SiO ₂	56,91
Fe ₂ O ₃	6,52
Al ₂ O ₃	21,85
CaO	3,33
MgO	2,57
K.K.	2,36
Toplam Alkali	-
K ₂ O	-
SO ₃	0,26
Na ₂ O	-
Cl	0,0057

3.4. Beton Karışım Hesabı

İyi bir beton için öncelikle iyi bir beton harcı hazırlanması gereklidir. Betonda aranan özellikler göz önünde bulundurularak beton harcı için gerekli S/B oranı, agrega miktarı, çökme miktarı varsa ilave katkı maddeleri ve oranları tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada tüm karışımlarda toplam bağlayıcı miktarı 400-300 kg/m³ olarak iki farklı dozaj dikkate alınmıştır. S/B oranı 0,50 alınarak yapılan slump deneyinde çökme miktarı 7±1cm olarak sabit tutulmuştur. Minerallerin farklı su emme kapasitelerinden dolayı S/B oranını sabit tutmak amacı ile barit ve uçucu kül minerali katkılı betonlarda bağlayıcı miktarının %0,5'i, diatomit ve silis dumanı katkılı olanlarda %0,8'i oranında akışkanlaştırıcı (Sika ViscoCrete Hi-Tech 28) kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır.

Bu çalışmada karışımda bulunma oranları harfin yanında olacak şekilde, kontrol numunesi; K, , barit tozu minerali; BT, diatomit tozu minerali; DT, uçucu kül minerali; UK ve silis sumanı minerali; SD olarak isimlendirilmiştir. Dozaj gösterimleri ise mineral katkı sembolünün yanında dozaja göre -3 (300 Dozlu) veya -4 (400 Dozlu) şeklinde gösterilmiştir. Kullanılan karışım oranları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 3.7 1000 dm³ 400 dozlu BT katkılı beton için karışım hesabı

		Kontrol Numunesi		BT 10		BT 20		BT 30		BT 40	
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento		129	400	116	360	103	320	90	280	77	240
Su		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agregası	0-4 mm										
	%60	395	1068	398	1074	400	1080	402	1086	404	1092
	4-8 mm										
	%40	264	712	265	716	267	720	268	724	270	728
BT Mik.		--	--	9	40	18	80	28	120	37	160
Kim. Katkı		2	2	2	2			2	2	2	2
Toplam		1000	2382	1000	2392	1000	2402	1000	2412	1000	2422

Tablo 3.8 1000 dm³ 300 dozlu BT katkılı beton için karışım hesabı

		Kontrol Numunesi		BT 10		BT 20		BT 30		BT 40	
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento		97	300	87	270	77	240	68	210	58	180
Su		150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agregası	0-4 mm										
	%60	445	1202	447	1206	448	1211	450	1215	452	1220
	4-8 mm										
	%40	297	801	298	804	299	807	300	810	301	813
BT Mik.		--	--	7	30	14	60	21	90	28	120
Kim. Katkı		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Toplam		1000	2455	1000	2462	1000	2470	1000	2478	1000	2485

Tablo 3.9 1000 dm³ 400 dozlu DT katkılı beton için karışım hesabı

		Kontrol Numunesi		DT 10		DT 20		DT 30		DT 40	
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento		129	400	116	360	103	320	90	280	77	240
Su		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agregası	0-4 mm %60	395	1066	386	1043	377	1019	368	995	360	971
	4-8 mm %40	263	711	257	695	252	679	246	663	240	648
DT Mik.		--	--	28	40	55	80	83	120	110	160
Kim. Katkı		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Toplam		1000	2380	1000	2341	1000	2301	1000	2261	1000	2222

Tablo 3.10 1000 dm³ 300 dozlu DT katkılı beton için karışım hesabı

		Kontrol Numunesi		DT 10		DT 20		DT 30		DT 40	
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento		97	300	87	270	77	240	68	210	58	180
Su		150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agregası	0-4 mm %60	445	1200	438	1182	432	1165	425	1148	419	1130
	4-8 mm %40	296	800	292	788	288	777	283	765	278	753
DT Mik.		--	--	21	30	41	60	62	90	83	120
Kim. Katkı		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Toplam		1000	2453	1000	2422	1000	2394	1000	2365	1000	2335

Tablo 3.11 1000 dm³ 400 dozlu SD katkılı beton için karışım hesabı

Kontrol Numunesi		SD 10		SD 20		SD 30		SD 40			
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)		
Çimento		129	400	116	360	103	320	90	280	77	240
Su		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agregası	0-4 mm %60	395	1066	392	1058	389	1050	386	1041	382	1032
	4-8 mm %40	263	711	261	705	259	699	257	694	255	688
SD Mik. Katkı		--	--	18	40	36	80	54	120	73	160
Kim. Katkı		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Toplam		1000	2380	1000	2366	1000	2352	1000	2338	1000	2323

Tablo 3.12 1000 dm³ 300 dozlu SD katkılı beton için karışım hesabı

Kontrol Numunesi		SD 10		SD 20		SD 30		SD 40			
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)		
Çimento		97	300	87	270	77	240	68	210	58	180
Su		150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agregası	0-4 mm %60	445	1200	443	1195	440	1188	437	1182	435	1175
	4-8 mm %40	296	800	294	796	294	793	292	788	290	784
SD Mik. Katkı		--	--	14	30	27	60	41	90	55	120
Kim. Katkı		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Toplam		1000	2453	1000	2443	1000	2433	1000	2422	1000	2094

Tablo 3.13 1000 dm³ 400 dozlu UK katkılı beton için karışım hesabı

Kontrol Numunesi		UK 10		UK 20		UK 30		UK 40			
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)		
Çimento		129	400	116	360	103	320	90	280	77	240
Su		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agregası	0-4 mm %60	395	1068	393	1061	390	1053	387	1046	385	1039
	4-8 mm %40	264	712	262	707	260	702	258	697	256	692
UK Mik.		--	--	17	40	35	80	52	120	70	160
Kim. Katkı		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Toplam		1000	2382	1000	2370	1000	2357	1000	2345	1000	2333

Tablo 3.14 1000 dm³ 300 dozlu UK katkılı beton için karışım hesabı

Kontrol Numunesi		UK 10		UK 20		UK 30		UK 40			
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)		
Çimento		97	300	87	270	77	240	68	210	58	180
Su		150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agregası	0-4 mm %60	445	1202	443	1196	441	1191	439	1185	437	1180
	4-8 mm %40	297	801	295	798	294	794	293	790	291	787
UK Mik.		--	--	13	30	26	60	39	90	52	120
Kim. Katkı		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Toplam		1000	2455	1000	2445	1000	2436	1000	2427	1000	2418

3.5. Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

3.5.1. Numunelerin Fiziksel Özellikleri

28 günlük dayanımlarını oda sıcaklığında kirece doygun suda kazanmış mineral katkılı beton numuneler üzerinde TS 3624'e uygun olarak aşağıdaki deneyler yapılmıştır. Numuneler kür tankından çıkarıldıktan sonra 0,1 gr hassasiyete sahip tartıyla tartılmış ve Doygun Kuru Yüzey Ağırlıkları hesaplanmıştır. Aynı numuneler su altında tartılıp Sudaki Ağırlığı tespit edilmiş ve numuneler etüve yerleştirilip 24 saat kuruması beklendikten sonra kuru ağırlıkları ölçülmüştür.



Şekil 3.3 Hassas su altı terazisi

10*10*10 cm ebadında 1dm³ olarak dökülen beton numuneleri su emme oranları için sırasıyla aşağıdaki formüllerden yararlanılmıştır;

Hacim Hesabı;

$$V = \frac{W_{DKY} - W_{Suda}}{998} \times 1000 \quad (3.1)$$

Kuru Özgöl Ağırlığı;

$$\delta_K = \frac{W_{Kuru}}{W_{DKY} - W_{Suda}} \quad (3.2)$$

Su Emme;

$$m = \frac{W_{DKY} - W_{Kuru}}{W_{Kuru}} \times 100 \quad (3.3)$$

Porozite;

$$p = \frac{W_{DKY} - W_{Kuru}}{W_{Kuru}} \times \delta_g \quad (3.3)$$

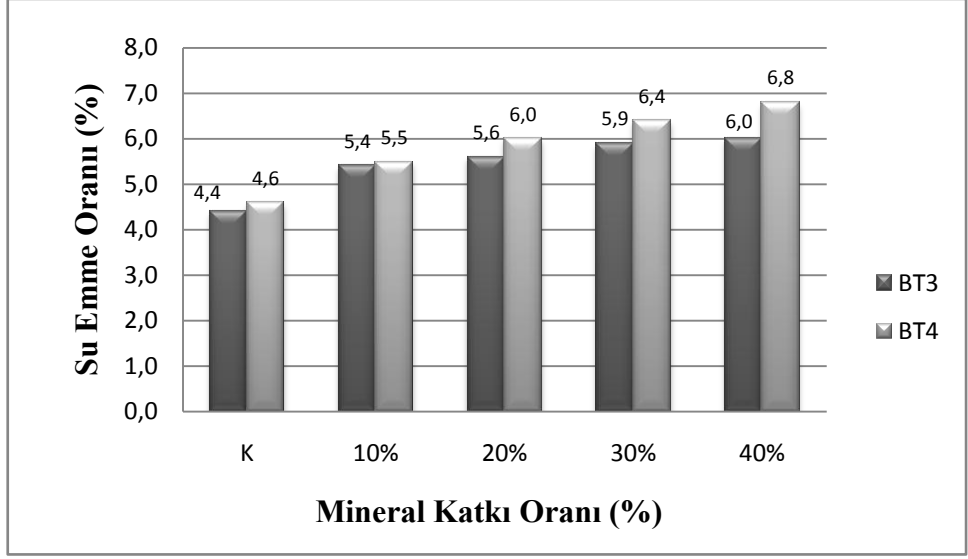
3.5.1.1. BT Katkılı Betonun Fiziksel Deney Sonuçları

Tablo 3.15 300 dozlu barit katkılı betonun su emme yüzdeleri

Numuneler	Su Emme Yüzdesi (%)
K	4,4
BT3-10	5,4
BT3-20	5,6
BT3-30	5,9
BT3-40	6,0

Tablo 3.16 400 dozlu barit katkılı betonun su emme yüzdeleri

Numuneler	Su Emme Yüzdesi (%)
K	4,6
BT4-10	5,5
BT4-20	6,0
BT4-30	6,4
BT4-40	6,8



Şekil 3.4 BT katkıli beton numunelerin su emme yüzdesi

Şekil 3.4 de görüldüğü gibi numunelerin su emme yüzdeleri barit tozu miktarının artışına bağlı olarak artmaktadır. Su emme yüzdesi 400 dozlularda daha fazla olduğu görülmektedir. Her iki dozajda artışın sebebi bağlayıcı ikameli olarak yer değiştiren barit tozunun yüksek oranda su emme kapasitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

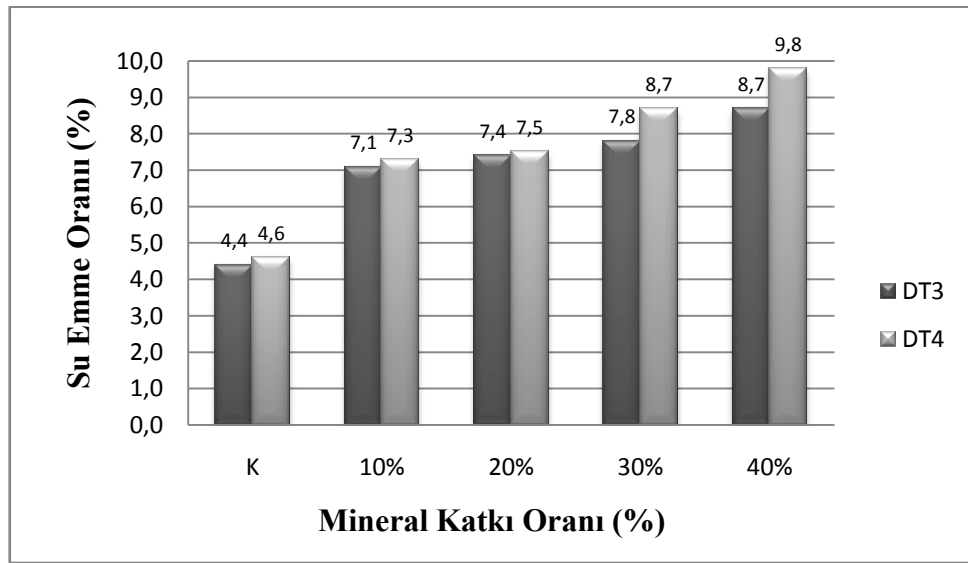
3.5.1.2. DT Katkıli Betonun Fiziksel Deney Sonuçları

Tablo 3.17 300 dozlu diatomit katkıli betonun su emme yüzdeleri

Numuneler	Su Emme Yüzdesi (%)
K	4,4
DT3-10	7,1
DT3-20	7,4
DT3-30	7,8
DT3-40	8,7

Tablo 3.18 400 dozlu diatomit katkılı betonun su emme yüzdeleri

Numuneler	Su Emme Yüzdesi (%)
K	4,6
DT4-10	7,3
DT4-20	7,5
DT4-30	8,7
DT4-40	9,8



Şekil 3.5 DT katkılı beton numunelerinin su emme yüzdesi

Diatomit'in su emme özelliği çimentodan fazla olup, ağırlığının yaklaşık olarak %80-90'ı kadar olduğu bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı her iki dozajda da artış olmaktadır. Bu artış barit tozu katkılılarda olduğu gibi 400 dozajlılarda daha fazladır. Diatomit tozu katkılı betonlarda bu yükseliş BT katkılı betonlardan çok daha fazladır. Bunun sebebi oldukça düşük olan özgül ağırlıklarından dolayı bağlayıcı ile yer değiştirildiğinde daha fazla çimento hamuru hacmi oluşmasındandır. Su emme oranına baktığımızda ise her iki dozaj içinde kontrol numunesine göre yaklaşık olarak %100 arttığı Şekil 3.5 den görülmektedir.

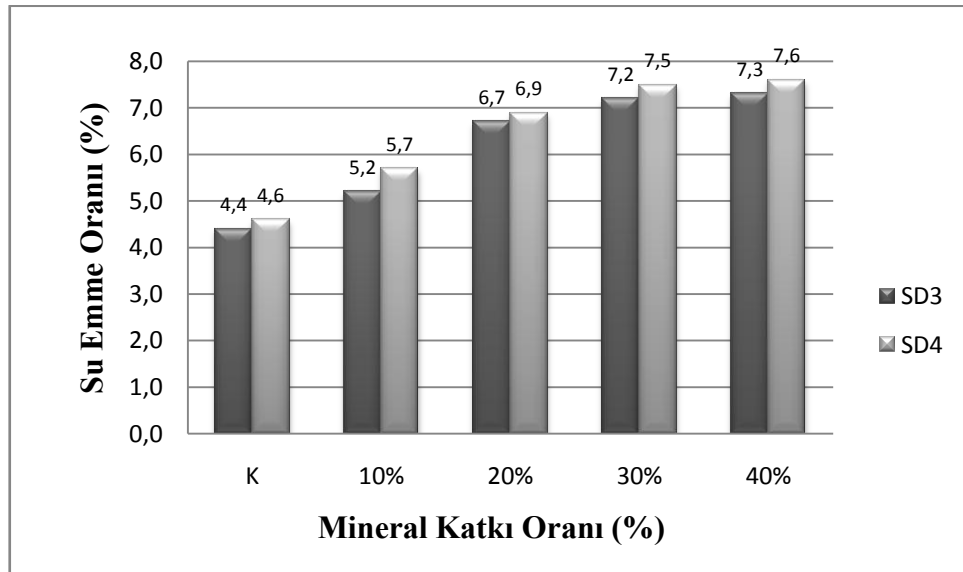
3.5.1.3. SD Katkılı Betonun Fiziksel Deney Sonuçları

Tablo 3.19 300 dozlu silis dumanı katkıli betonun su emme yüzdeleri

Numuneler	Su Emme Yüzdesi (%)
K	4,4
SD3-10	5,2
SD3-20	6,7
SD3-30	7,2
SD3-40	7,3

Tablo 3.20 400 dozlu silis dumanı katkıli betonun su emme yüzdeleri

Numuneler	Su Emme Yüzdesi (%)
K	4,6
SD4-10	5,7
SD4-20	6,9
SD4-30	7,5
SD4-40	7,6



Şekil 3.6 SD katkıli beton numunelerinin su emme yüzdesi

Şekil 3.6' daki SD katkılı betonların su emme deney sonuçları incelendiğinde, silis dumanı katkı oranı arttıkça her iki dozajda yapılan beton numunelerinin su emme oranlarının arttığı görülmektedir. Ancak bu artış barit tozu katkılı olanlarınkinden daha fazla, diatomit tozu katkılı betonlardakinde daha azdır.

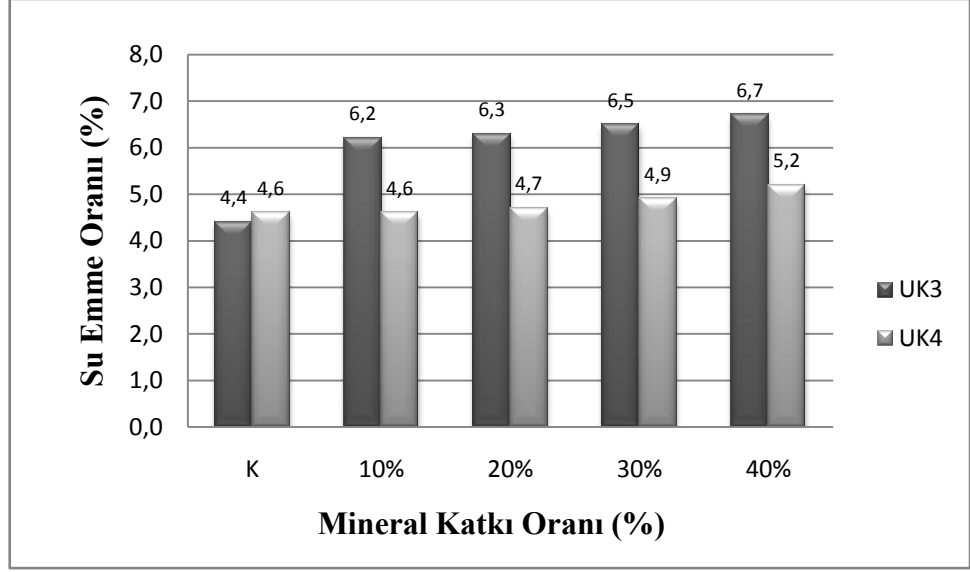
3.5.1.4. UK Katkılı Betonun Fiziksel Deney Sonuçları

Tablo 3.21 300 dozlu uçucu kül katkılı betonun su emme yüzdeleri

Numuneler	Su Emme Yüzdesi (%)
K	4,4
UK3-10	6,2
UK3-20	6,3
UK3-30	6,5
UK3-40	6,7

Tablo 3.22 400 dozlu uçucu kül katkılı betonun su emme yüzdeleri

Numuneler	Su Emme Yüzdesi (%)
K	4,6
UK4-10	4,6
UK4-20	4,7
UK4-30	4,9
UK4-40	5,2



Şekil 3.7 UK katkıli beton numunelerin su emme yüzdesi

Uçucu kül katkıli betonlara bakıldığında diğer katkıli betonlara nazaran her iki dozajda da diğer betonlardan farklı davrandığı görülmüştür. 300 dozunun su emme miktarının, 400 dozlu karışım su emme miktarından daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi uçucu külün yapısından ve karışıma giren miktarlardan dolayıdır. Yapılan literatür taramasında çimento ağırlığının %20-30'u azaltılarak onun yerine uçucu kül kullanılan betonların su ihtiyacında yaklaşık %7 kadar daha az su kullanıldığı görülmüştür[29]. Kül taneciklerinin küresel şekilli olmaları, daha az sürtünmeye yol açtığı için daha az su ihtiyacı olmasına neden olmaktadır

3.5.2. Mineral Katkıli Betonların Ultrases Hızlarının(PGH) Ölçülmesi

Bilindiği gibi titreşim frekansı 20 kHz 'den büyük olan ses dalgalarına ultrasonik dalgalar denir. Malzeme testinde kullanılan ultrasonik dalgalar piezo-elektrik özellik gösteren transdüserler yardımıyla elde edilmektedir. Betonun bir yüzeyinden gönderilen ultrasonik dalgalar beton içinde ilerlerken yolları üzerinde boşluklara rastlarlar. Bu dalgalar boşluk kenarına gelince karşı tarafa geçemediğinden boşluğun etrafını dolaşacaktır. Bu olayın pek çok sayıda tekrarlanması ultrasonik dalgaların belirli iki nokta arasındaki yolunu artıracaktır. Ultrasonik hızın azalması, betonun boşluklu olduğunu göstermekte buna bağlı olarak beton dayanımı da düşmektedir [1].

Bu deney yöntemi ile ilgili teknikler ve test cihazının özellikleri kullanım yöntemleri, ASTM C 597 no'lustandard'ta belirtilmektedir [22].

PGH ölçüm deneyine başlamadan metal başlıklara gres yağı sürülerek kalibre edilerek test ölçümü yapılır. Alet kalibre edildikten sonra kalibrasyon parçası üzerinde bulunan 25,9 luk mikro saniye değer ekranda okunularak kalibre edilir. Ölçüm yapılan beton donatısız beton olmalıdır. Cihaz açılarak metal başlıklardan biri dalga gönderici olarak numunenin bir yüzüne tamamen temas edecek şekilde elle bastırılır. Numunenin diğer yüzüne de, diğer metal başlık dalga alıcı olarak elle bastırılır. Ultrasonik test cihazı, ses üstü dalgaların, dalga gönderici ve alıcı başlıklar arasındaki bir mesafeyi ne kadar zamanda geçtiğini mikro saniye birimiyle otomatik olarak belirlemekte ve cihazın üzerindeki ekranda göstermektedir.

Okunan değerler tablo haline getirilerek geçiş hızı ve mesafe bağıntısı kullanılarak tahribatsız olarak numune üzerinden yorum yapılmıştır.

Ultrases hızı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmış ve aşağıdaki tablodan yararlanılmıştır [23].

$$v = \frac{l}{t} \times 10 \quad (3.4)$$

Tablo 3.23 Ultra ses hızlarına göre beton kalitesi

Ultrases Hızı v (km/sn)	Beton Kalitesi
> 4,5	Çok İyi
3,4 ~ 4,5 arası	İyi
3,0 ~ 3,5 arası	Şüpheli
2,0 ~ 3,0 arası	Zayıf
< 2,0	Çok Zayıf



Şekil 3.8 Ultrases hızlarının(PGH) ölçüm cihazı

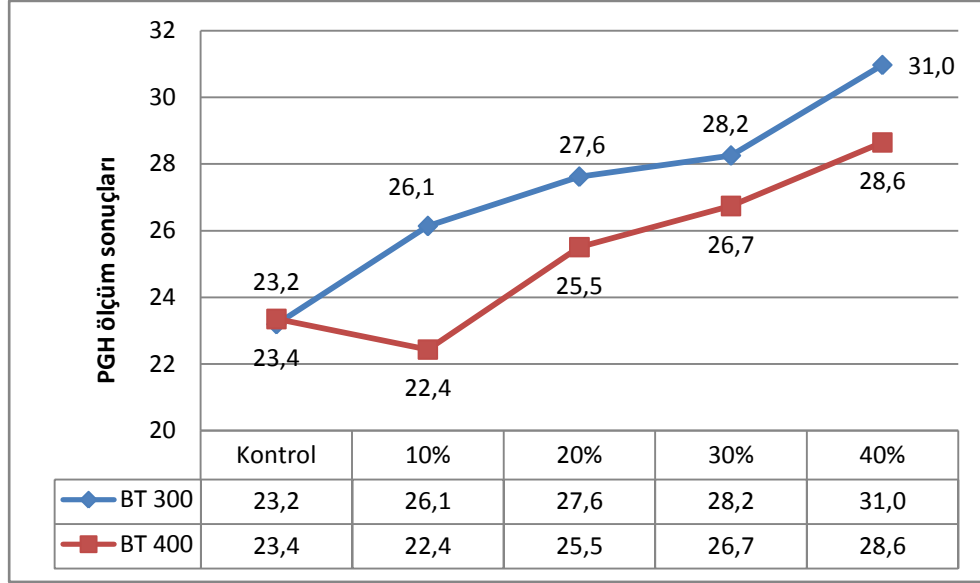
3.5.2.1. BT Katkılı Beton Numunelerin PGH Sonuçları

Tablo 3.24 300 dozlu barit katkılı betonun PGH deney sonuçları

BT 300 Dozlu PGH Değerleri					
Karışım Oranı	K	10%	20%	30%	40%
Okunan Değer (t)	23,2	26,1	27,6	28,2	31,0
Yayımlama Hızı (v)	4,31	3,83	3,62	3,54	3,23
Beton Kalitesi	İyi	İyi	İyi	İyi	Şüpheli

Tablo 3.25 400 dozlu Barit katkılı betonun PGH deney sonuçları

BT 400 Dozlu PGH Değerleri					
Karışım Oranı	K	10%	20%	30%	40%
Okunan Değer (t)	23,4	22,4	25,5	26,7	28,6
Yayımlama Hızı (v)	4,28	4,46	3,92	3,74	3,49
Beton Kalitesi	İyi	İyi	İyi	İyi	Şüpheli



Şekil 3.9 BT katkıli beton numunelerin PGH değerleri

Her iki dozajdaki karışım oranı arttıkça okunan değerler artmış bunlara ters orantılı bir şekilde yayılma hızlarında düşüşler gözlenmiştir. Her iki dozaj da %40 katkıli betonlarda tablodan bakıldığında şüpheli sonuçlarına varılmıştır. 300 dozlu betonun yayılma hızlarına bakıldığında lineer bir düşüş olduğu izlenmiş 400 dozlu ise %10 katkısında bir artış daha sonraki katkı oranlarında düşüşler olmuştur bu düşüş basınç dayanımında aynı eğimde olduğu görülmektedir.

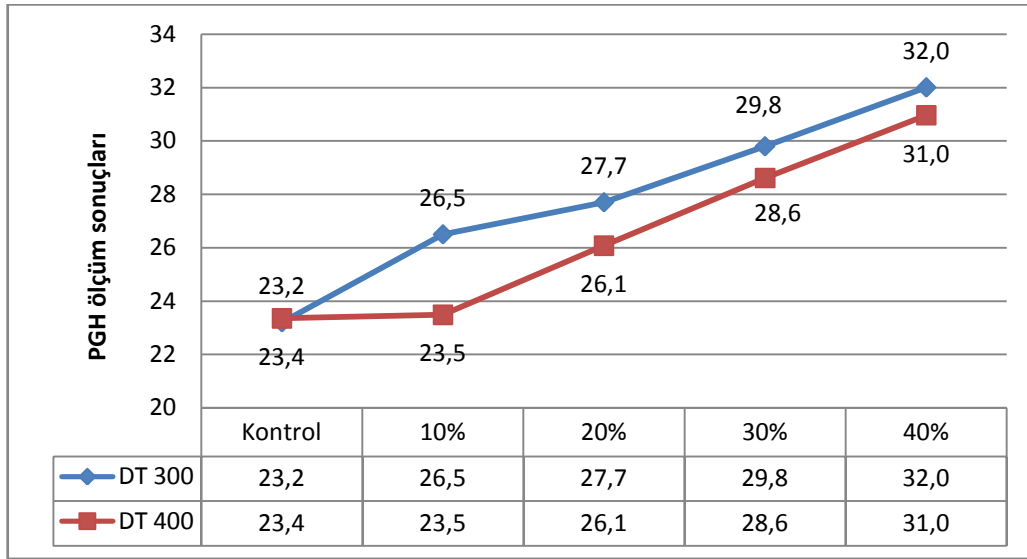
3.5.2.2.DT Katkıli Beton Numunelerin PGH Sonuçları

Tablo 3.26. 300 dozlu Diatomit katkıli betonun PGH deney sonuçları

DT 300 Dozlu PGH Değerleri					
Karışım Oranı	K	10%	20%	30%	40%
Okunan Değer (t)	23,2	26,5	27,7	29,8	32,0
Yayılma Hızı (v)	4,31	3,78	3,75	3,73	3,13
Beton Kalitesi	İyi	İyi	İyi	İyi	Şüpheli

Tablo 3.27 400 dozlu Diatomit katkılı betonun PGH deney sonuçları

DT 400 Dozlu PGH Değerleri					
Karışım Oranı	K	10%	20%	30%	40%
Okunan Değer (t)	23,4	23,5	26,1	28,6	31,0
Yayılma Hızı (v)	4,28	4,26	3,84	3,49	3,23
Beton Kalitesi	İyi	İyi	İyi	İyi	Şüpheli



Şekil 3.10 DT katkılı beton numunelerin PGH değerleri

Diatomit katkılı betonların yayılma hızlarına bakıldığında dengeli düşer meydana geldiği görülmüştür. Her iki dozajda %40'lık mineral katkılılarda yayılma hızlarının bulunduğu aralık şüpheli durumda olduğunu göstermektedir.

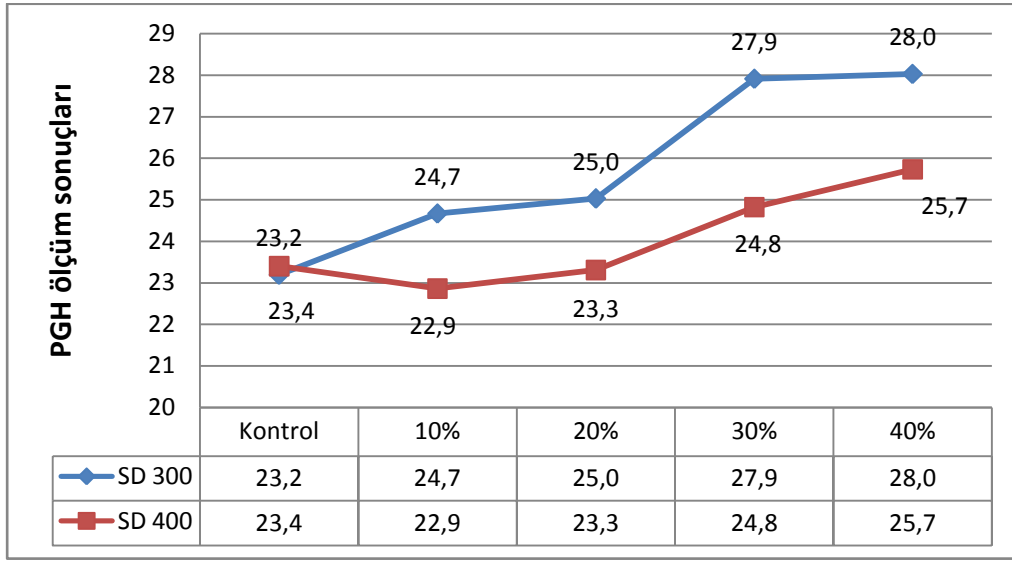
3.5.2.3.SD Katkılı Beton Numunelerin PGH Sonuçları

Tablo 3.28 300 dozlu Silis dumanı katkılı betonun PGH deney sonuçları

SD 300 Dozlu PGH Değerleri					
Karışım Oranı	K	10%	20%	30%	40%
Okunan Değer (t)	23,2	24,7	25,0	27,9	28,0
Yayılma Hızı (v)	4,31	4,05	4,00	3,58	3,57
Beton Kalitesi	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi

Tablo 3.29 400 dozlu Silis dumanı katkılı betonun PGH deney sonuçları

SD 400 Dozlu PGH Değerleri					
Karışım Oranı	K	10%	20%	30%	40%
Okunan Değer (t)	23,4	22,9	23,3	24,8	25,7
Yayımla Hızı (v)	4,25	4,37	4,29	4,03	3,89
Beton Kalitesi	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi



Şekil 3.11 SD katkılı beton numunelerin PGH değerleri

Yapılan ölçümler sonucunda yayılma hızlarında iyi sonuçları elde edilmiştir. Ancak yayılma hızlarında ki düşüş göz ardı edilmemelidir.

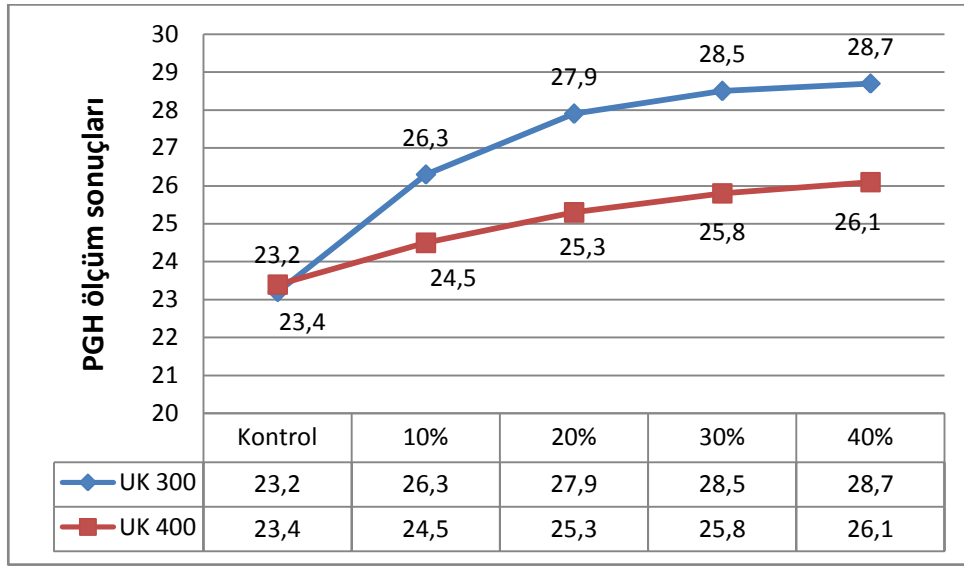
3.5.2.4.UK Katkılı Beton Numunelerin PGH Sonuçları

Tablo 3.30 300 dozlu Uçucu kül katkılı betonun PGH deney sonuçları

UK 300 Dozlu PGH Değerleri					
Karışım Oranı	K	10%	20%	30%	40%
Okunan Değer (t)	23,2	26,3	27,9	28,5	28,7
Yayımla Hızı (v)	4,31	3,81	3,58	3,71	3,59
Beton Kalitesi	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi

Tablo 3.31 400 dozlu Uçucu kül katkıli betonun PGH deney sonuçları

UK 400 Dozlu PGH Değerleri					
Karışım Oranı	K	10%	20%	30%	40%
Okunan Değer (t)	23,4	24,5	25,3	25,8	26,1
Yayıma Hızı (v)	4,27	4,08	3,95	3,87	3,83
Beton Kalitesi	İyi	İyi	İyi	İyi	iyi



Şekil 3.12 UK katkıli beton numunelerin PGH değerleri

Her iki dozaj'lı numunelerde beton kalitesi okunan yayılma hızı değerlerine göre iyi olduğu görülmektedir.

3.6. Mineral Katkıli Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları

Numuneler, laboratuvar ortamında kurutulduktan sonra deneye tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda numunelerin taşıyabileceği maksimum basınç gerilmeleri kN/cm^2 olarak belirlenmiştir. Numunelerin basınç dayanımı 28 günlük numuneler üzerinde şekil 2.18 deki Protherm HLF 150 yüksek sıcaklık makinesi ile 200, 400, 600, 800 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklar maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığına düşülmesi beklenerek Ela international auto test 3000 ile basınç değerleri gözlenmiştir.

Betonun kabul veya reddedilmesi için teslim alınan betonun basınç dayanımının araştırılması, standart deney yöntemine uygun olarak yapılmaktadır. Standartlara uygun olarak hazırlanmış olan küp beton numunemizin boyutları kumpas yardımı ile ölçülmüştür. Etiketini bize bakacak şekilde 100 kg hassasiyetindeki 200 ton'luk prese yerleştirilmiştir. Yükleme hızı darbe etkisi yapmayacak şekilde 3 kN/s olarak ayarlanmıştır. Doğru bir ölçüm yapabilmek için yavaş hızda yükleme yapılarak belirli yükleme değerlerindeki şekil değiştirmeler kontrol edilmiştir.



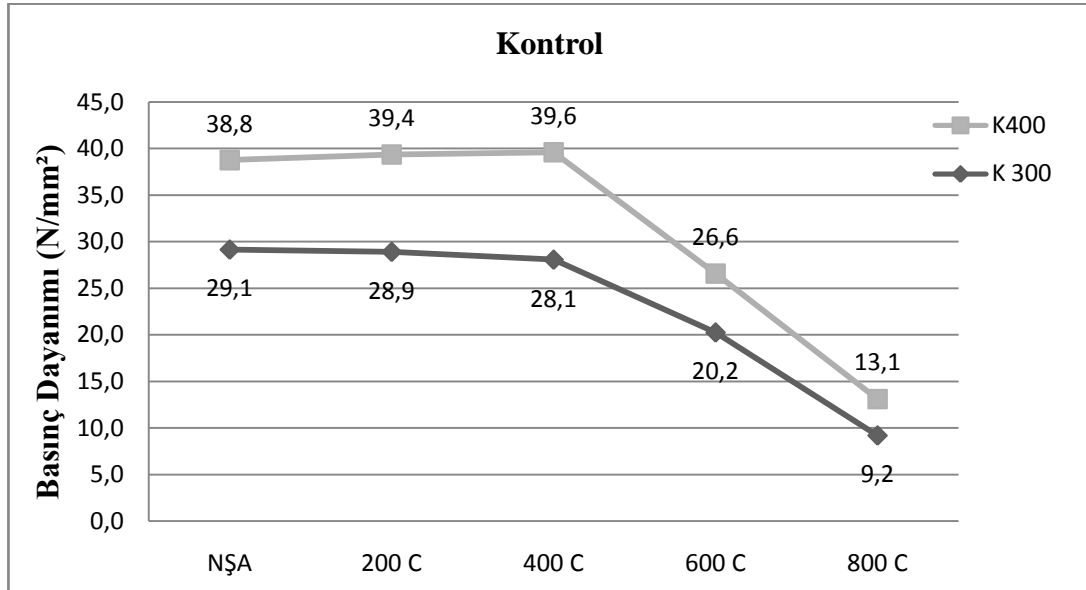
Şekil 3.13 Ela international auto test 3000 test cihazı

Deney numunesinin kırıldığı andaki en yüksek yük değeri okunarak okunan değer alana bölünerek kN/cm^2 cinsinden değerler okunmuştur. Her bir oran ve yüksek sıcaklık değeri için üretilen 3'er adet numunenin basınç dayanımları ortalaması alınarak beton basınç dayanımları hesaplanmıştır.



Şekil 3.14 Protherm Hlf 150 yüksek sıcaklık cihazı

3.6.1. Kontrol Betonlarının Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları

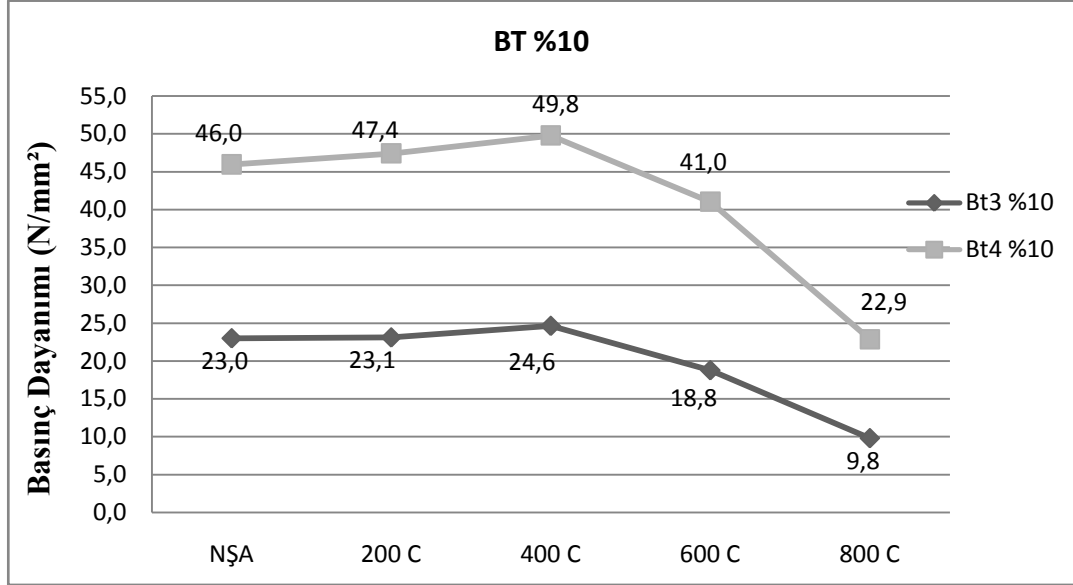


Şekil 3.15 Kontrol numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Kontrol numunelerinde NŞA' daki basınç dayanımları 400 dozlularda 200 ve 400 °C' de normal havadaki referans numunesine göre artışlar olmuş ancak 600 °C' de önemli düşüşler meydana gelmiştir. Bu düşüşler aynı şekilde 600 °C deki gibi yaklaşık olarak aynı oranda 800 °C ye kadar devam etmiştir. 300 dozlu numuneler ise normal şartlar altındaki referans numuneleri ile kıyaslanarak 400°C'ye kadar önemli bir değişim olmamış, bu noktadan sonra 800 °C ye kadar önemli düşüşler gözlenmiştir.

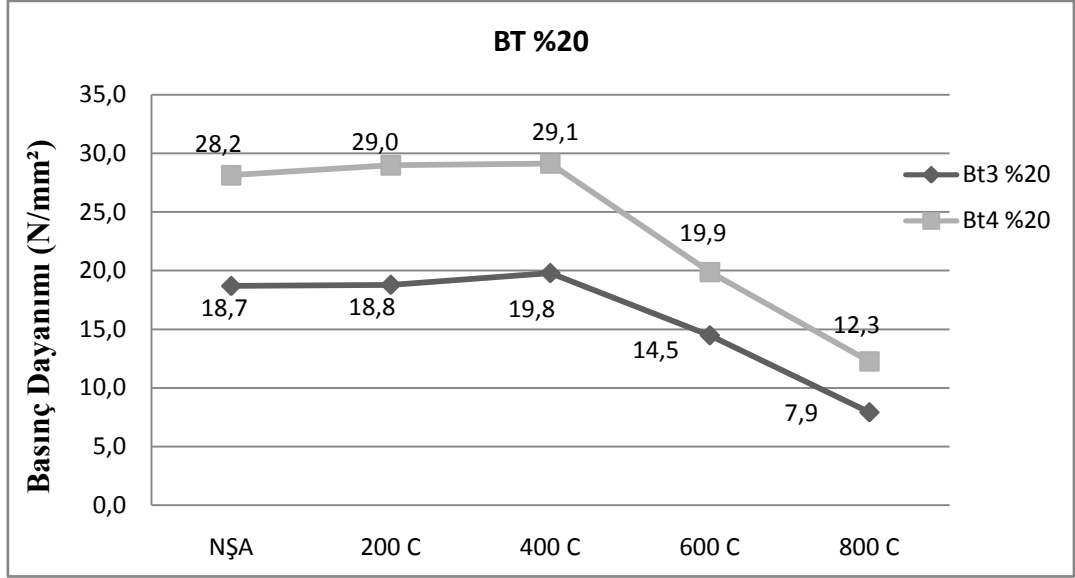
Burada dikkat edilecek diğer durum ise her iki dozajın grafik çizgileri arasındaki fark 400°C ye kadar artmış daha sonraki sıcaklıklarda ise azalarak devam etmiştir.

3.6.2. BT Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları



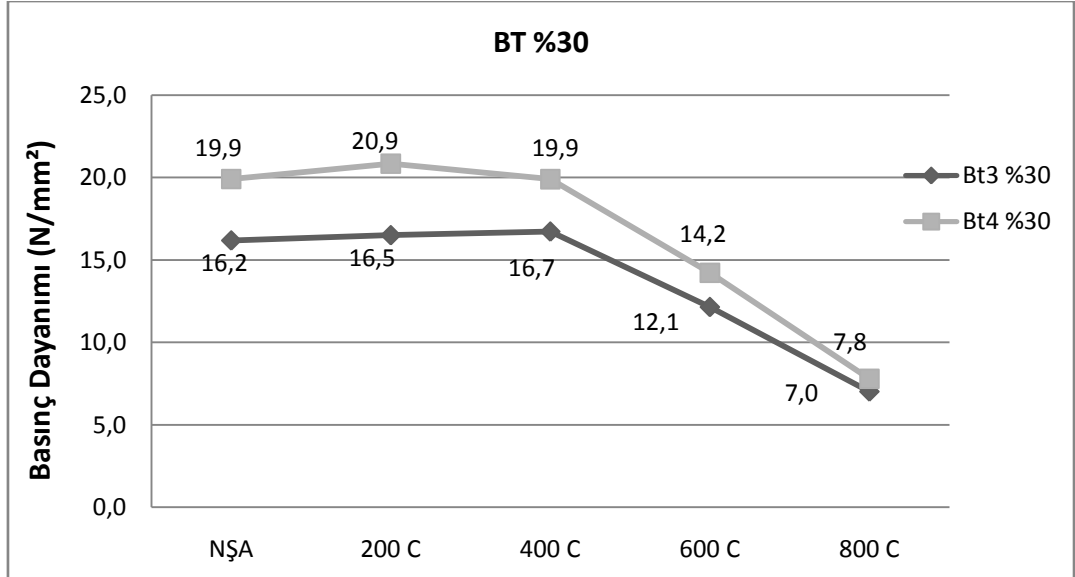
Şekil 3.16 %10 BT katkıli numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Şekil 3.16 da görüldüğü gibi BT-4 %10 katkıli betonlarda 400°C ye kadar artış olmuş bu artış yaklaşık olarak normal şartlar altındaki beton göre %10' dur. En yüksek dayanımı veren 400°C deki 400 dozlu numunelerin basınç değeri kontrol numuneleri yaklaşık olarak %25 artmıştır. 300 dozlualarda ise şekil 3.15 deki kontrol numunelerindeki aksı yönünde 400°C ye kadar basınç dayanımları artmış 400°C den sonra kontrol numunelerindeki gibi düşüşler olmuştur. Burada aynen kontrol numunelerinde olduğu gibi 400°C ' ye kadar her iki dozaj arasındaki fark 400°C 'ye kadar artmış daha sonra bu fark 600 ve 800°C ' de azalmıştır.



Şekil 3.17 %20 BT katkıli numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

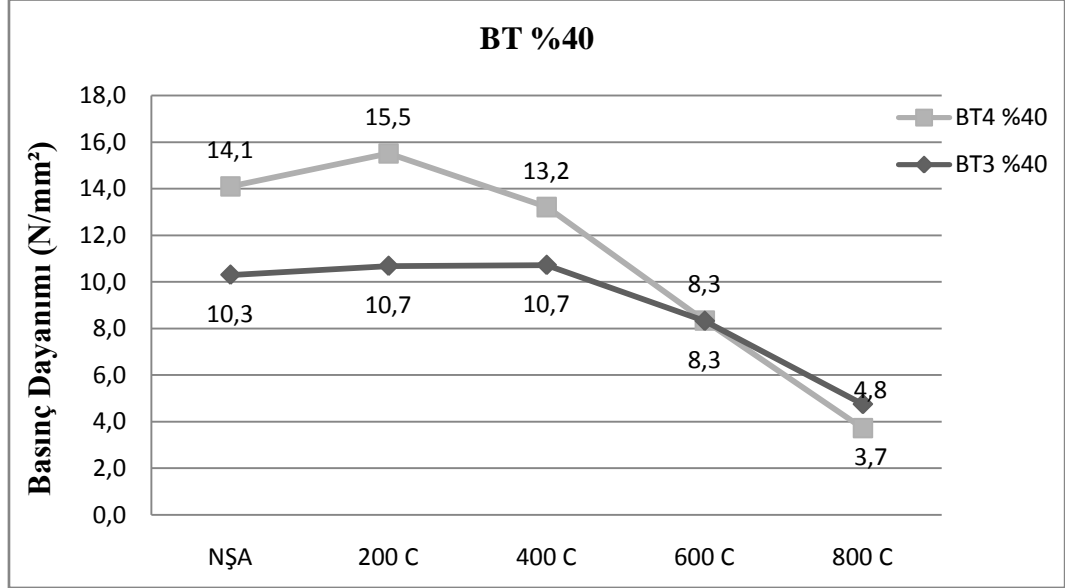
Şekil 3.17 de ise her iki dozajda kontrol numunesine göre önemli düşüşler olmuş %10 luk barit tozu katkıli betonlardaki gibi artışlar her iki dozajda 400 °C ye kadar olmuş 600 ve 800 °C de düşüşler meydana gelmiştir. Burada düşüşlerde dikkat edilecek nokta bir önceki katkı miktarı olan BT %10 katkıli betona göre daha fazla azalmıştır.



Şekil 3.18 %30 BT katkıli numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Şekil 3.18 de BT %30 katkıli betonların 400 dozlarında grafikte görüldüğü gibi 200 °C ye kadar basınç dayanımlarında artış olmuş daha sonraki sıcaklıklarda düşüşler meydana gelmiştir. 300 dozlu betonlarda ise artış 400 °C ye kadar devam etmiş 400 °C den sonra düşüşler meydana gelmiştir. Bu orandaki her iki grafik çizgileri arasındaki fark 200

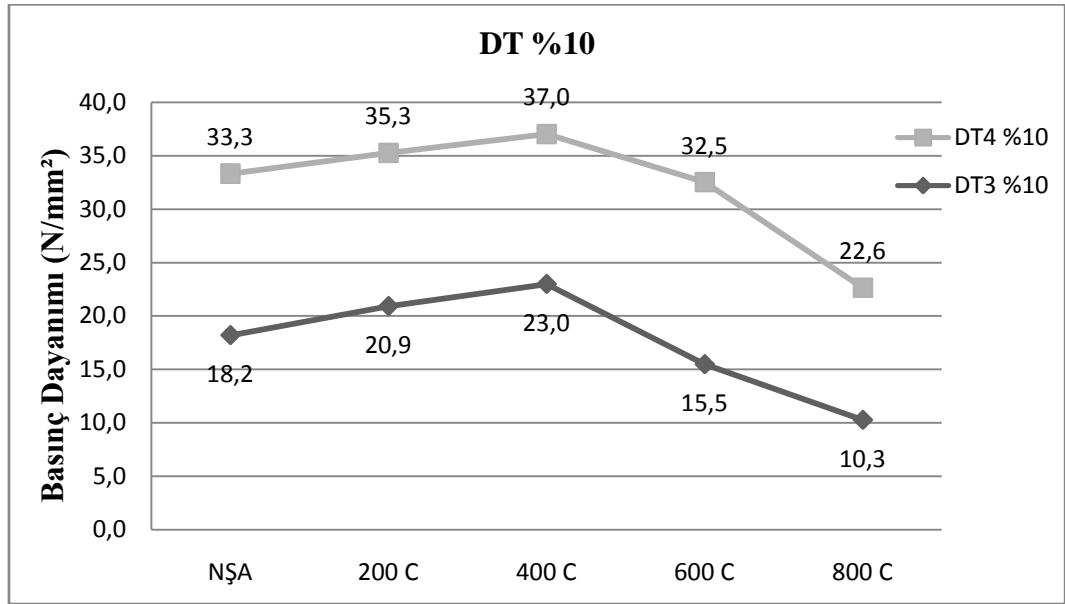
$^{\circ}\text{C}$ ye kadar artmış 400°C den başlayarak'da 600 ve 800°C ' ye kadar azalmış 800°C de her iki dozaj arasındaki basınç dayanımı farkı oldukça azalmıştır.



Şekil 3.19 %40 BT katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

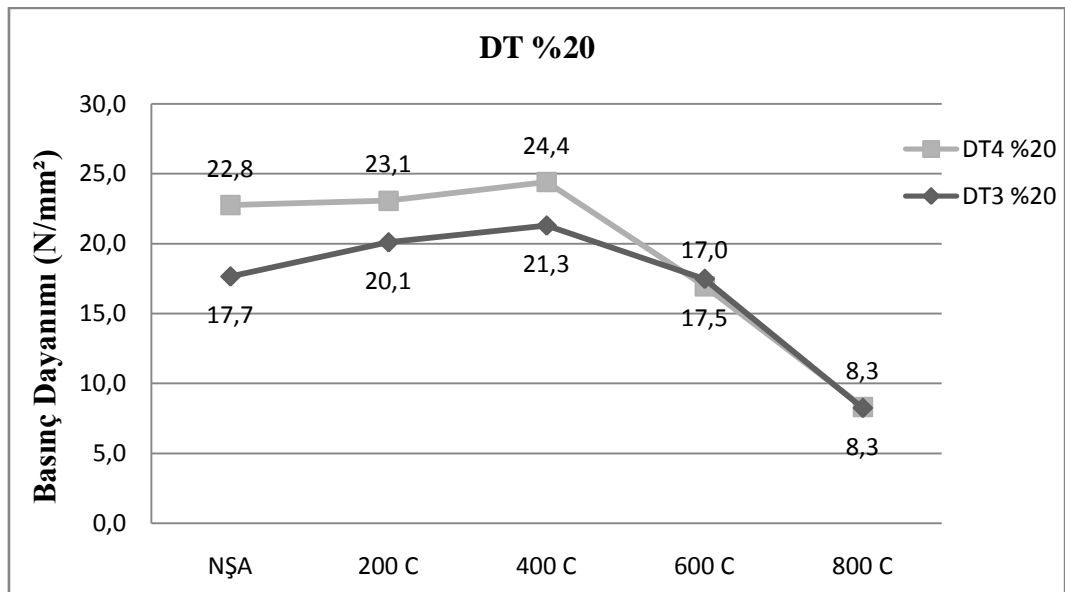
Şekil 3.19 da %40 barit tozu ikameli beton numunelere baktığımızda %30 ikameli numunelerdeki gibi 400 dozlarında 200°C ' ye kadar dayanımlarda artış olmuş daha sonraki sıcaklıklarda düşüşler olmuştur. 300 dozlarında %30 ikamelideki gibi dik olmayacak şekilde 400°C ye kadar artış görülmüş daha sonraki derecelerde düşüşler meydana gelmiştir. Diğer ikame oranlarında bütün sıcaklıklarda 400 dozlu numunelerin basınç dayanımları yüksek olurken burada 800°C de 300 dozlarından daha az basınç dayanımı gösterdiği görülmektedir.

3.6.3. DT Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları



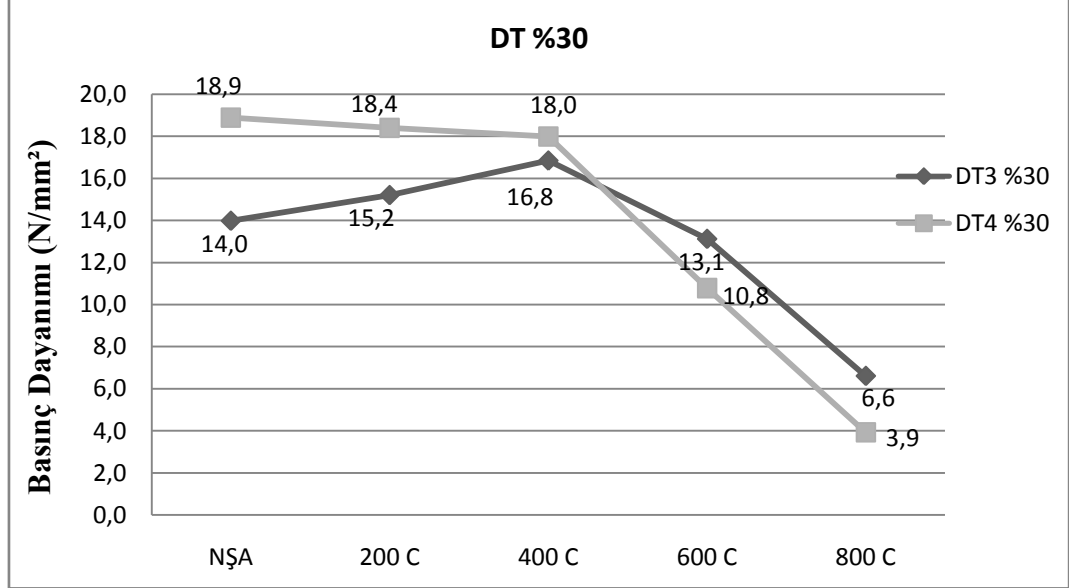
Şekil 3.20 %10 DT katkıli numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Şekil 3.20 de bulunan ikame oranı %10 olan grafiğimize baktığımızda normal şartlar altında numuneden başlayarak 400 °C ye kadar her iki dozajda basınç dayanımlarında önemli artışlar meydana gelmiş 600 ve 800 °C de ise düşüşler olmuştur. Aynı zamanda 400 dozajda 600 ve 800 °C deki 300 dozuların 800 °C deki basınç dayanımlarının kontrol numunelerinden daha fazla olduğu görülmüştür.



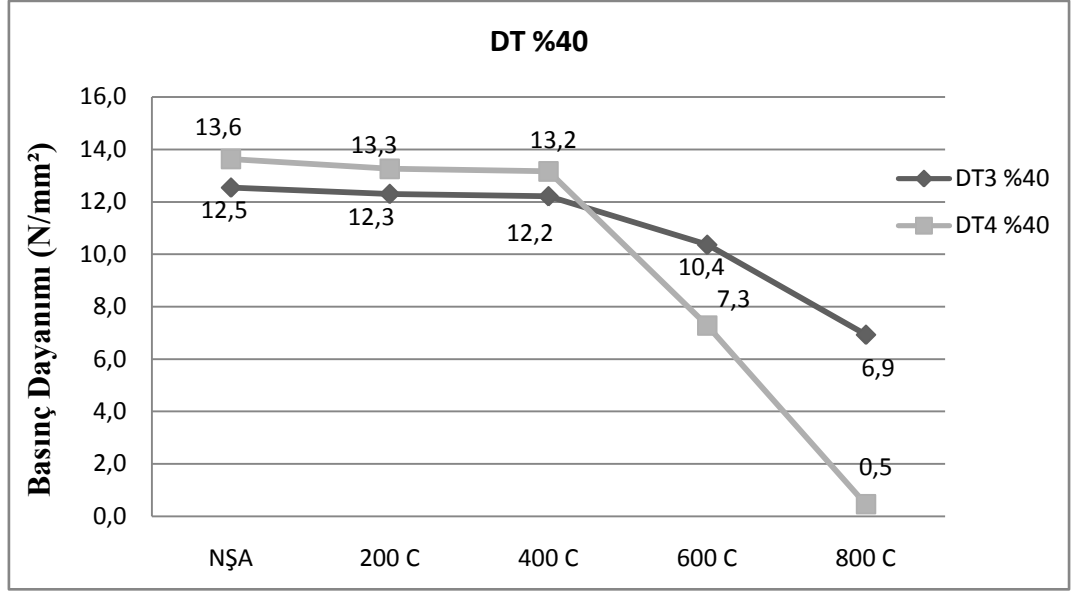
Şekil 3.21 %20 DT katkıli numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Şekil 3.21’de %20 diatomit ikameli betonlarda her iki dozaj için 400 °C’ ye kadar diklik %10 ikameli numuneler göre yatay bir seyir izlemiş 400 °C den sonraki düşüşler daha dik hale gelmiştir. Grafikte 300 ve 400 dozlu numunelerin 600 ve 800 °C de yaklaşık olarak aynı basınç dayanımları gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3.22 %30 DT katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

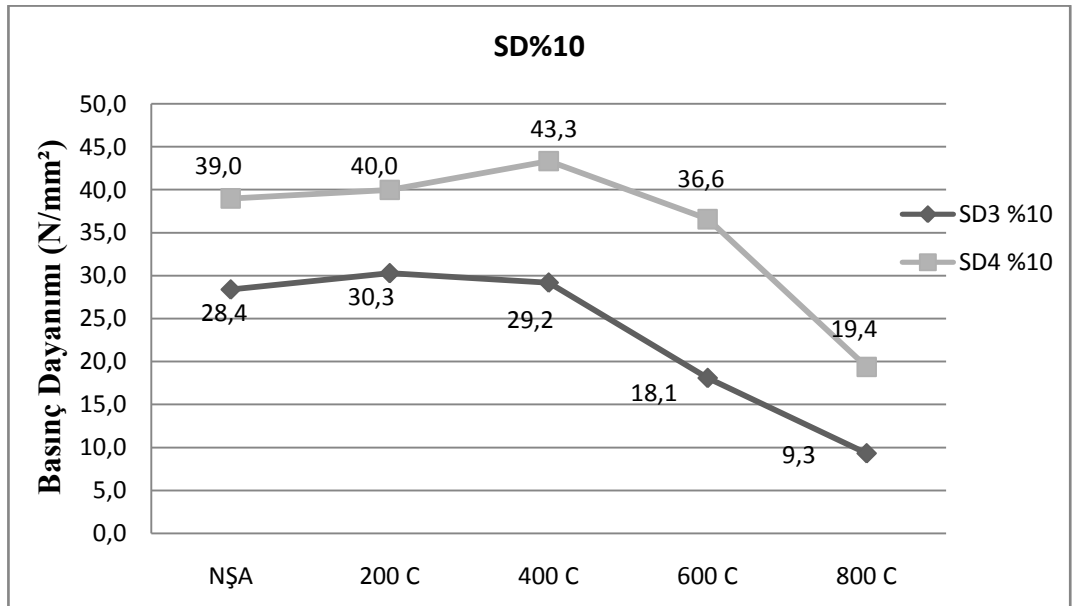
Şekil 3.22’de 400 dozlu numunelerde 200 ve 400 °C de dirençli bir şekilde basınç dayanımı düşüşü görülmüş 300 dozlu numunelerde ise 400 °C ye kadar %20’lik bir artış göstermiştir. Bu artış ve düşüş her iki dozajın grafik çizgilerinin arasındaki farkı 400 °C ye kadar azaltmıştır. 400 °C’den sonraki sıcaklıklarda ise 400 dozlu numunelerin dayanımları 300 dozlu numunelerinkinden az olmuştur. 800 °C deki 300 dozlu numunelerin basınç dayanımlarının % 70 daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3.23 %40 DT katkıli numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

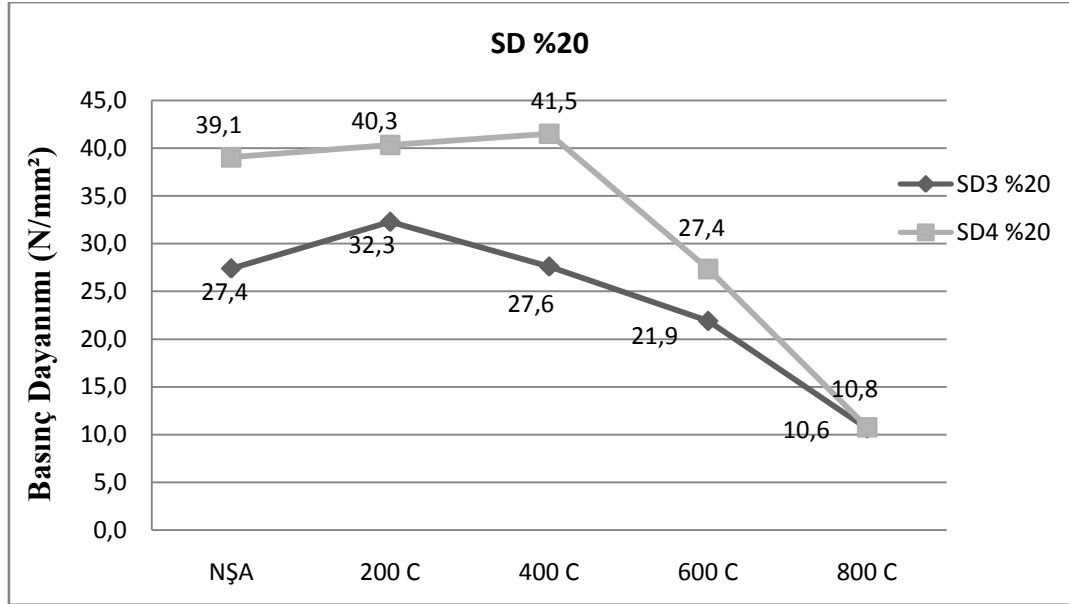
Grafikte her iki dozajda 400 °C ye kadar basınç dayanımlarında dirençli düşüşler olmuş 400 °C den sonra 400 dozlarında daha dik olacak şekilde düşüşler meydana gelmiştir. 800 °C de numunelerin basınç dayanımları farkları kıyaslandığında 400 dozlu olanların 300 dozlu olan numunelerin % 7 sine tekabül ettiği görülmektedir.

3.6.4. SD Katkıli Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları



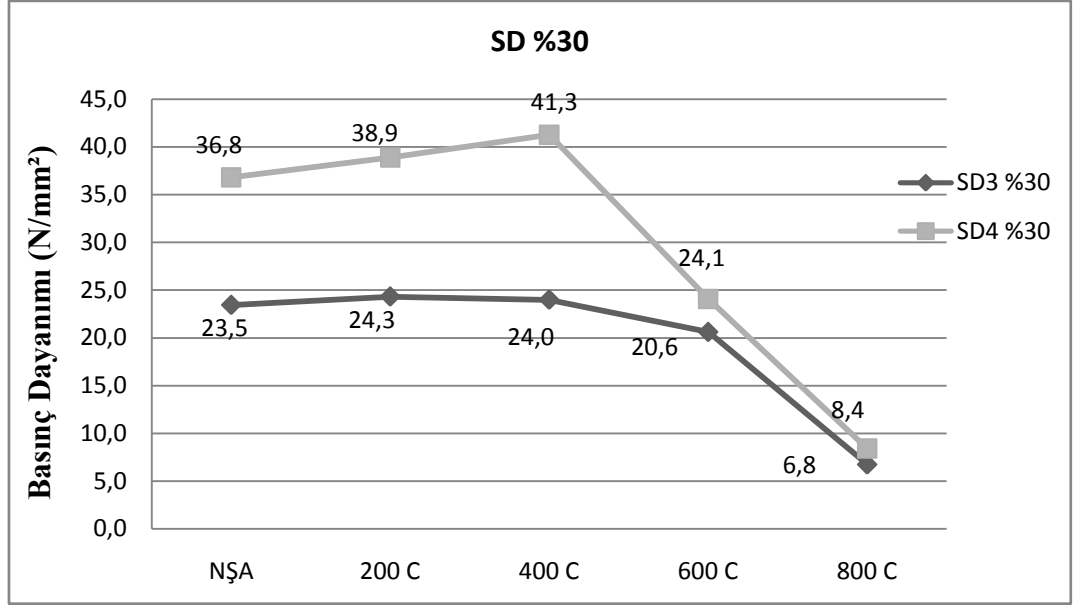
Şekil 3.24 %10 SD katkıli numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Silis dumanı ikame oranı %10 olan numunelerde 400 dozlar incelendiğinde 200 ve 400 °C de artış olduğu görülmektedir. 600 ve 800 °C de ise düşüşler görülmüştür. Bu artış ve düşüşlerdeki basınç dayanımları şekil 3.15 deki kontrol numuneleri ile kıyaslandığında her bir derecedeki silis dumanı katkılı betonların daha fazla basınç dayanımı gösterdiği görülmektedir. 300 dozlar incelendiğinde ise 200 °C de artış olmuş daha sonraki sıcaklıklarda düşüşler görülmüştür. 300 dozların grafik doğrusunda 200 ve 400 °C deki numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesinden daha fazla olduğu görülmektedir. 400 dozlu silis dumanı ikameli betonlara baktığımızda en mukavim değerlerin 400 °C'de %10 ikamelilerde elde edilmiştir.



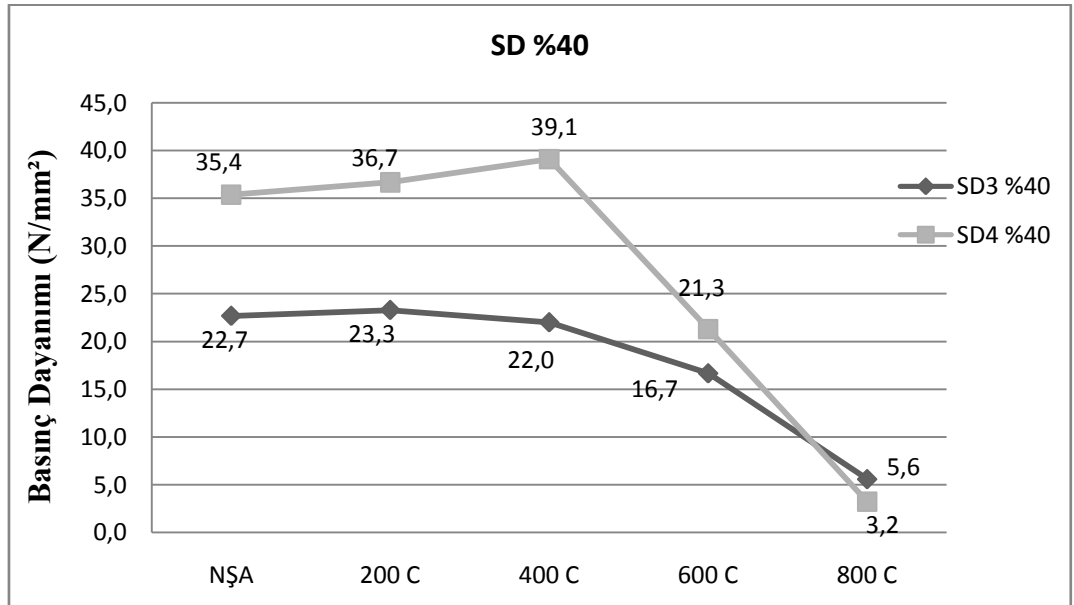
Şekil 3.25 %20 SD katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Silis dumanı ikame oranı %20 olan numunelerde 400 dozlarında NŞA dan başlayarak 400 °C ye kadar artışlar olmuş daha sonraki yüksek sıcaklıklarda önemli düşüşler meydana gelmiştir. Burada 400 dozlarının 800 °C haricindeki yüksek sıcaklıklarda kontrol betonlarından daha mukavim değerler elde edilmiştir. 300 dozlarında 200 °C de basınç dayanımlarında artış olmuş daha sonraki yüksek sıcaklıklarda düşüşler meydana geldiği ve 800 °C de her iki dozajın basınç dayanımlarının yaklaşık olarak aynı olduğu gözlenmiştir. 300 dozlarında basınç dayanımının en yüksek olduğu değer 200 °C de %20 silis dumanı ikameli betonlar olmuştur.



Şekil 3.26 %30 SD katkıli numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Şekil 3.26 da %30 silis dumanı ikameli betonların 400 dozlu olanlarına baktığımızda basınç dayanımları %20 ikameli betonlardaki 400 °C ye kadar artmış daha sonra düşüşler olmuştur. Bu artış ve düşüşler 300 dozlar için geçerlidir. Burada her iki dozaj için okunan basınç değerleri her bir sıcaklıkta %20 ikameli numunelerinkinden az olmuştur.

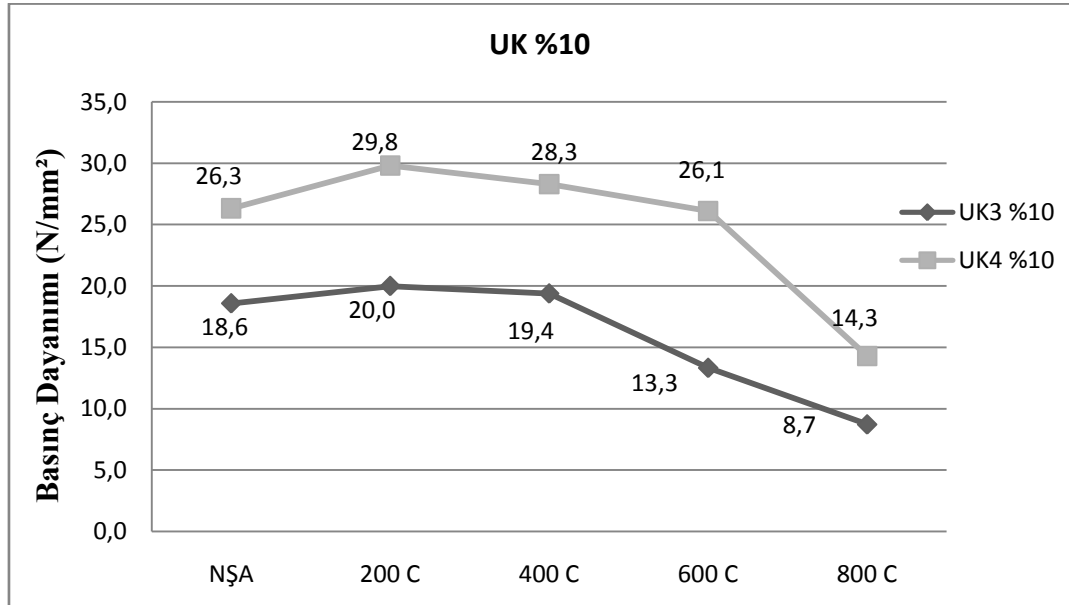


Şekil 3.27 %40 SD katkıli numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Silis dumanı miktarı %40 olarak ikame edilen 400 dozlarında %30 ikamelilerden az olacak şekilde 400 °C' ye kadar basınç dayanımları artmış daha sonra düşüşler meydana gelmiştir. 300 dozlarında ise artış 200 °C'de olmuş düşüşler ise 400 dozlarına istinaden daha yatay şekilde olduğu görülmektedir.

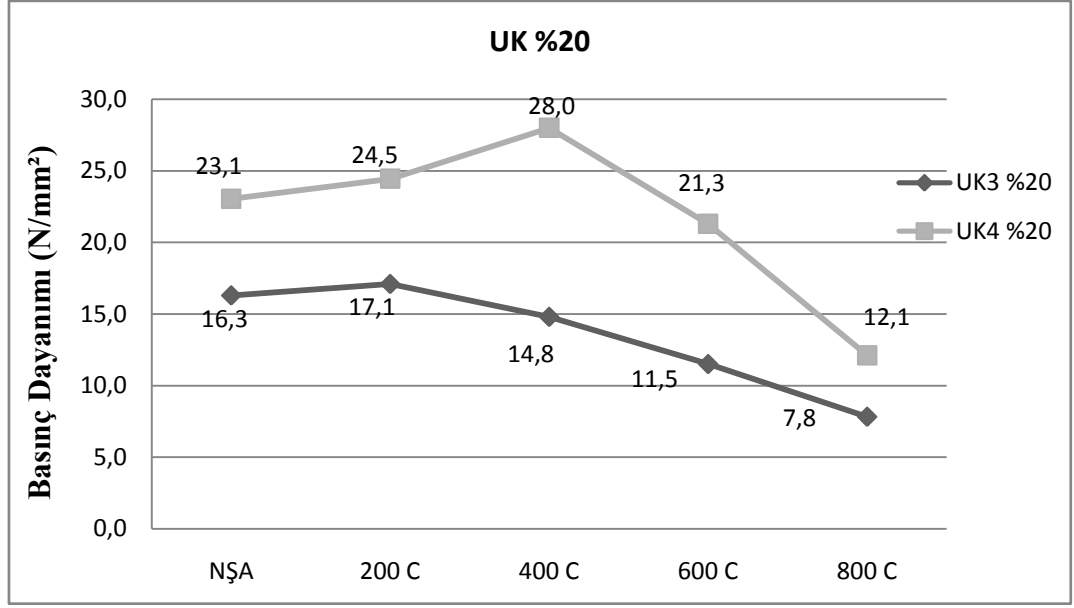
Silis dumanlı bütün ikame oranları genel incelendiğinde %10dan başlayarak ikame oranı arttıkça 400 °C ye kadar her iki dozaj grafiği arasındaki basınç farkı artmış 600 ve 800 °C'de dayanımların azalması ile fark kapanmış hatta %40 ikame oranında 800 °C'de 300 dozlarının basınç dayanımları 400 dozlarınınkinden fazla olmuştur.

3.6.5. UK Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımları



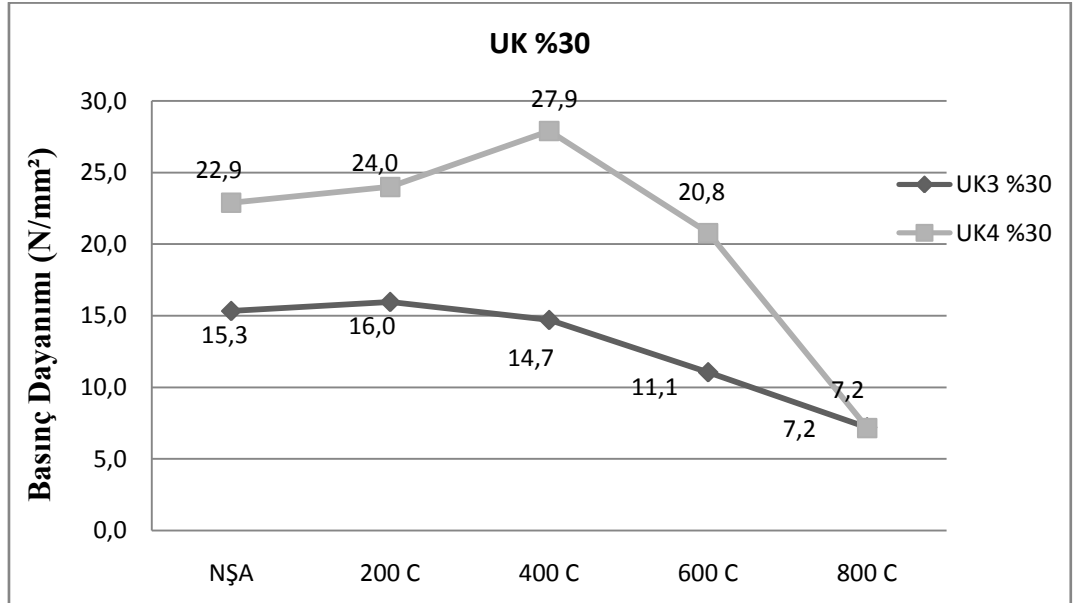
Şekil 3.28 %10 UK katkıli numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

İkame oranı %10 uçucu kül olan betonlara baktığımızda normal şartlar altındaki 400 dozlarının basınç dayanımlarına istinaden 200 ve 400 °C de artışlar olmuş daha sonraki yüksek sıcaklıklarda düşüşler olduğu gözlenmiştir. 300 dozlarında aynı şekilde artış ve düşüşler aynı sıcaklıklarda meydana gelmiştir. Burada ikame oranında her iki dozaj için en mukavim değer 200 °C de elde edildiği görülmüştür.



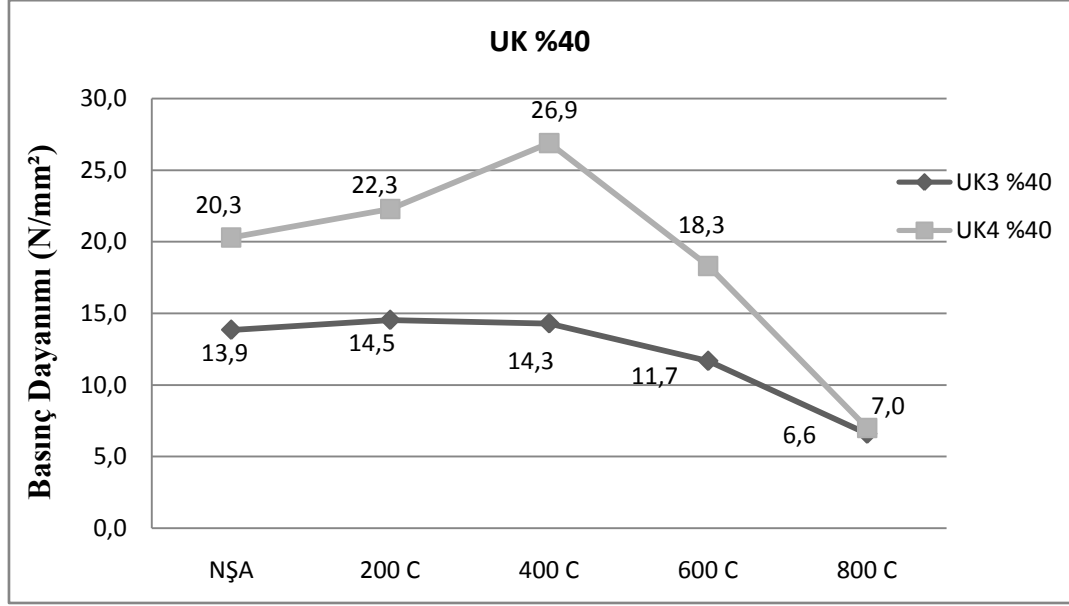
Şekil 3.29 %20 UK katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

İkame oranı %20 uçucu kül olarak elde edilen numunelerde 400 dozlarında 200 C⁰ de artışlar olmuş bu artış 400 C⁰ de daha belirgin hal almıştır. Daha sonraki yüksek sıcaklıklarda düşüşler meydana gelmiştir. 300 dozlarında ise 200 C⁰ de çok az bir dayanım artışı göstermiş daha sonraki sıcaklıklarda düşüşler görülmüştür. Bu ikame oranında 400 C⁰ ye kadar her iki dozaj grafiği arasındaki fark NŞA den başlayarak 400 C⁰ ye kadar fark artmış daha sonraki sıcaklıklarda azalma eğilimi göstermiştir.



Şekil 3.30 %30 UK katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Silis dumanı miktarı %40 olarak ikame edilen numunelerde her iki dozaj için %20 ikamelilerdeki gibi 400 dozlularda 400 °C ye kadar 300 dozlularda ise 200 °C ye kadar artış olmuş daha sonraki yüksek sıcaklıklarda düşüşler meydana gelmiştir. Her bir sıcaklıktaki ölçülen basınç dayanımları bir önceki ikame oranındaki aynı yüksek sıcaklıklarinkinden dayanımları düşüktür.



Şekil 3.31 %40 UK katkılı numunelerin yüksek sıcaklıktaki değerleri

Bu grafikte bir önceki ikame oranlarında olduğu gibi artışlarda ve düşüşlerde paralellik olduğu görülmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. SONUÇLAR

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun dayanımlarında özelliklerinde her bir yüksek sıcaklık için mineral katkı çeşidine göre değişiklikler olmaktadır. Mineral katkılı betonlarda farklı dozaj ve farklı mineraller %0, %10, %20, %30 ve %40 çimento ikameli olarak kullanılmış üretilen numuneler NŞA, 200, 400, 600 ve 800 C⁰ 'de yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak mineral katkı çeşidine göre nasıl bir değişiklik göstereceği araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir:

Mineral katkılı beton numunelerde, su emme, puls geçiş hızı ve yüksek sıcaklıklarda basınç dayanımı ölçümlerinde mineraller katkının ve dozajın etkisi ile değişkenlik görülmektedir.

Mineral toz ikameli betonlara su emme oranına baktığımızda mineral katkı oranı artıkça su emme oranlarında artmaktadır. Bu artışlara bakıldığında uçucu minerali ikameli numuneler haricinde 400 dozuların su emme yüzdesinin 300 dozulardan daha fazla olduğu görülmektedir. Burada uçucu kül ikameli betonların 400 dozuların 300 dozulardan daha düşük olmasının sebebi beton fiziksel yapısında porozitesini etkilediği geçirimsiz beton üretiminde kullanılacağı bilinmekte ve bundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Su emme miktarı en fazla olan mineral ikameli numunelere baktığımızda her ikame oranı ve dozajda diatomit ikameli betonlar olduğu görülmektedir. Diatomit ikameli betonların su emmesinde ki sebep oldukça düşük özgül ağırlığa sahip olması ve %80-90 su emme kapasitesi olmasından dolayı düşünülmektedir.

Puls geçiş hızlarına bakıldığında ise yayılma hızı formülünden elde edilen sonuçlar tahribatsız beton deneyi formülünden yararlanırsak doğal mineral katkılı her iki dozajda %40 ikame miktarlarında şüpheli sonuçlar vermiş olduğu görülmektedir.

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan kontrol numunelerde ulaşılan en mukavim değerler 400 dozluda 400 °C de olduğu görülmüştür. Bunlardan sonraki yüksek sıcaklıklarda basınç dayanımlarında önemli düşüşler meydana gelmiştir. 300 dozularda ise 400 °C ye kadar basınç dayanımında pek bir değişim göstermemiş daha sonraki yüksek sıcaklıklarda 400 dozlu numunelerdeki gibi önemli düşüşler meydana gelmiştir.

Bütün mineral katkılı ikameli ve kontrol numunesinde 400 dozlu numunelerin 300 dozlu numunelerin basınç dayanımlarından yüksek olduğu görülmektedir.

Barit tozu ikameli betonlara baktığımızda 400 dozlularda normal şartlar altında %10 ikame miktarı kadar artmış daha sonraki ikame oranlarında düşümler meydana gelmiştir. Her bir ikame oranının yüksek sıcaklıktaki etkisini incelediğimizde %10 ve %20 ikameli oranlarda 200 ve 400 °C de basınç dayanımlarında artış görülmüş bu artış %30 ve %40 ikame oranlarında sadece 200 °C de olmuş diğer yüksek sıcaklıklarda önemli düşümler meydana gelmiştir. 300 dozlularda bütün ikame oranlarında 400 °C ye kadar artışlar olmuş daha sonraki yüksek sıcaklıklarda düşümler meydana gelmiş bu artış ve düşümler 400 dozlu betonlardaki gibi belirgin bir halde değildir. Barit tozu ikameli betonlara baktığımızda dozajlar arasındaki basınç farkı %10 ikamelilerde 400 °C ye kadar artmış daha sonraki sıcaklıklarda fark azalmıştır daha sonraki ikame oranlarında yüksek sıcaklığın miktarı arttıkça aradaki fark kapanma eğilimi göstermiştir. Bu düşümlerde %40 ikamelilerin her iki dozajında 600 °C de basınç dayanımları eşitlenmiş 800 °C de 300 dozluların basınç dayanımları daha yüksek olmuştur.

Diatomit ikameli betonların normal şartlar altında her bir ikame oranının kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında her iki dozajda içinde basınç dayanımları ikame oranı arttıkça düştüğü görülmektedir. 400 dozlu ikameli numuneler baktığımızda %10 ve %20 ikamelilerin 400 °C ye kadar arttığı daha sonraki yüksek sıcaklıklarda basınç dayanımlarında önemli düşümler olduğu görülmüştür. 300 dozlularda %40 ikame oranına kadar her ikame oranında 200 ve 400 °C arttığı daha sonraki yüksek sıcaklıklarda düştüğü görülmüştür. %40 ikame oranında ise 400 °C ye kadar basınç dayanımında pek bir sert düşüş olmamış 600 ve 800 °C de 400 dozlu ya oranla daha yumuşak düşümler meydana gelmiştir. Her iki dozaj kıyaslanarak incelendiğinde yüksek oranda diatomit kullanılmış 400 dozlu betonların 600 ve 800 °C gibi yüksek sıcaklık gerektiren yerlerde kullanılmasında kesinlikle kaçınılmalıdır. Eğer tercih diatomit olacak ise ikame oranı düşük ve 400 °C'yi geçmeyecek yerler tercih edilmelidir.

Silis dumanı ikameli betonlara baktığımızda %10 ve %20 ikameli oranlarında normal şartlar altında basınç dayanımlarında artış daha sonraki ikame oranlarında düşümler gözlenmiştir. Bu artış ve düşümler her bir yüksek sıcaklıkta karşılaştırıldığında aynı olduğu görülmektedir. Basınç dayanımında 400 dozlularda 400 °C' ye kadar önemli artışlar olmuş daha sonra ki sıcaklıklarda düşmüştür. 300 dozlulara ise genel olarak bakıldığında 200 °C ye kadar artış olmuş ondan sonra düşümler meydana gelmiştir. Burada 300 dozluların 400

dozlulardan daha fazla basınç dayanım gösterdiği grafik %40 ikamelilerde 800 °C ulaştığı sıcaklıkta olduğu görülmüştür.

Uçucu kül betonlar %10 ikame oranından itibaren kontrol numunelerine kıyasla ikame oranı artıkça normal şartlar altında basınç dayanımı düşmüştür. 400 dozlularda %10 ikamelilerde 200 °C'ye kadar kendi ikame oranında normal şartlar altındaki beton numunedeki basınç dayanımında kıyasla artış olmuş daha sonraki ikame oranlarında bu artış 400 °C ye kadar devam etmiş ve daha sonraki yüksek sıcaklıklarda düşümler olmuştur. 300 dozlularda ise genel olarak bakıldığında silis dumanı ikameli numunelerdeki gibi 200 °C de artmış daha sonraki sıcaklıklarda düşümler meydana gelmiştir.

Mineral katkılı betonlara genel olarak bakıldığında incelenen yüksek sıcaklıklarda dayanımlarını olumlu veya olumsuz sonuçlar olduğu göstermektedir. Bu sonuçlar sebeplerinden betonda sertleşmiş çimento hamuru ve agregası gibi bileşenlerin termal genişlemelerinin birbirinden farklı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, betondaki sıcaklık değişimleri, içerisindeki bileşenlerde birbirinden farklı hacim değişimlerine sebep dolayı olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda kullanılan minerallerin puzolanik özelliklerinde göz ardı edilmeden daha detaylı çalışmalarla bunlar üzerinde daha derin yorumlar yapılabilir.

Yüksek sıcaklıklarda etkisinde kalan 400 dozlu numuneler genel olarak 400 °C ye kadar artmış daha sonraki yüksek sıcaklıklarda düşümler görülmüştür bunun için 400 °C ye kadar ve 400 den sonra 800 °C kadar olan yüksek sıcaklıklar diye sınıflama yaparak kıyaslayabiliriz. 400 dozlu numuneler içerisinde deneylerde kullanılan mineral katkı ikamesi %10 barit olan 400 °C 'de en mukavim değerler göstermiştir ancak daha sonraki ikame oranlarında silis dumanı ikameli betonların da bu değerler daha yüksek olduğu görülmüştür. Daha sonraki yüksek sıcaklıklardan özellikle 800 °C de basınç dayanımında en düşük mukavim değerler diatomit ikameli betonlarda elde edilmiştir. Genel olarak 300 dozlulara baktığımızda ise kontrol numunelerinin silis dumanı %10 ve %20 ikameli numunelerin haricinde her bir ikame oranında 200 °C ve 400 °C de dayanımları daha yüksek olmuştur. Daha sonraki yüksek sıcaklıklarda ise yine aynı şekilde kontrol numuneleri daha mukavim değerler elde edilmiştir. Bundan dolayı 300 dozlu numunelerde eğer mineral katkı kullanılacaksa silis dumanı tercih edilmeli ve ikame oranı %20'yi geçmemelidir. 400 dozlularda ise barit tozu ikamesi %10 olan betonlar üretilmesi tavsiye edilebilir ancak daha fazla mineral katkı kullanılmak istenildiğinde barit tozundan kaçınılarak silis dumanı minerali kullanılmasına dikkat edilmelidir.

Yapılan çalışmaya ek olarak daha farklı mineraller ikameli olarak kullanılabilir. Denenen ikame oranları ve mineral katkıları sonucu yüksek sıcaklıktaki değişimler grafiklere daha farklı düşüncelerle değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Erdoğan, T. Y., 2010. Beton, O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [2]. TS EN 802, Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ocak 1985
- [3]. **Özkul, H., Taşdemir, M. A., Tokyay, M., Uyan, M.**, 1999. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton. Aralık, TÇMB, Ankara.
- [4]. **Günindi İ.**, 2005. Yumurtalık Sugözü Uçucu Külü İçeren Betonların Basınç, Eğilme Ve Aşınma Dayanımlarının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi* Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [5]. **Postacıoğlu, B.**, Beton Bağlayıcı Maddeler, Agregalar Beton, Cilt 2. Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul 1987.
- [6]. **Şimşek O.**, “Yapı Malzemesi-II”, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara 45-79 2000.
- [7]. **Doğan Z.M.**, 2012. Limonit Ve Siderit Agregalarının Ağır Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması , *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [8]. **İstanbüllüoğlu, s.**,1988. Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma, 3, XXVII
- [9]. 1983; "Türkiye'nin Çimento Hammaddeleri ve Sorunlan Paneli", 37. Türkiye Jeoloji Bilimsel ve Teknik Kurultayı Kitabı, Ankara, s. 33-48.
- [10]. **Akbulak A., Baydar A., Çorumoğlu C., Işık C.**, 1967; "Beton ve Beton Katkı Malzemeleri", Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlan, Ankara.
- [11]. **Postacıoğlu B.**, 1969; "Yapı Malzemesi", İTÜ Yayını, İstanbul.
- [12]. **Hossain, K.M.A.**, “Macro- and Microstructural Investigations on Strength and Durability of Pumice Concrete at High Temperature” Journal of Materials in Civil Engineering ASCE, 18 (4), 527-536, 2006.
- [13]. **Phan, L.T.**, “Fire Performance of High Strength Concrete: A report of the State-of-the-Art”, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Md.,1996.
- [14]. **Sancak, E., Şimşek, O.**, “Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 21, No 3, 443-450, 2006.
- [15]. **Cruz, C.R., Gilen, M.**, “Thermal Expansion of Portland Cement Paste, Mortar and Concrete at High Temperatures”, Fire and Materials, 4 (2), 66-70, 1980.

- [16]. **Bazant, Z.P., Kaplan, M.F.**, “Concrete at High Temperatures: Material Properties and Mathematical Models”, Longman, London, 1996.
- [17]. **Khoury, G.A.**, “Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: A Reassessment”, Magazine of Concrete Research, 44 (161), 291-309, 1992.
- [18]. **Esen Y., Orhan E., Kurt A.**, 2011. Öğütülmüş Barit İle Üretilen Betonun Basınç Dayanımı Ve Fiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması, The IPCC11 International Participated Construction Congress, E-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 1A0236, 6, (4), 1281-1290.
- [19]. **Ünal O., Uygunoğlu T.**, 2007, Diatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması, İMO Teknik Dergi, 2007 4025 -4034, Yazı 266
- [20] **ASTM C 597**, Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete, ASTM, U.S.A., 1998
- [21] www.betonsa.com
- [22] **Herman CEMBER**, Introduction to Health Physics, Second Edition, McGRAW-HILL, INC. Health Professions Division, 1992
- [23] **Ergün, A.**, 1988, Zemin Taşıma Gücünün Sismik Yöntemlerle Saptanması, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- [24] TS EN 206-1, Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2002
- [25] TS EN 1008, Beton-Karma Suyu - Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2003
- [26] TS 706, Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2003
- [27] TS 706, Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Temmuz 1981
- [28] **ASTM C 597**, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM, U.S.A., 1998
- [29] Cook J.E. “Fly Ash in Concrete” Technical Considerations Concrete International ACI Sept. 1983, pp 51-59

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında ADANA’NIN Ceyhan ilçesinde doğdu. İlkokul Ortaokul ve Lise eğitimini yine Adana'nın Ceyhan ilçesinde tamamladıktan sonra 2006 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi bölümünde Lisans eğitimin başlayarak 2010 yılında başarılı bir şekilde tamamladı. Mezuniyetinin ardından 2010 yılında lisans mezunu olduğu Fırat Üniversitesinin Fen Bilimleri Enstitüsünün Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalında danışmalığını Doç. Dr. Yüksel ESEN yürüttüğü master eğitimine başladı.

2012’den itibaren Adana’nın Çukurova Belediyesinde Yapı Kontrol Müdürlüğünde çalışmaktadır.

Auto CAD, İzoder (TS 825), STA4 CAD, İde Statik, İde mimari, Sketchup ve Office programlarını iyi derecede kullanabilmektedir.