

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PUZOLANLI BETONLARIN İLERİ YAŞTAKİ MUKAVEMETLERİNİN
ÖNCEDEN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

A.ADNAN KULAKOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

ARALIK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PUZOLANLI BETONLARIN İLERİ YAŞTAKİ MUKAVEMETLERİNİN
ÖNCEDEN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**A.Adnan KULAKOĞLU
(501071003)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan YILDIRIM

ARALIK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501071003 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **A.Adnan KULAKOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**PUZOLANLI BETONLARIN İLERİ YAŞTAKİ MUKAVEMETLERİNİN ÖNCEDEN BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hasan YILDIRIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr.Nabi YÜZER**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç.Dr.Özkan ŞENGÜL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17.11.2017
Savunma Tarihi: 25.12.2017





(Aileme,)



ÖNSÖZ

Bu tez uygulamaya yönelik bir çalışmadır. Bu nedenle değişik beton santrallerinde yapılmasının daha uygun olabileceğine karar verildi. Beton deneyleri başarıyla yerine getirildi.

Tezimi hazırlarken gerek deney yapacağımız yeri bulma konusunda gerekse de hazırlama sürecindeki yardımlarından dolayı Hasan hocam'a teşekkür ederim. Çalışma süresi boyunca, tesislerinin kapısını açan ve çalışma imkanı sağlayan tesis çalışanlarına ve sorumlularına teşekkür ederim. Benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelmemde büyük pay sahibi annem Nilgün KULAKOĞLU'na, babam Mehmet KULAKOĞLU'na ve kardeşim Hayrettin KULAKOĞLU'na tüm kalbimle teşekkür ederim.

Çalışmanın meslektaşlarıma katkıda bulunmasını temenni ederim.

Aralık 2017

A.Adnan KULAKOĞLU
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
2.1 Betonun Tanımı ve Tarihçesi.....	3
2.2 Betonu Oluşturan Malzemeler.....	3
2.2.1 Agregalar.....	3
2.2.2 Çimento.....	5
2.2.3 Beton karışım suyu.....	6
2.2.4 Kimyasal katkıları.....	6
2.3 Taze Beton Özellikleri.....	7
2.3.1 İşlenebilme ve kıvam.....	7
2.3.2 Taze betonun sıcaklığı.....	7
2.3.3 Ayırışma ve terleme.....	8
2.3.4 Hava miktarı.....	8
2.3.5 Birim ağırlık.....	8
2.4 Sertleşmiş Beton Özellikleri	8
2.4.1 Dayanım.....	8
2.4.2 Durabilite.....	9
2.4.3 Hacim sabitliliği.....	9
2.4.4 Geçirimsizlik.....	10
2.5 Deneyde Kullanılacak Puzolanlardan Yüksek Fırın Cürufu	10
2.5.1 Yüksek fırın cürufunun tarihsel gelişimi.....	10
2.5.2 Yüksek fırın cürufu tanımı.....	11
2.5.3 Yüksek fırın cürufu soğutma yöntemleri.....	12
2.5.3.1 Havada Soğutma.....	12
2.5.3.2 Genleştirme	12
2.5.3.3 Granülasyon.....	12
2.5.4 Yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	12
2.5.5 Yüksek fırın cürufunun kimyasal açıdan portland çimentosu ile karşılaştırılması.....	14
2.5.6 Yüksek fırın cürufu çimentonun üretimi.....	17
2.5.7 Yüksek fırın cürufu çimentonun bağlayıcılık özelliklerini etkileyen başlıca faktörler.....	18
2.5.8 Yüksek fırın cürufu çimentonun hidratasyonu.....	18
2.5.9.YFC'nin sertleşmiş beton özelliklerine etkisi.....	20
2.5.9.1 Erken yaş basınç dayanımı.....	20
2.5.9.2 İleri yaş basınç dayanımı	20
2.6 Deneyde Kullanılacak Puzolanlardan Uçucu Kül	21
2.6.1 Uçucu kül tanımı.....	21

2.6.2 Çimento-uçucu kül sisteminin özellikleri.....	23
2.6.2.1 İşlenebilirlik.....	23
2.6.2.2 Uçucu külün basınç dayanımına etkisi.....	24
2.7 Silis Dumanı.....	25
2.8 RCC Beton Deney Çalışmaları.....	25
2.8.1 RCC (Roller Compacted Concrete) karışımına giren malzemeler.....	25
2.8.2 RCC (Roller Compacted Concrete) deney sonuçları.....	27
2.9. Hızlandırılmış Kür ve İlgili Standartlar.....	30
3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	33
3.1 Deneyin Yeri.....	33
3.2 Deney Grubu 1,2,3'ün Karışımına Giren Malzemeler.....	34
3.2.1 Deney ile ilgili bilgiler.....	35
3.2.2 YFC'li deney grubu 1,2 ve 3'ün yapılışı.....	35
3.2.3 Betonun numune kaplarına yerleştirilmesi.....	36
3.2.4 Beton numunelerinin basınç dayanımlarının ölçülmesi.....	37
3.2.5 Deney grubu 1,2 ve 3 betonlarının basınç dayanımları.....	38
3.3 Uçucu Küllü Beton Grubu Karışımına Giren Malzemeler.....	39
3.3.1 Deney ile ilgili bilgiler.....	41
3.3.2 Çökme (Slump) deneyi.....	41
3.3.3 Betonun numune kaplarına yerleştirilmesi.....	41
3.3.4 Beton numunelerinin basınç dayanımlarının ölçülmesi.....	42
3.3.5 Deney grubu 4,5,6,7 betonlarının basınç dayanımları.....	42
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	45
4.1 Deney Grubu 1,2,3'e Ait Sonuçlar.....	45
4.1.1 Deney grubu 1'e ait sonuçlar.....	45
4.1.2 Deney grubu 2'e ait sonuçlar.....	47
4.1.3 Deney grubu 3'e ait sonuçlar.....	49
4.1.4 D1 ve D2'nin karşılaştırılması.....	51
4.1.4.1 Dış ortamda D1 ve D2'nin karşılaştırılması.....	51
4.1.4.2 20°C'de D1 ve D2'nin karşılaştırılması.....	52
4.1.4.3 60°C'de D1 ve D2'nin karşılaştırılması.....	53
4.1.4.4 90°C'de D1 ve D2'nin karşılaştırılması.....	54
4.1.5 D1 ve D3'ün karşılaştırılması.....	55
4.1.5.1 20°C'de D1 ve D3'ün karşılaştırılması.....	55
4.1.5.2 60°C'de D1 ve D3'ün karşılaştırılması.....	55
4.2 Uçucu Küllü Beton Grubuna Ait Sonuçlar.....	56
4.2.1 Deney grubu 4'e ait sonuçlar.....	56
4.2.2 Deney grubu 5'e ait sonuçlar.....	58
4.2.3 Deney grubu 6'ya ait sonuçlar.....	60
4.2.4 Deney grubu 7'ye ait sonuçlar.....	62
4.2.5 D4,D5,D6,D7'nin karşılaştırılması.....	63
4.2.5.1 Dış ortamda D4,D5,D6,D7'nin karşılaştırılması.....	63
4.2.5.2 20°C'de D4,D5,D6,D7'nin karşılaştırılması.....	64
4.2.5.3 60°C'de D4,D5,D6,D7'nin karşılaştırılması.....	65
4.2.5.4 90°C'de D4,D5,D6,D7'nin karşılaştırılması.....	66

5.GENEL SONUÇLAR.....	69
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77





KISALTMALAR

D1	: Deney Grubu 1
D2	: Deney Grubu 2
D3	: Deney Grubu 3
D4	: Deney Grubu 4
D5	: Deney Grubu 5
D6	: Deney Grubu 6
D7	: Deney Grubu 7
YFC	:Yüksek Fırın Cürufu
PÇ	: Portland Çimentosu
RCC	: Roller Compacted Concrete.
SSB	: Silindirle Sıkıştırılmış Beton.
C₄ AF	: $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3 .\text{Fe}_2\text{O}_3$ (TetrakalsiyumAlüminoFerrit).
C₃ S	: $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (DiKalsiyumSilikat).
C₂ S	: $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (TriKalsiyumSilikat).
C₃ A	: $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ (TriKalsiyumAlüminat).
C-S-H	: Hidrat Kalsiyum Silikat Jeli.
V	: Silisli Uçucu Kül.
W	: Kalkerli Uçucu Kül.



SEMBOL LİSTESİ

w/c	: Su/Çimento oranı
Ç	: Çimento Miktarı
f_{max}	: Beton Basınç Dayanımı
µm	: Mikrometre
MPa	: Megapascal (Beton Basınç Dayanım Birimi)
C30	: Silindir Numune Beton Sınıfı
D_{max}	: Maksimum Dane Çapı
N	: Normal Erken Dayanım
R	: Hızlı Erken Dayanım
CEM	: Çimento Tipi
A	: Yüksek Klinker Oranı
B	: Orta Klinker Oranı
C	: Düşük Klinker Oranı
S	: Çökme Deneyinde Sıkıştırılabilme Sınıfları



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Çimento tipi gösterimi	6
Çizelge 2.2: Beton sınıflarına göre basınç dayanımları	9
Çizelge 2.3: Fırında oluşan reaksiyonlar.....	13
Çizelge 2.4: Portland çimentosu ve cürufun kullanım oranları.....	13
Çizelge 2.5: Bileşenlerin beton dayanımına etkileri.....	15
Çizelge 2.6: Çimentoların sınıflandırılması ve YFC'lu çimento.....	16
Çizelge 2.7: Puzolanların çimentoya yakınlık dereceleri.....	16
Çizelge 2.8: Ana bileşenler,minör bileşenler.....	17
Çizelge 2.9: YFC'nin C-S-H jeli oluşturmaları.....	18
Çizelge 2.10: Hidratasyon ürünlerinin özellikleri ve kısaltmalar.....	19
Çizelge 2.11: RCC betonu 1 nolu karışım.....	26
Çizelge 2.12: RCC betonu 2 nolu karışım.....	26
Çizelge 2.13: RCC beton 1 nolu karışım sonuçları.....	27
Çizelge 2.14: RCC beton 2 nolu karışım sonuçları.....	27
Çizelge 3.1:Deney grubu 1 (Beton malzemeleri karışım miktarları).....	34
Çizelge 3.2:Deney grubu 2 (Beton malzemeleri karışım miktarları).....	34
Çizelge 3.3:Deney grubu 3 (Beton Malzemeleri karışım miktarları).....	34
Çizelge 3.4: Deney grubu 1 betonlarının ortalama basınç dayanımları.....	39
Çizelge 3.5: Deney grubu 2 betonlarının ortalama basınç dayanımları.....	39
Çizelge 3.6: Deney Grubu 3 betonlarının ortalama basınç dayanımları.....	39
Çizelge 3.7: Deney Grubu 4 betonlarının karışımına giren malzemeler.....	39
Çizelge 3.8: Deney Grubu 5 betonlarının karışımına giren malzemeler.....	40
Çizelge 3.9: Deney Grubu 6 betonlarının karışımına giren malzemeler.....	40
Çizelge 3.10:Deney Grubu 7 betonlarının karışımına giren malzemeler	40
Çizelge 3.11: Deney Grubu 4 Betonlarının Ortalama Basınç Dayanımları...	43
Çizelge 3.12: Deney Grubu 5 Betonlarının Ortalama Basınç Dayanımları...	43
Çizelge 3.13: Deney Grubu 6 Betonlarının Ortalama Basınç Dayanımları...	43
Çizelge 3.14 : Deney Grubu 7 Betonlarının Ortalama Basınç Dayanımları...	43
Çizelge 4.1 : Deney grubu 1'in basınç dayanımlarının %'sel gösterimi	45
Çizelge 4.2 : Deney grubu 2'nin basınç dayanımlarının %'sel gösterimi	48
Çizelge 4.3 : Deney grubu 3'ün basınç dayanımlarının %'sel gösterimi	50
Çizelge 4.4: D1 ve D2'nin dış ortamda basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	51
Çizelge 4.5 : D1 ve D2'nin 20°C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	52
Çizelge 4.6 : D1 ve D2'nin 60°C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	53
Çizelge 4.7 : D1 ve D2'nin 90°C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	54

Çizelge 4.8: D1 ile D3'ün 20 °C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	55
Çizelge 4.9: D1 ile D3'ün 60 °C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması	56
Çizelge 4.10: Deney Grubu 4'ün basınç dayanımlarının %'sel gösterimi....	57
Çizelge 4.11: Deney Grubu 5'in basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.....	59
Çizelge 4.12: Deney Grubu 6'nın basınç dayanımlarının %'sel gösterim....	61
Çizelge 4.13: Deney Grubu 7'nin basınç dayanımlarının %'sel gösterimi....	62
Çizelge 4.14: Deney grupları çimento-uçucu kül miktarları.....	64



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Referans granülometri Eğrisi	5
Şekil 2.2: Yüksek fırın cürufunun soğutulması	11
Şekil 2.3: YFC soğutma yöntemleri.....	12
Şekil 2.4: Cürufu ve sadece portland çimentolu betonlar	14
Şekil 2.5: Portland ve YFC'nin şekilleri.....	14
Şekil 2.6: Portland çimentosu ile YFC'nin fazları.....	15
Şekil 2.7: YFC'li YFC'siz çimento üretimi.....	17
Şekil 2.8: Portland çimentosu ve YFC kaynaklı kalsiyum silikat hidrat.....	19
Şekil 2.9: Cüruf içeriğine bağlı olarak basınç dayanımının zamana bağlı artışı	21
Şekil 2.10: Uçucu kül üretim prosesi	22
Şekil 2.11: Uçucu küllü çimentonun terleme zaman grafiği.....	23
Şekil 2.12: Uçucu küllü çimentonun su kaybı yüzdesi zaman grafiği	23
Şekil 2.13: Uçucu kül zamana bağlı dayanım grafiği.....	24
Şekil 2.14: Uçucu kül puzolan içeriği grafiği	25
Şekil 2.15: RCC beton 1 nolu deney C tipi uçucu kül için günlere bağlı basınç dayanımı grafiği.....	28
Şekil 2.16: RCC beton 1 nolu deney F tipi uçucu kül için günlere bağlı basınç dayanımı grafiği.....	28
Şekil 2.17: RCC beton 2 nolu deney C tipi uçucu kül için günlere bağlı basınç dayanımı grafiği	29
Şekil 2.18: RCC beton 2 nolu deney F tipi uçucu kül için günlere bağlı basınç dayanımı grafiği	29
Şekil 3.1 : Deneyin yapıldığı beton santrali.....	33
Şekil 3.2 : Beton mikserinden alınan deney grubu 1 betonu.....	36
Şekil 3.3 : Sarsma tablasında beton numuneleri.....	37
Şekil 3.4 : Numuneler ve üzerindeki bilgi kağıtları.....	37
Şekil 3.5 : Kür havuzunda bekleyen numunelerin kırma hazır hale getirilmesi.....	38
Şekil 3.6 : Kuruyan numunelerin beton test cihazında kırılması.....	38
Şekil 4.1 : Deney grubu 1'in ortalama basınç dayanımlarının gösterimi.....	45
Şekil 4.2 : Deney grubu 1'in ortalama basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.....	46
Şekil 4.3 : Deney grubu 2'nin ortalama basınç dayanımlarının gösterimi...	47
Şekil 4.4 : Deney grubu 2'nin ortalama basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.....	48
Şekil 4.5 : Deney grubu 3'ün ortalama basınç dayanımlarının gösterimi....	49

Şekil 4.6 : Deney grubu 3'ün ortalama basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.....	50
Şekil 4.7 : D1 ile D2'nin dış ortamda basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.8 : D1 ile D2'nin 20°C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması..	52
Şekil 4.9 : D1 ile D2'nin 60°C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması..	53
Şekil 4.10 : D1 ile D2'nin 90°C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması..	54
Şekil 4.11 : D1 ile D3'ün 20°C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması...	55
Şekil 4.12 : D1 ile D3'ün 60°C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması...	56
Şekil 4.13 : Deney grubu 4 'ün ortalama basınç dayanımları.....	57
Şekil 4.14 :Deney grubu 4'ün ortalama basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.....	57
Şekil 4.15 : Deney grubu 5 'in ortalama basınç dayanımları.....	58
Şekil 4.16 : Deney grubu 5'in ortalama basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.....	59
Şekil 4.17 : Deney grubu 6 'nın ortalama basınç dayanımları.....	60
Şekil 4.18 : Deney grubu 6'nın ortalama basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.....	61
Şekil 4.19 : Deney grubu 7 'nin ortalama basınç dayanımları.....	62
Şekil 4.20 : Deney grubu 7'nin ortalama basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.....	63
Şekil 4.21 : Dış ortamda D4,D5,D6,D7 'nin basınç dayanımları.....	64
Şekil 4.22 : 20°'de D4,D5,D6,D7 'nin basınç dayanımları.....	65
Şekil 4.23 : 60°'de D4,D5,D6,D7 'nin basınç dayanımları.....	66
Şekil 4.24 : 90°'de D4,D5,D6,D7 'nin basınç dayanımları.....	66

PUZOLANLI BETONLARIN İLERİ YAŞTAKİ MUKAVEMETLERİNİN ÖNCEDEN BELİRLENMESİ

ÖZET

Son zamanlarda inşaat sektörü çok hızlı gelişmektedir. Bunun yanında zaman kavramı büyük önem kazanmıştır. Planlama inşaat sektörünün vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Yapıların zamanında teslimi firmaların prestiji ve müşterilerin mağdur olmaması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu durumdan dolayı üretim hızının yavaşlamaması için A'dan Z'ye her konuda pratik ve bununla birlikte güvenilir adımlar atılması gerekmektedir. Zaman önemli olduğu için inşaatın önemli malzemelerinden betonun daha ileri günlerde alacağı mukavemeti tahmin etmek önem kazanmaktadır. 28 günlük basınç mukavemeti süresi yaklaşık 1 aylık süredir. Barajlarda dökülen RCC (SSB, silindir ile sıkıştırılmış beton) betonlarında ise bu süre 270 gündür. Bu süreler inşaat işleri için azımsanmayacak kadar uzundur. Oluşabilecek beton kalitesi riskini daha önceden öğrenmek çok yararlı olacaktır. Çünkü örnek verilecek olursa: Sektörde tünel kalıp sistemi ile yapılan inşaatlarda yaklaşık olarak 1,5 günde 1 kat betonu dökülmektedir. 28 günde bu durum yaklaşık olarak 18 kat beton imalatı demektir. Beton mukavemetinin istenilen düzeyden düşük olması durumunda 18 kat betonu dökülmüş olacaktır. Bu durum maliyet ve zaman anlamında çok büyük sıkıntılara ve geri dönüşlere sebebiyet verecektir. Bu süreyi kısaltmak için farklı özellikteki betonlarda pratik bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yaklaşım 'Hızlandırılmış Kür' olarak ifade edilir. Bu metod ile bu süre 60 °C de 7 günlere, 90 °C de ise 14 günlere indirilmiştir.

Hızlandırılmış kür; puzolanlı betonlara 20 derecedeki kür ortamından farklı olarak sıcak kür ortamında ısı sağlayarak betona erken dayanım kazandıran deneysel yöntemin adıdır. Buradaki amaç 28 günlük basınç dayanımını daha erken tahmin etmektir.

Hızlandırılmış kür çeşitleri;

- Sıcak kür ortamında yapılan (Havada veya suda yapılan).
- Kapalı boru içindeki sıcak buhar yada suyun taşıma yada ısıtma yoluyla betonu ısıtması.
- Beton yüzeyinin dış ortamdan izole edilerek elektrik kabloları ile ısıtılması.

DeneYlerimizde çeşitli dozajlarda saf çimentolu, yüksek fırın cürüflü ve uçucu küllü betonlar kullanıldı. Bu betonlar dış ortam, 20 derecelik kr ortamı, 90 derecelik sıcak kr ortamı ve literatürden farklı olarak 60 derecelik sıcak kr ortamında 7, 14, 28 ve 45 günlerde bekletildi. Bu günlerin sonunda betonlar beton test cihazında kırılarak basınç dayanımları ölçüldü.

DeneYlerin sonucunda saf çimentolu betonlarda hızlandırılmış kr ortamında erken dayanım elde edilemezken, 90 derecedeki ortamda 10-14. günlerde, 60 derecedeki ortamda ise 7. günlerde 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımları elde edilmiştir. Literatür çalışmasından farklı olarak 60 derecede 28 günlük beton dayanımı 90 dereceye göre daha erken elde edilerek, 90 derecelik ortama göre hem daha az enerji kullanılmış hemde daha kısa sürede sonuç elde edilmiştir.



PREDETERMINATION OF THE FURTHER AGE STRENGTH OF THE CONCRETE WITH PUZZOLANA

SUMMARY

Compressive strength of concrete mainly depends on the composition, size of the components, water content ratio, curing conditions etc. The 28 days strength is usually taken as reference strength. So, the strength of concrete in construction works is determined at its 28 days compressive strength. To find this, a moist curing of concrete specimen for 28 days is required.

The 28 days of waiting time is too long period for any corrective measure in case the strength is not desirable. That is after 28 days, by the time the quality of concrete is found to be not sufficient, the concrete would have hardened significantly and might be buried by subsequent construction. This makes the replacement of concrete mass of sub-quality concrete very difficult, costly and time consuming. Suppose if the concrete is of greater strength than the required, the uneconomical mix is just a waste of costly material. These indicate a necessity for finding the 28 days characteristic strength for real good quality control. Hence, for better quality control, an accelerated concrete curing procedure is needed which facilitates identifying the 28 days strength in 7 days. Hence, accelerated curing techniques are becoming important. For economical construction, the 28 days strength is required well in advance and accelerated curing techniques are helpful to some extent. In the conventional accelerated curing, conduction of heat takes place from surface to the core of the concrete specimen and hence there exist a temperature gradient, leading to thermal stress in concrete. The concrete cubes were cured with the oven after 3, 7, 4, 28, 45 days. The compressive strength developed after the accelerated curing is compared with the 28 days strength estimated with the usual procedure. The results obtained were suitably plotted as graphs so that the graphs can be used to estimate the 28 days strength from the early strength obtained by accelerated curing.

Recently, the construction sector has developed fast. In addition, The time concept gained the big importance. Planning has been essential part of the construction sector. The completion of the buildings are crucial with regard to the prestige of the companies and not to be wronged of the customers. Thus, we need to take a practical and confidential steps from A to Z. As the time is important, the estimation of the compressive strength of the concrete, which is one of the important materials of the

construction has gained great importance. We are going to mention about the compressive strength of the concrete at 28 days. This duration approximately takes 1 month that is very long time for the site works. As it comes to RCC (SSB) concrete, this duration is average 270 days. It will be useful to know in advance the quality of concrete. For instance, we are pouring 1 floor concrete in a 1,5 days. In 28 days it means average 18 floors. In case of the compression strength of concrete is lower, 18 floor has already been poured when we got the results. So, that will cause return period and big problems with regard to the cost and time. We need to take the practical approach to minimize that time for the concrete having different characteristics. This approach called Accelerated Curing. In that method we can reduce the time to 7 days at 60 °C and 14 days at 90 °C.

Accelerated curing is the name of the experimental method which gives heat to the pozzolanic concrete in the hot curing environment unlike the 20 degree curing environment and gives the concrete early strength earlier than 28 days. This purpose is to estimate the 28 day compressive strength earlier.

Three heating methods are commonly used to accelerate curing:

- Discharging steam or hot air or water directly into the curing environment puts the heating (In the hot air or water).
- Enclosing steam or hot water in pipes heats the concrete by convection and radiation.
- Attaching electrical resistance wires to the forms and covering them with insulation

In summary , we will try to show by testing different concrete, whether we catch that time or not in accelerated curing condition (60°C, 90 °C). By doing that tests, we will add the Blast Furnace Slag and Fly Ashes separately to the concrete. Third test will be without pozzolans to compare them with each other.

Fly ash is a fine powder which is a byproduct from burning pulverized coal in electric generation power plants. Fly ash is a pozzolan, a substance containing aluminous and siliceous material that forms cement in the presence of water. When mixed with lime and water it forms a compound similar to Portland cement. Typically, Class F fly ash is used at dosages of 15 to 25 percent by mass of cementitious material, and Class C fly ash at 15 to 40 percent.

Blast furnace slag is formed during the production of hot metal by thermo-chemical reduction in a blast furnace. During this continuous process, iron ore or pellets as well as fluxes (lime[stone] and/or dolomite) are heated under reducing conditions in the presence of heated air. Coke and other reducing agents (e.g. injected coal) are

combusted to produce carbon monoxide which reduces the iron ore or pellets to liquid hot metal. Granulated blast furnace slag exhibits cementitious properties and is thus used as hydraulic binder for cement, concrete, mortar and grout. For this purposes, it is ground, separately or together with Portland cement clinker and calcium sulphate and is referred to as ground granulated blastfurnace slag.

In these experiments ,If we add these puzzolans ,we will obtain 28 days compressive strength of the concrete by accelerated methods between 7 and 14 days. If we test the concrete without puzzolans by accelerated methods, we can not get the 28 days compressive strength of concrete in 14 days. So, we have to use fly ashes or blast furnace slags in our experiments to catch the true results.

As a result of our experiments, it is not possible to obtain early strength in accelerated curing environment in pure cementitious concrete at 90 ° and 60 °. In the 60. degree on the 7th day, the compressive strengths of the 28 day curing environment were obtained. In the 90. degree on the 14. day, the compressive strengths of the 28 day curing environment were obtained. Unlike the literature study, 28 day concrete strength at 60 degree was obtained earlier than 90 degree, and less energy was used and shorter time was obtained compared to 90 degree hot curing environment.



1. GİRİŞ

Artan konut talebini en kısa sürede ve ekonomik biçimde karşılayabilmek amacıyla betonda dayanım artışını hızlandırmaya yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında en yaygın olanı betona ısıtım işlemi uygulanarak betonun erken dayanımının artırılmasıdır. Son yıllarda hızlandırılmış kür betona erken dayanım kazandırmak için hem çeşitli laboratuvar çalışmalarında hem de endüstride kullanılmaktadır. Hızlandırılmış kürü beton basınç dayanımının önceden belirlenmesinde de alternatif bir hızlandırılmış kür yöntemi olarak da kullanılabilmektedir. Betonda basınç dayanımının önceden belirlenmesi; kalıp söküm zamanının, inşaatların tamamlanma sürelerinin, ön-germe uygulamalarının zamanının belirlenmesi ve betonda kalite kontrolü açısından büyük önem taşımaktadır [1].

Beton basınç dayanımının belirlenmesi için gereken 28 günlük süre, günümüz şartlarında uzun kalmakta, beton dökümü veya hazırlanışı sırasında meydana gelebilecek herhangi bir sebepten dolayı (çimento inceliğinin değişimi, agrega hammadde kaynağındaki bir değişim, agrega su içeriğinin düzeltilmemesi, karışım bileşenlerinin miktarlarında yapılan bir hata, üretim tesisinde fark edilmeyen bir durum, operatör değişimi v.b.) meydana gelebilecek bir olumsuzluk durumunda, gerekli önlemlerin alınabilmesi için bu süre (28 gün) çok geç kalınmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple, üretilen betonların kalite ve dayanım karakteristiklerinin elverdiği ölçüde erken ve şantiye koşullarında pratik ve ekonomik biçimde belirlenmesine yönelik olarak “ısıtım” [hızlandırılmış kür yöntemleri (ASTM C684)] geliştirilmiştir [2].

Buna ilave olarak, çeşitli sektörlerin üretim artışı bazı maddeleri atık durumundadır. Endüstriyel atıklardan uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve diğer doğal puzalonlar, mineral katkı olarak bilinmektedirler [1] .

Bu maddeler harç ve beton üretiminde ikincil bağlayıcı madde olarak portland çimentosunun ağırlık yüzdesi oranında, çimentonun bir kısmı yerine bağlayıcı olarak kullanılmışlardır [1].

Bu tür mineral katkı maddelerinin taze betonun işlenebilme ve su ihtiyacı ile; terleme, ayrışma, hava sürüklenme, hidrasyon ısı ve plastik rötre gibi özelliklerine etki ettiği bilinmektedir. Sertleşmiş betonda bu maddeler mekanik özelliklere ve durabiliteye oldukça önemli etkiler yaparlar [3].

Bu malzemeler aşağıdaki alanda kullanılır;

- Yerinde dökme betonlar;
- Erken dayanımı yüksek beton elemanlar;
- Ağır aşınmaya maruz yol ve döşemeler;
- Erozyon ve oyulmaya maruz hidrolik yapılar;
- Zararlı kimyasallara karşı dayanıklılık isteyen beton elemanlar;
- Deniz yapıları;
- Yüksek dayanımlı hafif beton elemanlar;
- Beton elemanların onarımı ve güçlendirilmesi; [1].

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, ülkemizde elde edilen yüksek fırın cürufu ve uçucu külün beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelenmektedir. Buna ilave olarak, yüksek fırın cürufu ve uçucu külü içeren betonların 28 günlük basınç dayanımlarının sıcak kür sonucu ile elde edilen basınç dayanımları vasıtasıyla tahmini için ilişki kurulmaya çalışılmıştır [1].

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Betonun Tanımı ve Tarihçesi

Beton; çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir [4].

Beton, agrega adı verilen kum, çakıl, mıcır gibi taneli mineral malzemenin, onları yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu meydana gelmektedir. Kum, taneleri 4mm.' lik elekten geçebilen ince taneli agregadır. Çimento-su karışımına çimento şerbeti, çimento-su kum karışımına ise harç adı verilmektedir. Harç, ilk karıldığında kolayca şekil verilebilen bir malzemedir. Bu durumdaki betona taze beton denmektedir. Birkaç saat içinde beton katı hale geçip, günlerce süren bir süreç sonunda sertliği artar ve mukavemet kazanır. Yeterince mukavemet kazanmış betona ise sertleşmiş beton denmektedir [4].

Beton, insanlık tarihinin gelişiminde ve eski medeniyetlerin günümüze kadar gelebilen eserlerinde önemli bir yere sahiptir. Mısır'daki piramitlerin yapımında kireç bazlı bağlayıcılar kullanılmış, Orta Asya ile Anadolu'da Horasan Harcı adı verilen bir bağlayıcının kullanılmış olması beton olarak nitelendirilebilecek malzemelerin tarihinin çok eskilere dayandığını göstermektedir. 1800' lü yılların başında ilk yapay çimentonun üretilmesi ve "Portland Çimentosu" ' nun patentinin alınmasıyla, beton yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. 1900'lü yıllarda ise ilk "hazır beton" patenti alınmış ve birbirini izleyen teknolojik yeniliklerin ardından beton kalitesi de yükselmeye başlamıştır. Özellikle kimyasal ve mineral katkıların; liflerin ve benzer malzemelerin betonda kullanılmasıyla farklı kullanım amaçlarına yönelik yüksek performanslı betonlar üretilmeye başlamıştır [4].

2.2 Betonun Oluşturan Malzemeler

2.2.1 Agregalar

Beton içinde hacimsel olarak %70-80 civarında yer işgal eden kum, çakıl, kırma taş gibi inorganik malzemelerin genel adına agrega denmektedir (Özkul vd., 2004).

Agregalar beton yapımında kullanılan ve taneli durumdaki malzemelerdir. Agregaların doğada hazır bulunmaları gibi sebeplerle diğer beton bileşenlerine göre maliyetleri daha düşük olmaktadır. İstenilen kalitedeki betonu elde etmek kaydıyla, beton yapımında ne kadar çok miktarda agrega kullanılırsa beton maliyeti de o kadar düşük olmaktadır. Betonda agrega kullanımının sağladığı bir diğer önemli yarar da betondaki büzülme ve çatlakları azaltmasıdır. Agregaları daha iyi tanımlamak ve doğru kullanımını sağlayabilmek için çeşitli sınıflandırmalar kullanılmaktadır. Agregalar genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [5].

a.Kaynağına göre agregalar: Nehirlerden, denizlerden, çöllerden, eski göl, dere yataklarından ve taş ocaklarından kırılmamış veya kırılmış olarak elde edilen doğal agregalar.

b.Tane boyutlarına göre agregalar: Tane ebadı 4 mm² gözlü elekten geçen agregalar ince, geçemeyen agregalar iri agregalar.

c.Özgül ağırlıklarına ve birim ağırlıklarına göre agregalar: Normal ağırlıklı, hafif ve ağır agregalar.

d.Tane şekline göre agregalar: Yuvarlak, köşeli, yassı ve uzun agregalar.

e.Yüzey dokusuna göre agregalar: Düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli ve petekli agregalar.

f.Üretimlerine (elde edilişlerine) göre agregalar: Doğal (kum, çakıl, kırma taş gibi) yan ürün (fırın cürufu gibi) ve ısıtma işlemine tabi tutulmuş agregalar.

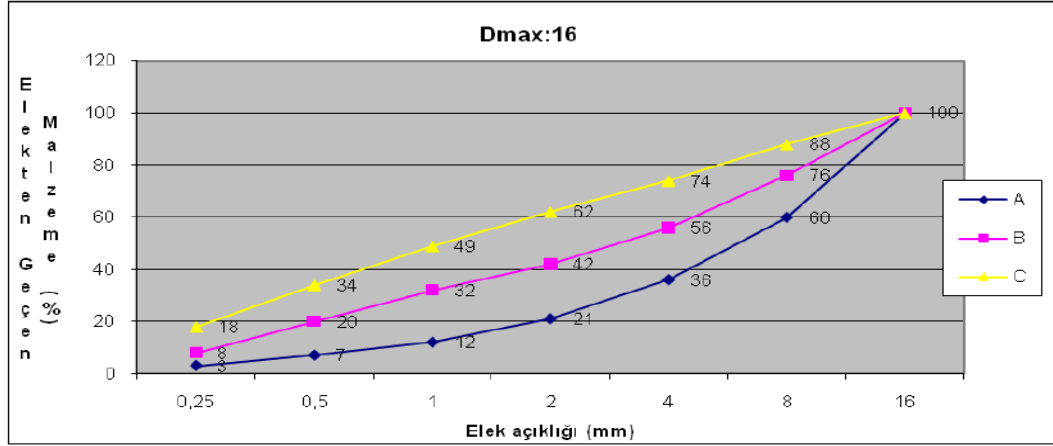
g.Jeolojik orijinlere göre agregalar: Volkanik, tortul ve metamorfik agregalar.

ğ.Mineralojik yapılarına göre agregalar: Silis mineralli, karbonat mineralli ve mikali agregalar.

Beton bileşiminde kullanılacak olan agregada aranan bazı özellikler vardır. Bunlar sert ve dayanıklı olması, zayıf taneler içermemesi (odun, kömür gibi), basınca ve aşınmaya karşı mukavemetli olması, toz ve toprak gibi betona zarar verebilecek malzemeler içermemesi, yassı ve uzun taneler içermemesi ve diğer bileşen olan çimentoyla zararlı reaksiyona girmemesidir [5].

Ayrıca, beton üretiminde kullanılacak agreganın granülometrisinin (bir agregada belirli boyutlardaki tanelerin dağılımını gösteren eğrinin) bilinmesi önemlidir. Agreganın granülometri eğrisi elek analizi ile belirlenmektedir. Şekil 2.1’de referans granülometri eğrisi verilmiştir. Agreganın “ideal bölgeler” denilen kısımlarda olması

istenmektedir. Şekil’de, A-B eğrileri arasındaki bölge beton üretiminde kullanılacak karışım agregası için “en iyi”, B-C arası ise “kullanılabilir” bölgeler olmaktadır. Öte yandan granülometrisi A ve C eğrileri dışında kalan agrega, beton üretiminde kullanılmamalıdır [5].



Şekil 2.1: Referans granülometri eğrisi [5].

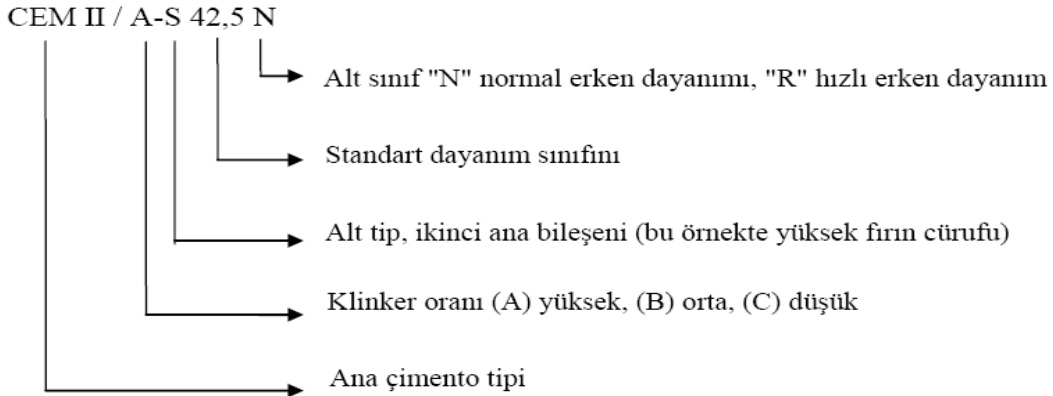
2.2.2 Çimento

Çimento kil ve kalkerin belirli oranlarda karıştırılarak pişirilip öğütülmesi sonucu elde edilen bir bağlayıcıdır. Çimentolar su ile reaksiyon sonucu hem havada ve hem de su altında katılaştıkları ve sertleştikleri için hidrolik bağlayıcılar olarak sınıflandırılırlar. Çimento su ile karıştırıldığında “hidratasyon” denilen kimyasal reaksiyona uğrar [5].

Çimentonun tipi, kullanım yeri, karşılaştığı kimyasal ortama, mevsime göre farklılık arz eder. TS EN 197-1’e göre yaygın olarak kullanılan çimento tipleri mevcuttur. Bu tabloda çimento ile ilgili standartlar verilerek, hangi çimento tipinde ne kadar klinker kullanılacağı anlatılmaktadır. Çimentoların dayanımları da sınıflarına göre farklı olmaktadır. Çimento standart dayanımı TS EN197-1’e göre belirlenen 28 günlük basınç dayanımıdır ve N/mm² (MPa) olarak gösterilir [5].

Betonda kullanılan çimento tipleri ve uygunluk değerlendirmesi TS EN 197-1 serilerinde standartlaştırılmıştır. Buna göre örnek bir çimento tipi Çizelge 2.1’deki gibi işaretlenebilmektedir:

Çizelge 2.1: Çimento tipi gösterimi [5].



2.2.3 Beton karışım suyu

Betonun bir diğer bileşeni de sudur. Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi olduğu söylenebilir. İlki, kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmektir. İkincisi ise, çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlede sertleşmesini sağlamaktır. Betonun kıvamı, m^3 'e giren su miktarına bağlıdır ve beton reçetesi hazırlanırken su miktarı girilmektedir. Beton mukavemeti su/çimento oranına da bağlıdır. Burada önemli olan konu, betona gereğinden fazla su katmanın betona vereceği en büyük zarardır. Çünkü betona gereğinden fazla katılan su, su/çimento oranını artırarak betonun dayanımını düşürmektedir. Aynı zamanda, betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamakta olup, su içinde bulunan klor, sülfat vb. zararlı etkenler beton ve donatıya zarar verebilmektedir. Dolayısıyla betonda kullanılacak su optimum miktarda olmalıdır.

1 m³ betona yaklaşık 170-190 litre arasında su verilmektedir [5].

2.2.4 Kimyasal katkılar

Katkılar, betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim sırasında veya dökümden önce transmiklere az miktarda ilave edilen maddelerdir. [6].

Kimyasal Katkılar:

- **Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar):** Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar [6].

- **Priz Geciktiriciler:** Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdırlar [6].
- **Priz Hızlandırıcılar:** Priz geciktiricilerin aksine, bu katkılar betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar [6].
- **Antifrizler:** Suyun donması çimentonun mukavemet kazanmasına engel teşkil etmektedir. Antifrizler suyun donmasını zorlaştırır [6].
- **Hava Sürükleyici Katkılar:** Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı direncini, işlenebilirliğini artırır [6].
- **Su Geçirimsizlik Katkıları:** Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılardır. Ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır [6].

2.2 Taze Beton Özellikleri

Agrega ve çimento karışımına su katıldıktan sonraki ilk birkaç saatte beton, sıvıya benzer akıcılık özellikleri taşır ve kolayca şekil verilebilir; bu aşamadaki karışıma taze beton denmektedir. Yani, beton malzemelerinin karılma işleminin tamamlandığı andan, betonun katılaştığı ana kadarki betona istenen şeklin verilebildiği evredeki betona taze beton denmektedir. Taze betonun çeşitli özellikleri vardır [5].

2.3.1 İşlenebilme ve Kıvam:

Betonu üretmek için bir araya getirilen malzemeler kolayca karılabilir olmalıdır. Üretilen taze beton kalıplardaki yerlerine kolayca yerleşebilir olmalı ve yerine kolayca sıkıştırılabilir olmalıdır [5].

2.3.2 Taze betonun sıcaklığı:

Şantiyeye teslim edilen taze beton sıcaklığının $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ den az $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$ den fazla olmaması gerekmektedir [5].

2.3.3 Ayrışma ve terleme:

Ayrışma, taze beton içindeki malzemelerin betonun her bölgesinde eşit olarak dağılımının bozulmasıdır. Beton malzemelerinin karılması, taze betonun taşınması, yerleşmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde betonun içindeki iri agrega ve çimento harcı ayrı ayrı bölgelerde kümeleşme göstermemelidir. Kaba agrega taneleri betonun yerleştirilmesi sırasında diğer tanelere göre daha aşağılara çökme eğilimindedir. Özellikle yüksek kıvamdaki betonlarda da su beton içinde yükselerek yüzeyde kalma eğilimindedir [5].

2.3.4 Hava miktarı:

Taze betonda, hacimce % 0.5-8 hava bulunmaktadır ve bu hava ile dayanım, yoğunluk, dayanıklılık gibi özellikler arasında doğrudan ilişki mevcuttur. İstenildiğinde donma-çözülme direncinin artırılması için betona hava sürüklenebilmektedir [5].

2.3.5 Birim ağırlık:

Bir birim hacim içerisinde yer alan taze betonun ağırlığını belirtmektedir. Betonun birim ağırlığı genellikle kg/m^3 veya ton/m^3 olarak ifade edilmektedir. Özgül ağırlığı yüksek olan agregaların oluşturduğu betonun birim ağırlığı da yüksek olmaktadır. Öte yandan, içerisinde daha çok hava boşlukları bulunduran betonun birim ağırlığı daha düşük olmaktadır [5].

2.4 Sertleşmiş beton özellikleri

2.4.1 Dayanım:

Beton dayanımı, üzerine gelen statik ve/veya dinamik yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnç olarak tanımlanmaktadır. Malzeme kesitinde bir birim alanının taşıyabileceği maksimum yük, maksimum gerilme olarak adlandırılmakta ve kgf/cm^2 veya MPa gibi birimlerle ifade edilmektedir. Maksimum gerilme miktarı, betonun dayanımını göstermektedir.

Yapılan çalışmalar neticesinde, uygun sıcaklık ve nem ortamı sağlandığında betonun dayanımının yaşla beraber arttığı gözlemlenmiş olup, hesaplamalarda daha çok betonun 28 günlük basınç dayanımını esas alınmaktadır. Bunun nedeni, betonun zaman içinde ulaşabileceği en yüksek dayanımının yaklaşık % 70'ini ilk 28 gün içinde elde etmesidir. Beton 7, 28 veya daha sonraki günler için hedeflenen dayanımdan daha az bir dayanım göstermemelidir. Bu çalışmadaki amacımız 28 günü erken yakalamadır. Çizelge 2.2 'de TS EN 206'ya göre çeşitli beton sınıflarına göre basınç dayanımları verilmiştir [5].

Çizelge 2.2: Beton sınıflarına göre basınç dayanımları [5].

Basınç Dayanımı Sınıfı	En düşük karakteristik silindirik basınç dayanımı (N/mm²)	En düşük karakteristik küp basınç dayanımı (N/mm²)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

2.4.2 Durabilite

Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok etkenle karşılaşmaktadır. Beton dayanıklılığı, "hava koşullarından, sülfatlı veya asitli sulardan ve/veya betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyeti" olarak tanımlanmaktadır [5].

2.4.3 Hacim sabitliliği

Betonun içerisindeki suyun fiziksel ve/veya kimyasal nedenlerle azalması (kaybolması) sonucunda betonun boyunda ve hacminde yer alan küçülmeye

"büzölme veya rötre" denilmektedir. Sertleşmiş beton, yeterli hacim sabitliğine sahip olmalı, yani istenmeyen ölçüde büzölme, sünme veya genleşme göstermemelidir [5].

2.4.4 Geçirimsizlik

Sertleşmiş betonun yüzeyi ile temas eden sıvılar ve gazlar, betonun içine girerek akış sağlayabilmektedirler. Betonun içindeki sıvıların akış göstermeleri değişik nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bunlar, hava veya su basıncının yarattığı farklılıklar, nemlilik farklılıkları ve betonun içerisindeki sıvıların farklı konsantrasyonlarından doğan olaylardır. Betonun geçirimsizliği; Su/çimento oranına, karışım suyuna, çimentoya, agregaya, katkı maddelerine, betonun yaşına, betonun karılmasına, yerleştirilmesine, sıkıştırılmasına ve betona uygulanacak kür işlemine bağlıdır [5].

2.5 Deneyde Kullanılacak Puzolanlardan Yüksek Fırın Cürufu

2.5.1 Yüksek fırın cürufunun tarihsel gelişimi

1774 – Yüksek fırın cürufu sönmüş kireçle beraber harç yapımında ilk kez kullanılmaya başlanmıştır [4].

1862 – Yüksek fırın cürufunun bağlayıcı olma özelliği Emil Langen tarafından Almanya’da bulunmuştur [4].

1865 – Öğütülmüş yüksek fırın cürufu kireçle karıştırılarak Almanya’da üretilmeye başlanmıştır [4].

1880 – Öğütülmüş yüksek fırın cürufu Almanya’da klinker ile üretilerek satılmaya başlanmıştır [4].

1888 – Yüksek fırın cürufu çimento Almanya’da üretilmeye başlanmıştır [4].

1889 – Yüksek fırın cürufu çimento Fransa’da yer altı metrosu yapımında kullanılmıştır [4].

1896 - Yüksek fırın cürufu çimento Amerika’da üretilmeye başlanmıştır [4].

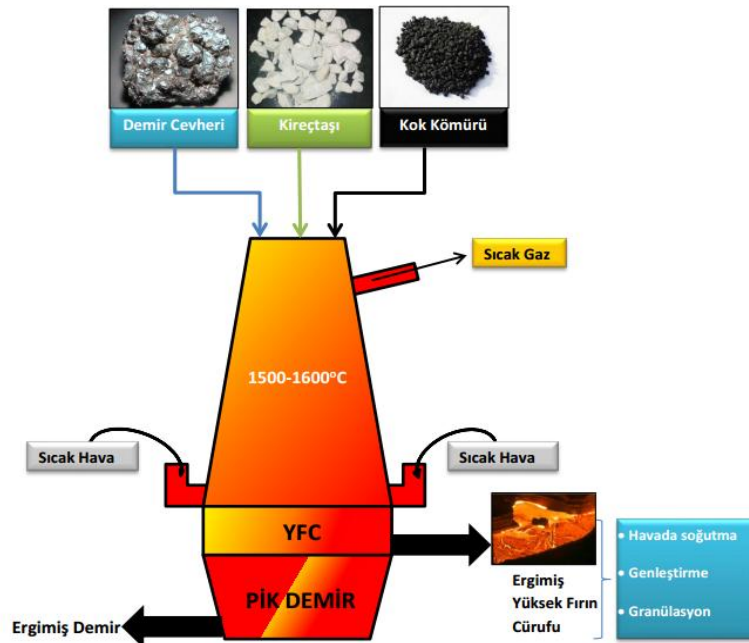
1917 - Yüksek fırın cürufu çimento ile ilgili ilk standard Almanya’da yürürlüğe girmiştir [4].

1950 – Yüksek fırın cürufu çimento ile birlikte beton üretiminde Amerika’da, İngiltere’de, Güney Afrika’da, Avustralya’da, Japonya’da ve Kanada’da kullanılmaya başlanmıştır [4].

2.5.2 Yüksek fırın cürufu tanımı

Yüksek fırın cürufu (YFC), demir-çelik tesislerindeki yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Yüksek fırın cürufu aniden soğutulur granüle hale getirilir ve daha sonrasında öğütülür. Öğütülen bu malzeme çimentoya katılabildiği gibi betonda ayrı olarak da kullanılabilir [7].

Hammaddelerle sürekli olarak beslenen yüksek fırınlarda sıcaklık 1600 °C’ lere ulaşmaktadır. Yüksek sıcaklık sonucu ergiyen malzemeler üstte cüruf ve altta pik demir olacak şekilde fırının alt kısmında toplanır. Ergimiş cüruf ve demir ayrı ayrı tahliye edilir. Yaklaşık 1500 °C’de olan yüksek fırın cürufunun tahliye edilmesinden sonra uygulanacak soğutma yöntemi, oluşacak ürünün özelliklerini ve kullanım yerini belirler [7]. Basitçe şekil 2.2’de nasıl oluştuğu gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Yüksek fırın cürufunun soğutulması [7].

2.5.3 Yüksek fırın cürufu soğutma yöntemleri

2.5.3.1 Havada soğutma:

YFC, havada soğutma yöntemiyle ile atmosferik koşullarda yavaş bir şekilde soğutulur ve minerolojik olarak iri kristalli bir malzeme oluşur. Camsı fazı düşük olan bu malzeme kırılarak beton veya asfalt agregası ya da stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilir [7].

2.5.3.2 Genleştirme:

YFC kontrollü miktarda su, basınçlı hava ve buhar etkisiyle soğutulduğu takdirde gözenekli yapıda, iri kristal taneli bir malzeme oluşur. Bu malzeme hafifliği nedeniyle hafif beton üretiminde kullanılabilir [7].

2.5.3.3 Granülasyon:

Genleştirmeye oranla daha fazla miktarda su kullanılarak yapılan ani soğutma işlemi sonucu kuma benzer amorf (camsı) yapıda, hidrolik özelliği olan granüle bir malzeme oluşur. Bu malzeme değirmende öğütülerek “öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu” elde edilir. 1 ton granüle YFC elde etmek için 10 ton suyun harcandığı yöntem en verimli yol olsa da ekonomik değildir. Son yıllarda bunun yerine peletleme yöntemi tercih edilmektedir. Peletleme sonucu elde edilen malzemenin 4mm’den küçük olan kısmı camsı yapıda olup öğütülerek granüle YFC elde edilir. [7]. Peletleme bağlayıcı maddenin sertleştirilmesidir [7]. Şekil 2.3’te YFC soğutma yöntemleriyle elde edilen YFC çeşitleri gösterilmiştir.

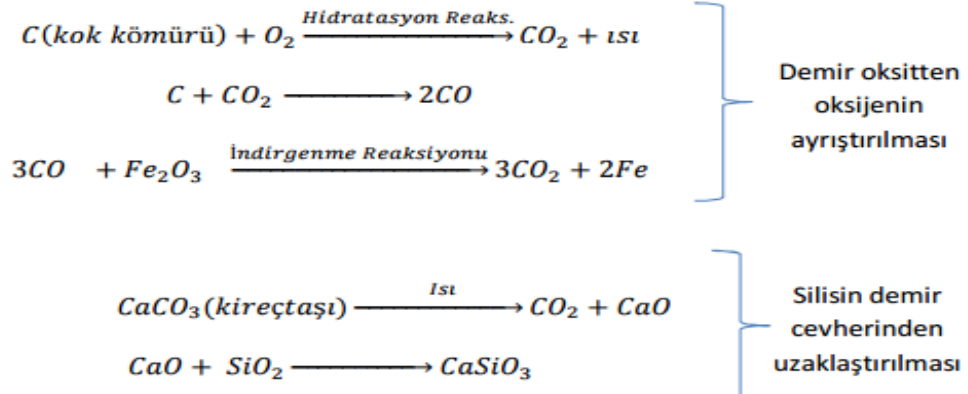


Şekil 2.3: YFC soğutma yöntemleri [7].

2.5.4 Yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Yüksek fırınlarda pik demir elde etmek için demir cevherinden demir dışı maddeleri ve demire bağlı olan oksijeni ayırmak esas amaçtır. Fırında çizelge 2.3’teki reaksiyonlar oluşur [8].

Çizelge 2.3: Fırında oluşan reaksiyonlar [8].



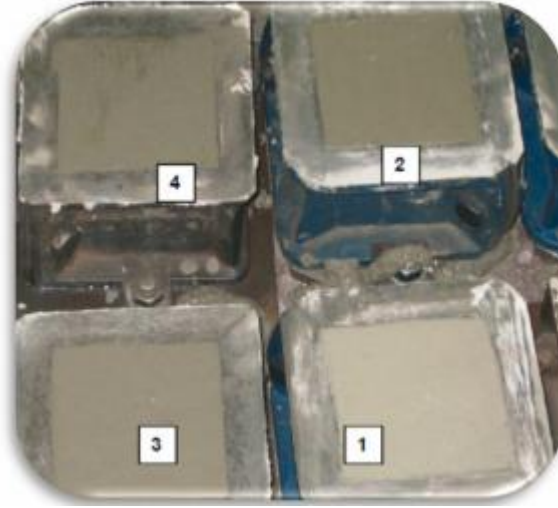
Çizelge 2.4'te ise Portland çimentosu ve cürufun kullanım oranları verilmiştir;

Çizelge 2.4: Portland çimentosu ve cürufun kullanım oranları [8].

	Portland Çimentosu	Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu
SiO ₂ (%)	22,00	35,00
Al ₂ O ₃ (%)	5,00	12,00
Fe ₂ O ₃ (%)	3,50	1,00
CaO (%)	65,00	40,00
SO ₃ (%)	1,00	9,00
Na ₂ O (%)	0,20	0,30
K ₂ O (%)	1,00	0,40
Kızdırma kaybı (%)	0,20	1,00
Özgül yüzey alan (cm ² /g)	3500 -4000	4000 - 5000
	3,15	2,94

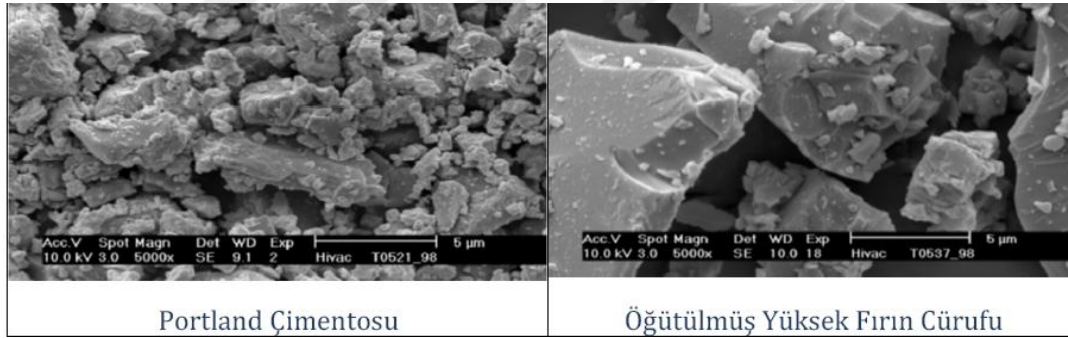
YFC, Portland çimentosuna oranla daha açık renklidir. Bunun nedeni çimentoya gri rengini kazandıran C₄ AF (Alüminat) bileşeninin yüksek fırın cürufundan oluşmamasıdır. Bu renk farklılığı beton fazında da gözlemlenmektedir. Bu durum bazen yanlış anlamalara neden olmaktadır. Çimento ve betonda renk kalitenin bir göstergesi değildir. Hatta açık renk brüt yüzeylerde estetik açısından tercih edilebilir [7].

Şekil 2.4'te 1 no' lu beton cürüflü, 2, 3 ve 4 no'lu betonlar ise portland çimentoludur. Şekilde görüldüğü gibi portland çimentolu betonlar cürüflü betonlardan daha koyu renge sahiptir.



Şekil 2.4: 1 no'lu cürüflü beton ve 2, 3, 4 no' lu sadece portland çimentolu betonlar [7].

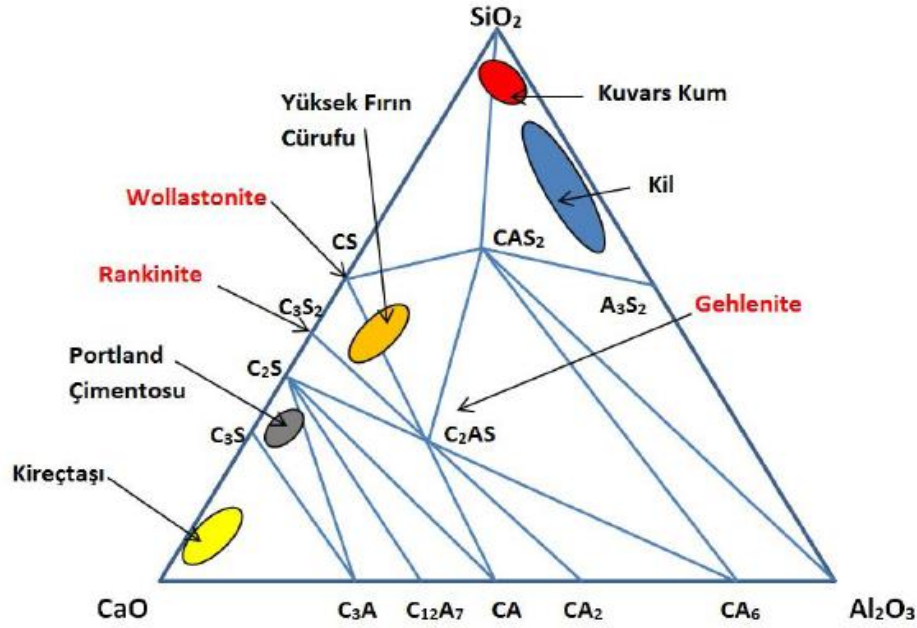
Şekil 2.5'te yüksek fırın cürüflü betonun Portland çimentosuna kıyasla daha keskin köşeli olduğu, ancak yüzeyinin ise daha pürüzsüz bir yapıda olduğu görülmektedir [7].



Şekil 2.5: Portland ve YFC'nin şekilleri [7].

2.5.5 Yüksek fırın cürufunun kimyasal açıdan portland çimentosu ile karşılaştırılması

Şekil 2.6 'da Portland çimentosu ve YFC'nun ana bileşenleri üçlü diagramda gösterilmiştir. Portland çimentosu C_3S (Trikalsiyum silikat) , C_2S (Dikalsiyum silikat), C_3A (Dikalsiyum alüminat) fazlarını içermektedir. Yüksek fırın cürufu ise ana bileşen olarak bu fazları içermemektedir. Sadece az bir miktar C_2S fazı içermektedir. Bu fark iki malzemenin bağlayıcı olarak farklı etkilere sahip olmasını açıklamaktadır [7].



Şekil 2.6: Portland çimentosu ile YFC'nin fazları [9].

Yüksek fırın cürufllu çimento, Portland çimentosuna oranla daha yüksek miktarda Al_2O_3 içermektedir; ancak yüksek fırın cürufunda C_3A fazı oluşmadığından cürufllu çimentoda C_3A oranı düşüktür. Bununla birlikte çimentoda erken dayanıma etkisi olan C_3S bileşenide YFC'unda oluşmaz. Bu durum yüksek fırın cürufllu çimentoda erken yaş dayanımının bir miktar düşük, ileri yaş dayanımının ise daha yüksek olmasını açıklamaktadır. Ayrıca düşük C_3A içeriği de sülfat atağına karşı çimentonun daha dirençli olmasını sağlamaktadır [9]. Çizelge 2.5' te çimento ve YFC' nin bileşenlerinin dayanıma etkisi gösterilmiştir.

Çizelge 2.5: Bileşenlerin beton dayanımına etkileri [9].

Bileşenler	Etkiler
C_3S	Erken dayanımı sağlar
C_2S	Geç dayanımı sağlar
C_3A	Dayanıma etkisi yok. Alçı ve su ile tepkimeye girerek etrenjit oluşturur. Sülfatlı ortamlarda miktarı sınırlandırılır.
C_4AF	Dayanıma etkisi yok. Klinker pişme sıcaklığını düşürür ve çimentonun gri rengini sağlar.

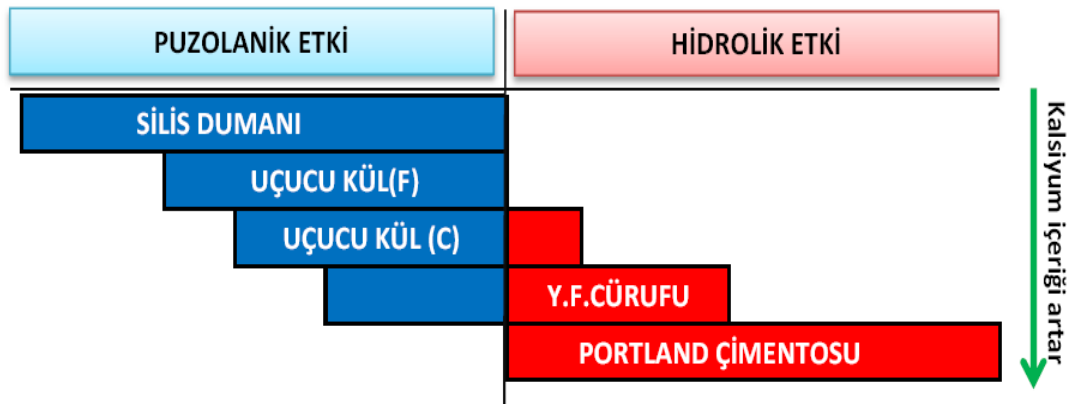
TS EN 197-1 standardı 5 ana tipte çimento sınıfı tanımlamıştır. Bu ana sınıflardan birisi de “ Yüksek Fırın Cürufu Çimento ” dur. Bununla birlikte “ Portland Kompoze Çimento ” ve “ Kompoze Çimento ” ana sınıflarındaki çimentolar belli oranda yüksek fırın cürufu içermektedir [7]. Çizelge 2.6’da çimentolar ve klinker oranları verilmiştir.

Çizelge 2.6: Çimentoların sınıflandırılması ve YFC’ lu çimento [7].

Ana Çimento Tipi		Klinker Oranı(%)
CEM I	Portland Çimentosu	95 – 100
CEM II	Portland Kompoze Çimento	65 – 94
CEM III	Yüksek Fırın Cürufu Çimento	5 – 64
CEM IV	Puzolanlı Çimento	45 – 89
CEM V	Kompoze Çimento	20 - 64

Klinker ise çimento üretimi sırasında pişmiş kil ve kalkerlerin birleşmesinden oluşan iri taneli malzemedir. Cürufun silis dumanı, uçucu kül ve doğal puzolanlara oranla en önemli farkı çimentoya en yakın hidrolük bağlayıcı özellikli özgün bir mineral katkı olmasıdır [7]. Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8’ de puzolanların çimentoya yakınlık dereceleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.7: Puzolanların çimentoya yakınlık dereceleri [7].



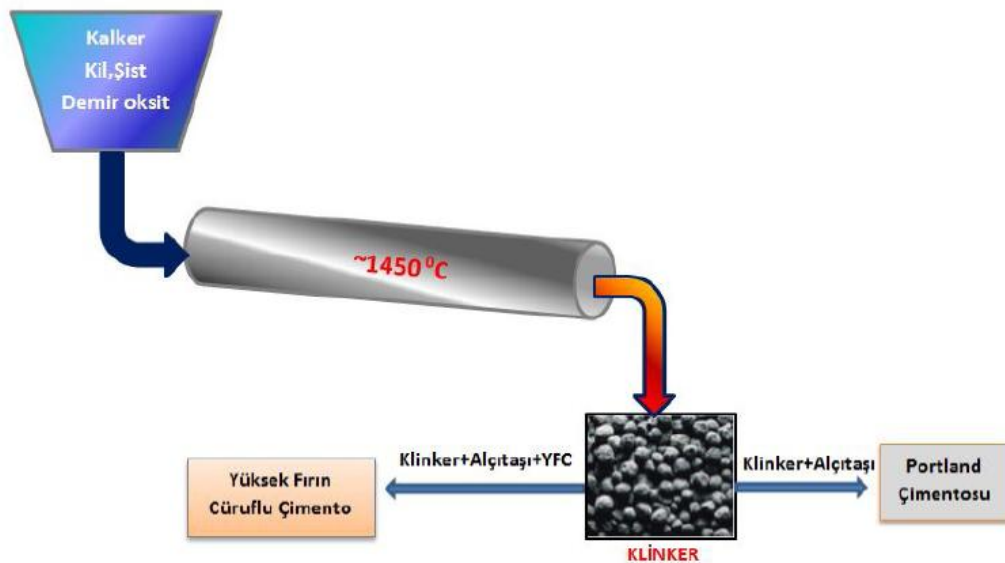
Çizelge 2.8: Ana bileşenler,minör bileşenler [7].

	Ana Bileşenler			Minör Bileşen Oranı(%)
		Klinker Oranı(%)	Y.F.C. Oranı(%)	
Yüksek Fırın Cürüflu Çimento	CEM III/A	35 – 64	36 – 65	0 – 5
	CEM III/B	20 – 34	66 – 80	0 – 5
	CEM III/C	5 – 19	81 – 95	0 – 5
Portland-Cürüflu Çimento	CEM II/A-S	80-94	6-20	0 – 5
	CEM II/B-S	65-79	21-35	0 – 5
Kompoze Çimento	CEM V/A	40-64	18-30	0 – 5
	CEM V/B	20-38	31-50	0 – 5

2.5.6 Yüksek fırın cürüflu çimentonun üretimi

Kireçtaşı (kalker) , alümin, demiroksit ve silis bileşimli hammaddelerin uygun oranda karıştırılıp 1400-1500 °C sıcaklıkta pişirilmeleri sonucu elde edilen yarı-mamül malzemeye klinker denir [7].

Klinker bir miktar alçıtaşı ile öğütülerek Portland çimentosu elde edilir. Yüksek fırın cürüflu çimento üretiminde ise klinker, cüruf ve alçıtaşı ile birlikte öğütülür (inter grinding), ya da cüruf ile çimento klinkeri ayrı ayrı öğütülüp belirli oranlarda karıştırılır (seperate grinding) [7]. Şekil 2.7’de bu aşamalar gösterilmiştir.



Şekil 2.7: YFC’li YFC’siz çimento üretimi [7].

2.5.7 Yüksek fırın cürufllu çimentonun bağlayıcılık özelliklerini etkileyen başlıca faktörler

1. Kimyasal bileşim , 2. Klinker oranı, 3. İncelik, 4. Camsı yapı

2.5.8 Yüksek fırın cürufllu çimentonun hidratasyonu

Bağlayıcı malzeme ile su arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyona “**hidratasyon reaksiyonu**” denir. Hidratasyon reaksiyonu dışarıya ısı veren(ekzotermik), su ve sıcaklığa bağımlı bir reaksiyondur. Yüksek fırın cürufu bir miktar hidrolik özelliğe sahiptir ve su ile girdiği reaksiyon portland çimentosuna oranla çok yavaş ve daha düşük etkidir. Bu nedenle yüksek fırın cürufunun aktive edilmesi gerekmektedir. Cürufun aktivasyonu üç farklı yolla olur [7].

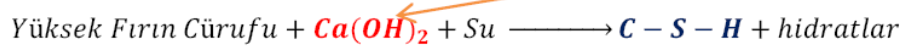
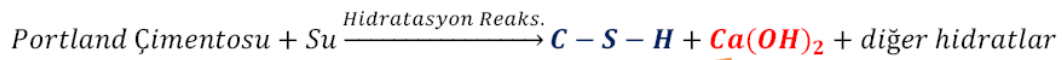
a. Çimento ile birlikte kullanılması

b. Alkali veya sülfat tuzları ile aktive edilmesi

c. Betonda mineral katkı olarak kullanılması

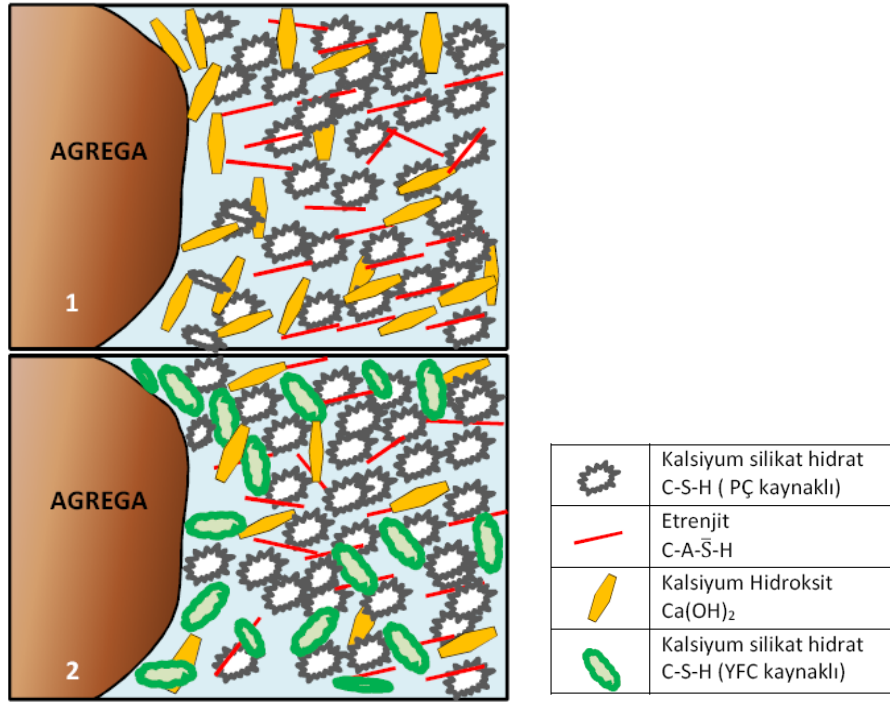
Çimento hidratasyonu sonucu oluşan kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) ile YFC aşağıda gösterildiği gibi tepkimeye girerek ikinci bir reaksiyon oluştururlar. Bu reaksiyon sonucu betona dayanım kazandırma özelliği olan kalsiyum silikat hidrat(C-S-H) jeli daha fazla miktarda oluşur [7]. C-S-H jelinin oluşması Çizelge 2.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.9: YFC’nin C-S-H jeli oluşturmaları [7].



Şekil 2.8 ’de 1 no’ lu şekil YFC’siz, 2 no’lu şekil YFC’ li çimentodur. Ca(OH)_2 ve C-S-H jeli miktarının değiştiği görülmektedir. Yüksek fırın cürufllu çimento ile üretilen betonda dayanıma etkisi olmayan Ca(OH)_2 oluşumu azalır ve dayanıma etkisi olan C-S-H jeli oluşumu artar. Ayrıca çimento hamuru tarafından kusulan ve agrega ile hamur arasındaki ara yüzeyde toplanan Ca(OH)_2 oranının azalması ile

daha kuvvetli aderans sağlanır. Kısaca 2 nolu şekilde daha az kırmızı ve sarı renkli şekiller vardır. Bu durum betona olumlu etki eder. [7].



Şekil 2.8: Portland çimentosu ve YFC kaynaklı kalsiyum silikat hidrat [7].

Çizelge 2.10’da hidratasyon ürünlerinin özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.10: Hidratasyon ürünlerinin özellikleri ve kısaltmalar [7].

Hidratastın Ürünleri	Açıklama
Kalsiyum silikat hidrat C-S-H	C-S-H jelleri betonda dayanımı sağlayan üründür. Yüksek fırın cürufu çimentoda daha fazla miktarda oluşur.
Kalsiyum hidroksit CH	CH betonda bazik ortamı sağlar. Suda çözünen yapıdadır. Dayanıklılık açısından olumsuz etkileri vardır. Çimento hamuru ile agrega arasındaki aderansı zayıflatır. Yüksek fırın cürufu çimentolarda daha düşük miktarda oluşur.
Etrenjit (AFt) C₆A₃H₃₂	Betonda ilk oluşan ürünlerdendir. Dayanıma etkisi yoktur. Yüksek fırın cürufu çimentoda daha düşük miktarda oluşur.
Monosülfat (AFm) C₄A₃H₁₂	Yarı-kararlı bir üründür. Sülfatlı ortamda etrenjite dönüşür ve hacimsel genişlemeye neden olur.

Kısaltmalar:

$C \rightarrow CaO$ $S \rightarrow SiO_2$

$H \rightarrow H_2O$ $\bar{S} \rightarrow SO_3$

$A \rightarrow Al_2O_3$

2.5.9 YFC'nin sertleşmiş beton özelliklerine etkisi

Yüksek fırın cürufllu çimentoların betonda basınç dayanıma etkisini erken yaş ve ileri yaş dayanımları olarak değerlendirmek gerekmektedir. Eşit su/bağlayıcı oranı ve eşit çimento miktarı kullanıldığında Portland çimentosuna oranla erken yaş dayanımı düşük, ileri yaş dayanımı ise yüksektir. Bu durum hidrasyon reaksiyonlarının gelişim hızlarındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır [10].

2.5.9.1 Erken yaş basınç dayanımı

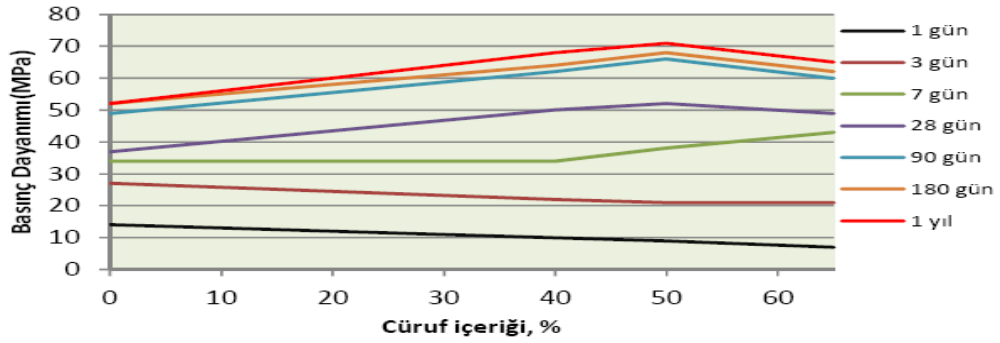
Yüksek fırın cürufllu çimentoda klinker oranı daha düşük olduğundan ve cürufun etkinleşmesi geç gerçekleştiğinden erken yaş dayanımı bir miktar düşüktür. Standardlarda erken yaş dayanımı için herhangi bir sınır değer mevcut değildir. Erken yaş dayanımı özellikle prefabrik üretimlerde ve tünel kalıp gibi inşaatlarda istenen bir özelliktir. Bu durumda priz hızlandırıcı katkıları ve uygun incelikte ve miktarda cüruf içeriği erken yaş dayanımlarının daha yüksek olmasını sağlayabilir yada tezin konusu olan hızlandırılmış kür tekniği beton dayanımını erken tahminde kullanılabilir [10].

Örnek: Kanalizasyon beton boruları prekast olarak üretilir ve kalıp alma süresi işletme için önemlidir. Bu nedenle erken yaş dayanımın hızlı gelişmesi istenir. Ancak beton borular için tasarımda dayanım kadar önemli bir diğer kriter de dayanıklılıktır. Dayanıklılık elemanın çevresel koşullara karşı dirençli olmasını ve yeterli hizmet süresini sağlaması olarak tanımlanabilir.

2.5.9.2 İleri yaş basınç dayanımı

Betonda ileri yaş dayanımı olarak standardın öngördüğü 28 günlük değerdir. Ancak, cürufllu çimentoların dayanım gelişimi 56, 90 hatta 150 günde daha iyi değerlendirilir. Yapılan laboratuvar çalışmalarında yüksek fırın cürufllu çimentoların 28 günde referans betona oranla daha yüksek dayanım verdiği ve bu değerlerin ileri yaşlarda daha da arttığı tespit edilmiştir. Bunun ana nedeni yüksek fırın cürufunun

Portland çimentosu ile su arasındaki reaksiyonlar sonucu oluşan Ca(OH)_2 ile tepkimeye girerek dayanım kazandıran C-S-H jellerini oluşturmasıdır [10].



Şekil 2.9: Cüruf içeriğine bağlı olarak basınç dayanımının zamana bağlı artışı [10].

Yukarıda şekil 2.11’de zaman arttıkça cürufun artmasına bağlı dayanımın arttığını görmekteyiz.

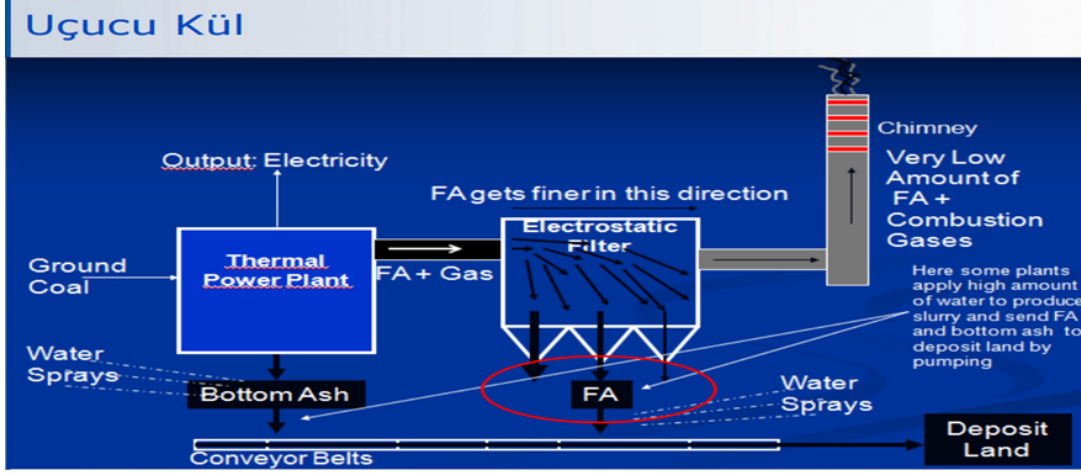
2.6 Deneyde Kullanılacak Puzolanlardan Uçucu Kül

2.6.1 Uçucu kül tanımı

Termik santrallerin atığıdır. Küresel yapısı sayesinde betonun işlenebilirliğini arttırmaktadır. Su ihtiyacını azaltır. Su/Çimento oranının yükselmesi halinde kömür tanecikleri üst tabakaya çıkabilir [11].

Birçok termik santralde, elektrik üretimi için gerekli enerjiyi sağlayabilmek amacıyla, yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Dolayısı ile atık malzeme olarak değişik karakterlerde küller elde edilmektedir. Pulverize kömürün yanmasıyla ortaya çıkan küllerin bir kısmı ocak tabanında birikirken yaklaşık %75 - 80’i gazlarla birlikte bacadan dışarıya sürüklenmektedir. Bu küllere “uçucu kül” ya da “pulverize yakıt külü” denilmektedir [11].

Şekil 2.10’ da Uçucu Kül üretim aşamalarını görmekteyiz. Elektrik enerjisi üretimi amacıyla kömür fabrikada yanar. Yanan kömürün artıkları oluşur. Bunun sonucunda oluşan gaz elektrostatik filtreden geçer. Filtreden geçen gaz bacadan çıkarken çok düşük miktarda uçucu kül oluşur. Oluşan uçucu kül beton üretiminde bileşen olarak kullanılarak değerlendirilir.



Şekil 2.10: Uçucu kül üretim prosesi [11].

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

- a- F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70' den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde reaktif kireç (CaO) yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler [11].
- b- C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50' den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde CaO %10'dan fazla olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler [11].

TS EN 197-1' e göre uçucu küller silissi (V) veya kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Silissi uçucu külün puzolanik özellikleri vardır. Kalkersi uçucu külün ise hidrolik özelliklerine ilâveten puzolanik özellikleri olabilmektedir [11].

Uçucu kül çimentoda kullanılırken öğütmeye gerek yoktur. Tras gibi kurutma ihtiyacı yoktur. Genel olarak doğal trasta daha iyi reaktivitesi vardır, cüruftan ise daha düşük reaktivitesi vardır. En büyük teknik avantajı su ihtiyacını azaltmasıdır. Böylece Yüksek dayanım, az terleme, az rötre sağlar [11].

Uçucu Kül Kullanımında Dikkat Edilecek Noktalar:

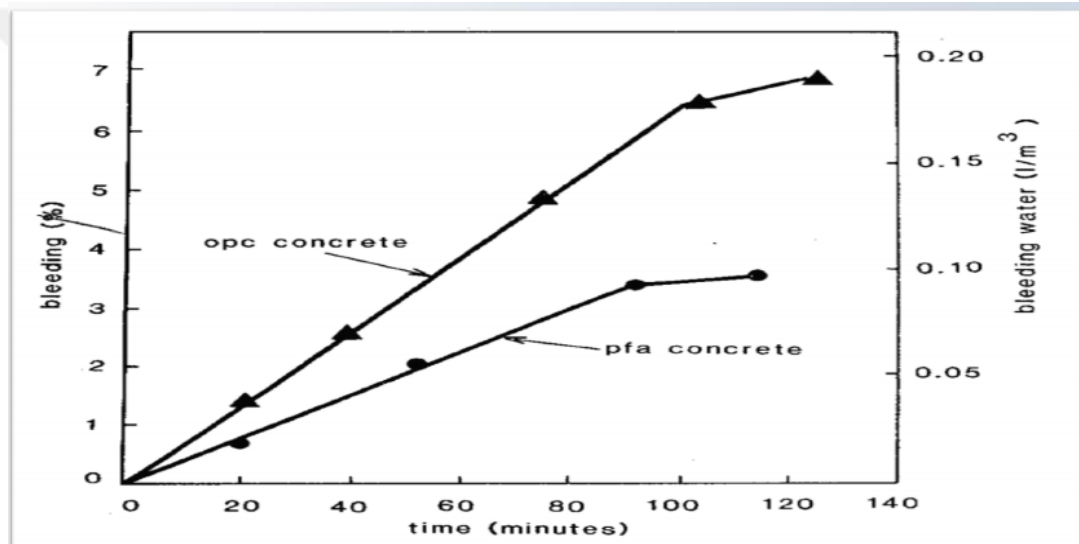
- Tane boyu dağılımına
- S+A+F miktarına
- Reaktif silis miktarı

2.6.2 Çimento-uçucu kül sisteminin özellikleri:

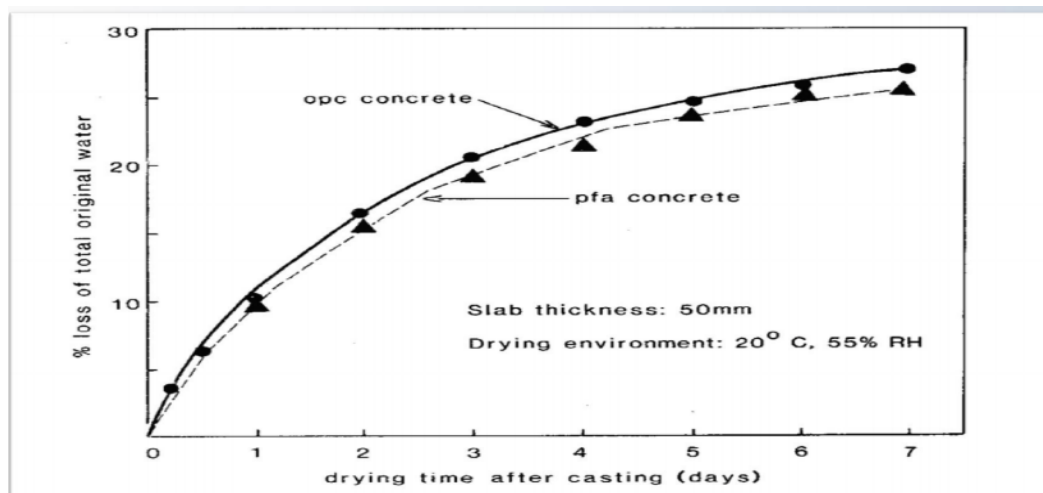
2.6.2.1 İşlenebilirlik:

- Daha az su ile aynı işlenebilirlik
- Daha düşük su/çimento oranı ile üretim yapma
- Daha az rötre ve terleme

Şekil 2.11' de uçucu külün terlemeyi azaltması gösterilmiştir:



Şekil 2.11: Uçucu küllü çimentonun terleme zaman grafiği [11].



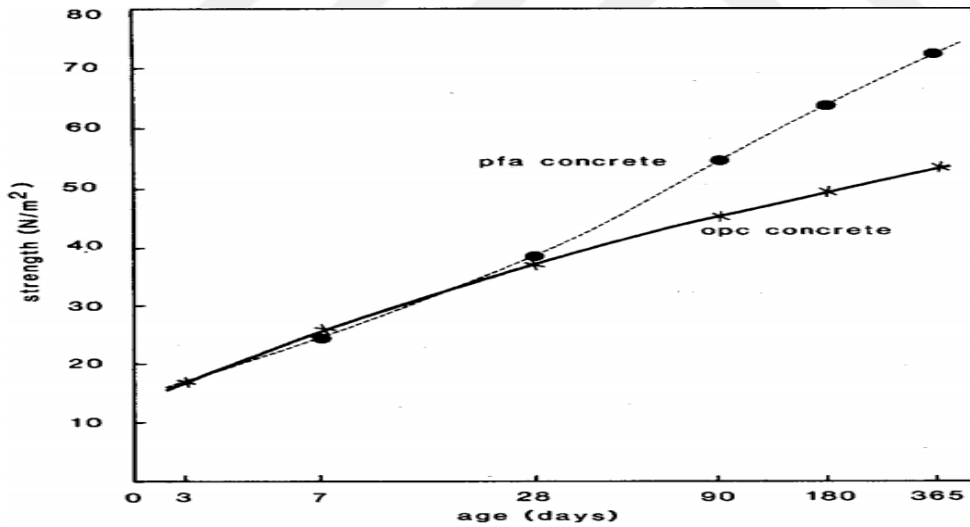
Şekil 2.12: Uçucu küllü çimentonun su kaybı yüzdesi zaman grafiği [11].

Şekil 2.12' de uçucu külün beton yüzeyindeki buharlaşma hızına etkisi yukarıdaki grafikte gösterilmiştir:

2.6.2.2 Uçucu külün basınç dayanımına etkisi

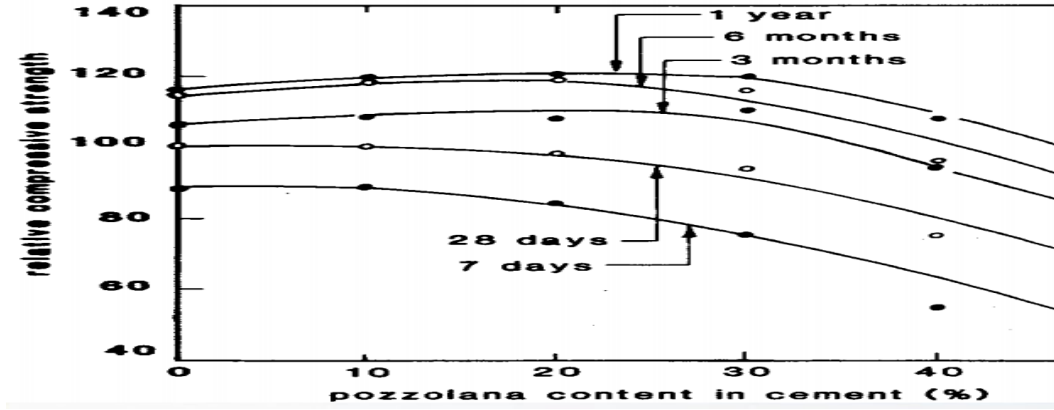
- İlk Dayanımı saf PÇ' ye (portland çimentosu) göre düşüktür.
- İşlenebilirlik artışı ile w/c (su/çimento) oranı yükselir.
- Nihai Dayanım uçucu külün aktivitesi ile doğru orantılıdır.
- Aynı işlenebilirlikte PÇ (Portland Çimentosu) beton dizaynına göre:
 - Daha az su
 - Daha düşük dozaj
 - Daha az kimyasal katkı

Tipik bir uçucu kül içeren betonların uzun dönem performansları Şekil 2.13' teki grafikte verilmektedir. 28. gün sonrasında meydana gelen mukavemet artışının sebebi ikincil puzolanik reaksiyondur [11].



Şekil 2.13: Uçucu kül zamana bağlı dayanım grafiği [11].

Farklı oranda tipik bir uçucu kül ile yapılmış betonun kullanımının erken yaş ve nihai beton mukavemetleri üzerindeki etkileri şekil 2.14' teki grafikteki gibidir [11]. Görüldüğü üzere zaman arttıkça mukavemet artmaktadır. Çimentoda içerik arttıkça %30 'dan sonra basınç dayanımı azalmaktadır.



Şekil 2.14: Uçucu kül zamana bağlı dayanım grafiği [11].

2.7 Silis Dumanı

Silis dumanı, silisyum veya demir silisyum alaşımlarının ergime yöntemi ile üretimi sırasında elde edilen, ana bileşeni $1\ \mu\text{m}$ ' den küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO_2) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan üründür [8].

2.8.RCC Beton Deney Çalışmaları

2.8.1 RCC (Roller Compacted Concrete) karışımına giren malzemeler

RCC (SSB, silindir ile sıkıştırılmış beton) betonlarda 270. güne kadar mukavemetlere bakılmaktadır. 270 gün oldukça uzun bir süredir. Yıldırım, H. ve arkadaşları RCC betonlardaki nihai mukavemeti daha önceden öğrenebilmek için suda kür yöntemiyle çalışmalar yapmıştır. Çalışmanın özeti aşağıda verilmiştir. RCC betonundan 2 farklı deney çizelge 2.11 ve 2.12' de verilmiştir.

İlk deneyde 11 farklı karışım kullanılmıştır. İkinci deneyde ise 7 farklı karışım kullanılmıştır. 1. deneyde kullanılan çimento tipi L ile kodlandırılmıştır. 1. deneyde 11 karışımın 5'inde C tipi, 5'inde ise F tipi uçucu kül kullanılmıştır. Geriye kalan 1 karışım ise uçucu külsüz saf çimentoludur [12]. Çizelgedeki verilerin birimleri kg/m^3 tür.

Çizelge 2.11: RCC betonu 1 nolu karışım [12].

Material	İçerik (kg/m ³)										
	LC205	LC40	LC50	LC60	LC70	LC80	LF40	LF50	LF60	LF70	LF80
Çimento1	205	40	50	60	70	80	40	50	60	70	80
C Tipi Uçucu Kül	-	165	155	145	135	125	-	-	-	-	-
F Tipi Uçucu Kül	-	-	-	-	-	-	165	155	145	135	125
Su	130	125	126	126	127	127	125	126	126	127	127
Kırma Taş (25-50 mm)	382	375	375	376	376	377	375	375	376	376	377
Kırma Taş (12.5-25 mm)	469	461	461	462	462	463	461	461	462	462	463
Kırma Taş (4.76-12.5 mm)	500	492	492	492	492	493	492	492	492	492	493
Kırma Kum (0-4.76 mm)	826	812	812	813	813	815	812	812	813	813	815

Çizelge 2.12: RCC betonu 2 nolu karışım [12].

Material	İçerik (kg/m ³)						
	MC205	MC40	MC60	MC80	MF40	MF60	MF80
Çimento 2	205	40	60	80	40	60	80
C Tipi Uçucu Kül	-	165	145	125	-	-	-
F Tipi Uçucu Kül	-	-	-	-	165	145	125
Su	125	126	127	125	126	127	130
Kırma Taş(25-50 mm)	375	376	377	375	376	377	382
Kırma Taş (12.5-25 mm)	461	462	463	461	462	463	469
Kırma Taş (4.76-12.5 mm)	492	492	493	492	492	493	500
Kırma Kum (0-4.76 mm)	812	813	815	812	813	815	826

2. deneyde kullanılan çimento tipi M ile kodlandırılmıştır. 2. deneyde farklı oranlarda 3 adet C tipi, 3 adette F tipi uçucu kül kullanılmıştır. Geriye kalan 1 karışım ise sadece çimentolu olarak yapılmıştır (LC 205) [12].

2.8.2 RCC (Roller Compacted Concrete) deney sonuçları

Çizelge 2.13: RCC beton 1 nolu karışım sonuçları (L tipi çimento) [12].

Gün	Basınç Dayanımı (MPa)										
	LR205	LC40	LC50	LC60	LC70	LC80	LF40	LF50	LF60	LF70	LF80
7	36.5	4.8	5.7	6.5	9.4	10.9	5.2	6.8	8.0	10.6	12.1
14	41.1	7.6	10.0	9.1	12.9	15.1	7.8	9.8	11.2	13.8	17.4
28	44.8	11.2	13.4	14.6	19.5	22.3	13.2	14.7	16.6	19.9	25.0
56	48.7	14.7	17.4	20.6	23.8	26.5	15.5	19.4	24.9	31.2	32.9
91	51.3	16.6	20.3	23.8	27.4	31.3	17.0	24.5	27.5	32.2	38.3
112	51.5	17.4	21.2	24.9	28.0	31.5	18.0	25.7	29.4	34.0	38.5
182	52.1	19.7	22.3	26.0	28.7	32.9	21.1	27.3	30.8	35.3	39.3
7/90°C	30.5	19.0	22.4	26.5	29.5	33.9	20.7	26.4	28.9	31.8	37.1
14/90°C	35.7	19.9	23.2	27.2	32.3	36.2	22.1	30.0	31.7	32.6	39.7

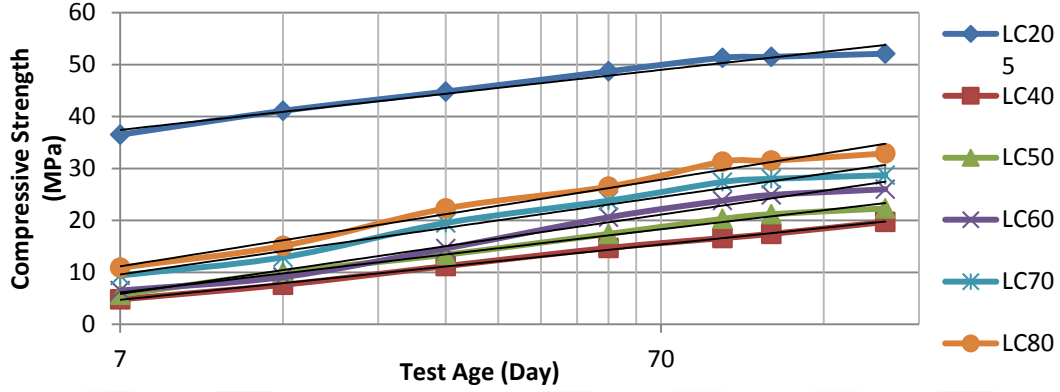
Çizelge 2.14: RCC beton 2 nolu karışım sonuçları (M tipi çimento) [12].

Gün	Basınç Dayanımı (MPa)						
	MR205	MC40	MC60	MC80	MF40	MF60	MF80
7	31.6	5.1	5.6	14.7	10.8	11.4	15.7
14	33.3	8.1	8.8	20.2	15.6	15.9	18.9
28	35.1	12.0	14.7	26.5	20.2	20.5	21.7
56	37.7	15.0	18.9	28.4	22.5	23.3	25.1
91	39.9	15.4	20.3	30.3	24.2	26.1	27.2
112	39.6	15.7	20.8	32.1	24.7	27.0	28.1
182	41.1	17.3	21.7	32.3	25.7	27.9	29.3
7/90 °C	20.5	18.9	21.2	30.4	20.4	20.5	20.6
14/90°C	30.8	19.3	22.5	31.0	22.1	22.0	23.3

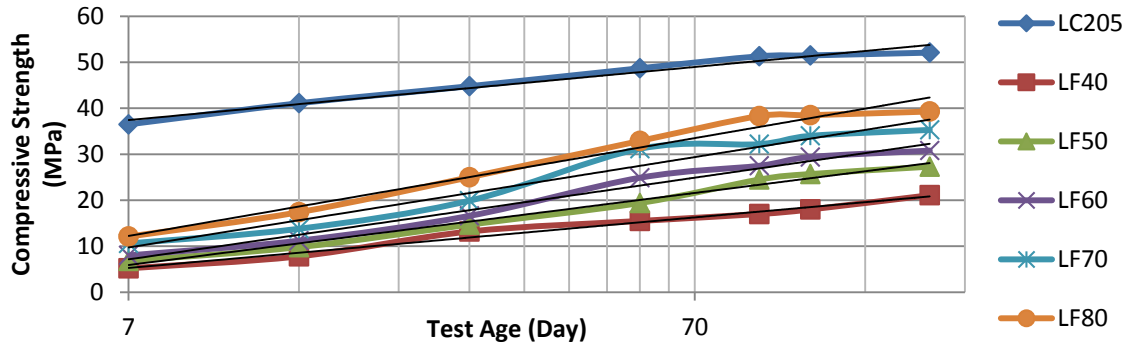
Yukarıdaki karışımlar 20 derecede kür koşullarında ve 90 derecede sıcak su tankında bekletilmiş ve 7, 14, 28, 56, 91, 112, 182. günlerde kür ortamından çıkartılarak ve 7, 14. günlerde ise 90 derecelik sıcak su tankından çıkartılarak ortalama basınç dayanımları ölçülmüştür. Sonuçlar çizelge 2.13 ve 2.14'te verilmiştir [12].

1 ve 2 nolu deneylerde sadece çimentolu, çimentolu ve cürufu malzemeler kullanılmıştır. Her durumda bağlayıcı bu malzemelerin ağırlığı 205 kg' dır. Yani

sadece çimento kullanıldığında 205 kg/m³ çimento kullanılmıştır. 40 kg/m³ F tipi cüruf kullanıldığında 165 kg/m³ çimento kullanılmıştır. Sonuçta toplamı 205 kg/m³ olmuştur [12].



Şekil 2.15: RCC beton 1 nolu deney C tipi uçucu kül için günlere bağlı basınç dayanımı grafiği [12].



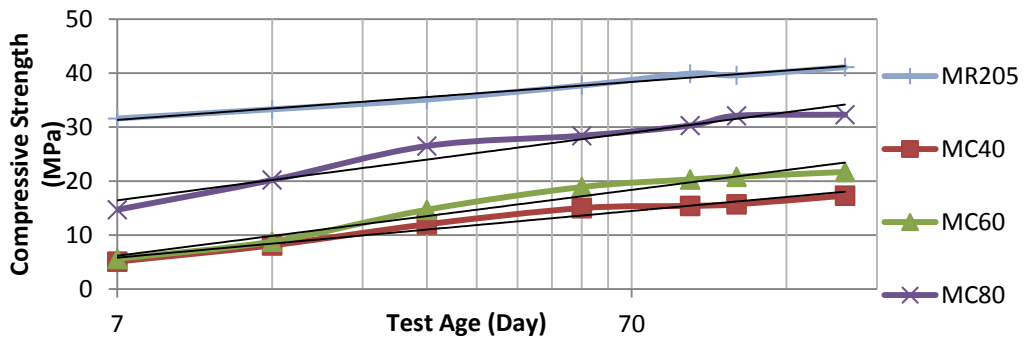
Şekil 2.16: RCC beton 1 nolu deney F tipi uçucu kül için günlere bağlı basınç dayanımı grafiği [12].

Yukarıda iki grafik 20 derecede kür koşullarında betonun mukavemetinin günlere bağlı değişimini göstermektedir. Gerek C gereksede F tipi uçucu kül kullanıldığında 90 derecede hızlandırılmış kür ortamında 7 ve 14 günde elde edilen basınç dayanımı değerleri normal kür koşullarında 182 günde elde edilen dayanım değerine yakındır. Örneğin LC70 karışımını göz önüne alalım. Yani L tipi çimentodan 70 kg, uçucu külden ise 135 kg kullanılan karışımda diyebiliriz. 20 derecede 7 günde 9,4 MPa, 14 günde ise 12,9 MPa, 182 günde ise 28,7 MPa değere ulaşmıştır. Buna karşın aynı karışım 90 derecede 7 günde 29,5 MPa, 14 günde ise 32,3 MPa değere ulaşarak 28,7

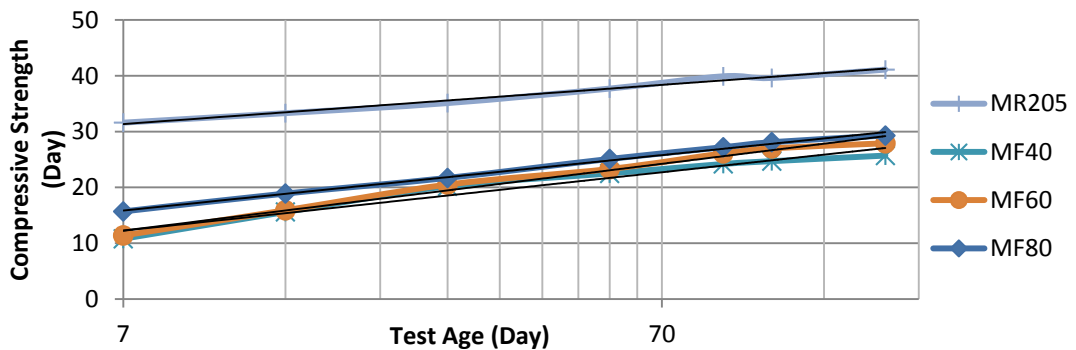
MPa değerine yaklaşmıştır. Benzer şekilde LF 70 karışımını göz önüne alırsak; yani L tipi çimentodan 70 kg ve F tipi uçucu külden 135 kg karışım diyebiliriz. 20 derecede 7 günde 10,6 MPa, 14 günde 13,8 MPa, 182 günde 35,3 MPa değerine ulaşmıştır. Buna karşın bu değere 90 derecede hızlandırılmış kür ortamında 7 günde 31,8 MPa ve 14 günde 32,60 MPa ile yaklaşmıştır [12].

Sadece çimento kullanılan LR 205 betonunda ise normal kür koşullarında 182 günde 52,1 MPa değer elde edilirken , 90 derecede hızlı kür ortamında 7 günde 30,50 MPa ve 14 günde ise 35,7 MPa değer elde edilerek istenilen değer elde edilememiştir [12].

Aşağıdaki iki grafik 20 derecede kür koşullarında betonun mukavemetinin günlere bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 2.17: RCC beton 2 nolu deney C tipi uçucu kül için günlere bağlı basınç dayanımı grafiği [12].



Şekil 2.18: RCC beton 2 nolu deney F tipi uçucu kül için günlere bağlı basınç dayanımı grafiği [12].

Gerek C gerekse F tipi uçucu kül kullanıldığında 90 derecede hızlandırılmış kür ortamında 7 ve 14 günde elde edilen basınç dayanımı değerleri normal kür koşullarında 182 günde elde edilen dayanım değerine yakındır. Örneğin MC60 karışımını göz önüne alalım. Yani M tipi çimentodan 60 kg, C tipi uçucu külden ise 145 kg kullanılan karışımda diyebiliriz. 20 derecede 7 günde 5,60 MPa, 14 günde ise 8,80 MPa, 182 günde ise 21,7 MPa değere ulaşmıştır. Buna karşın aynı karışım 90 derecede 7 günde 21,2 MPa, 14 günde ise 22,5 MPa değere ulaşarak 21,7 MPa değerine yaklaşmıştır. Benzer şekilde MF 60 karışımını göz önüne alırsak; yani M tipi çimentodan 60 kg ve F tipi uçucu külden 145 kg karışım diyebiliriz. 20 derecede 7 günde 11,4 MPa, 14 günde 15,9 MPa, 182 günde 27,9 MPa değerine ulaşmıştır. Buna karşın bu değere 90 derecede hızlandırılmış kür ortamında 7 günde 20,5 MPa ve 14 günde 22,0 MPa ile yaklaşmıştır [12].

Sadece çimento kullanılan MR 205 betonunda ise normal kür koşullarında 182 günde 41,1 MPa değer elde edilirken ,90 derecede hızlı kür ortamında 7 günde 20,5 MPa ve 14 günde ise 30,8 MPa değer elde edilerek istenilen yaklaşım elde edilememiştir [12].

2.9. Hızlandırılmış Kür ve İlgili Standartlar

ACI 517.2R: Amerikan beton enstitüsü tarafından 1958 yılında kabul edilen yönetmeliktir. Sürekli geliştirilmiştir. Atmosfer basıncı altında hızlandırılmış kür uygulamasını anlatır [13] .

ASTMC 403: Beton karışımlarının priz sürelerinin penetrasyon direnci ile yapılmasına ilişkin test metodunu içerir [14] .

ASTM C 648-81 : Hızlandırılmış kür uygulamasının beton test numuneleri ile standart test metodudur. Bu metotta Ilık su yöntemi, Kaynar su yöntemi prosedürü, Kendinden oluşan kür prosedürü, Yüksek sıcaklık ve basınç metodu prosedürleri vardır [2] .

TS 3323 : Bu standard, dayanım kazanma hızının arttırılmasını sağlayan şartlarda küre tabi tutulan beton basınç deney numunelerinin hazırlanması, kürü ve basınç

dayanımı tayini için deneye tabi tutulmasında uygulanan deney yöntemini kapsar [15] .

TS EN 206: Beton ve bileşenlerinin kalite kontrol esaslarına ilişkin Türk standartları yönetmeliğidir.





3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyler farklı şantiyelerde dış ortam, kür koşullarında, 60 derecede ve 90 derecedeki koşullarda sıcak kür tankları kullanılarak yapılmıştır. Farklı dozlardaki YFC'li ve uçucu küllü betonların bu sıcaklıkta günlere bağlı olarak basınç dayanımları bu basınç dayanımlarından yola çıkarak kendi içinde ve birbirleri arasındaki grafiksel veriler aşağıda verilmiştir.

3.1 Deneyin Yeri

Deney yeri olarak yüksek fırın cürufu için hazır betonların üretildiği Danış betonun santralinden ve uçucu küllü beton için ise Melen barajı projesindeki tesislerden yararlanılmıştır. Betonlar santral koşullarında hazırlanan standart betonlardır. Şekil 3.1' de deneyin yapıldığı beton santrali gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Deneyin yapıldığı beton santrali.

3.2 Deney grubu 1,2,3'ün karışımına giren malzemeler

Çizelge 3.1: Deney grubu 1 (1 m³ için beton malzemeleri karışım miktarları).

Deney Grubu 1			
No	Malzeme Cinsi	Birimi	Miktarı
1	Çimento	kg	250
2	Cüruf	kg	70
3	D.Kum	kg	430
4	K.Kum	kg	430
5	No:1	kg	440
6	No:2	kg	600
7	Katkı	kg	1,30
8	Su	kg	125

Çizelge 3.2: Deney grubu 2 (1 m³ için beton malzemeleri karışım miktarları).

Deney Grubu 2			
No	Malzeme Cinsi	Birimi	Miktarı
1	Çimento	kg	320
2	Cüruf	kg	0
3	D.Kum	kg	430
4	K.Kum	kg	430
5	No:1	kg	440
6	No:2	kg	600
7	Katkı	kg	1,3
8	Su	kg	125

Çizelge 3.3:Deney grubu 3 (1 m³ için beton malzemeleri karışım miktarları).

Deney Grubu 3			
No	Malzeme Cinsi	Birimi	Miktarı
1	Çimento	kg	220
2	Cüruf	kg	50
3	D.Kum	kg	450
4	K.Kum	kg	430
5	No:1	kg	450
6	No:2	kg	600
7	Katkı	kg	3,5
8	Su	kg	145

Deney Grubu 1 w/c: 0,50 (Su/Çimento oranı) .

Deney Grubu 2 w/c: 0,39 (Su/Çimento oranı) .

Deney Grubu 3 w/c: 0,66 (Su/Çimento oranı) .

Not: 1 ve 2 nolu deneyler aynı gün ve saatlerde aynı ortam ve kür koşullarında yapılmıştır. 3 No' lu deney 1 ve 2 no' lu deneyin sonucuna göre daha sonra yapılmıştır.

3.2.1 Deney ile ilgili bilgiler

- **Ortam Sıcaklığı:** 24 °C.
- **Beton Sıcaklığı:** 30 °C (Deney Grubu 1), 29 °C (Deney Grubu 2), 30 °C (Deney Grubu 3).
- **Deney numunesinin Cinsi:** 15x15x15 cm ebatlarında küp numune kapları.
- **Deney Numunelerinin Kullanılacağı Ortam ve Isıtıcılar:** Ortam,Kür Havuzu, 60 ve 90 derecelik sıcak kür tankları.

Deney grubu 1, 2, 3 betonları santralden alınmıştır. Deney 1, 2 aynı zaman diliminde yapılmıştır. Deney grubu 3 ise Deney grubu 1, 2 'nin kırım sonuçlarına göre daha sonra yapılmıştır.

3.2.2 YFC'li deney grubu 1 ,2 ve 3' ün yapılışı

Deneyler çeşitli beton santralleri,projelerde yapıldı. Deney 1 ve 2 Danış beton tesislerinde, Deney Grubu 3 ise Melen Barajının olduğu ayrı bir lokasyonda yapıldı.

Deneye başlamadan önce bilgisayarda excel üzerinde basınç dayanım tabloları oluşturuldu. Grafiksel çalışmalar yapıldı.

Deney numuneleri betonu mikserlerden el arabasına ayrı ayrı alındı. Beton mikserden alınmadan önce mikserde 1 dakika boyunca karıştırıldı. Sonrasında uzman gözetiminde el arabasına döküldü.



Şekil 3.2:Beton mikserinden alınan deney grubu 1 betonu.

Şekil 3.2’ de El arabasına alınan betonlar tam homojen karışımı sağlamak için el küreği yardımıyla birkaç tur karıştırıldı. Sonrasında çökme deneyi yapıldı.

Çökme deneyi sonunda ;

Deney Grubu 1: 220 mm (S5).

Deney Grubu 2: 150 mm (S3).

Deney Grubu 3: 220 mm (S5).

3.2.3 Betonun numune kaplarına yerleştirilmesi

Beton numune kaplarına yerleştirildi. Yerleştirme sırasında betonun içinde boşluk kalmaması için içi beton doldurulan numune kapları sarsma tablasına konmuştur. Şekil 3.3’ te gösterilen betonlar mala yardımıyla düzlenmiştir.



Şekil 3.3: Sarsma tablasında beton numuneleri.

Şekil 3.4’ te numune kabına konan betonların karışmaması için Sınıfı, döküm saati konacağı ortam ve sıcaklık vb. bilgilerin gösterildiği kağıtlar betonun üzerine konur.



Şekil 3.4: Numuneler ve üzerindeki bilgi kağıtları.

3.2.4 Beton numunelerinin basınç dayanımlarının ölçülmesi

Numune kapları dışarıda , Kür ortamında 60, 90 derecelik kür tanklarında olmak üzere 4 ortamda yukarıda belirtildiği gibi 3, 7, 14, 28 ve 45 günler için bekletilir ve günü gelen numune kırılır. Basınç dayanımları belirlenir. Her bir gün ve ortam için 3

adet kırım yapılmıştır. Bu kırımların ortalama değerleri alınmıştır. şekil 3.5’ de kşr havuzunda bekleyen numuneler kırıma hazır hale gelmesi için dış ortama çıkarılır.



şekil 3.5:Kşr havuzunda bekleyen numunelerin kırıma hazır hale getirilmesi.

şekil 3.6’ da gřrřldřęő gibi beton kşp numuneleri beton test cihazında kırılır.



şekil 3.6: Kuruyan numunelerin beton test cihazında kırılması.

3.2.5 Deney grubu 1, 2 ve 3 betonlarının ortalama basınç dayanımları (MPa).

Deney Grubu 1 ve 2’ deki deneylerimiz 45 gşn sşrmşştşr. Deney Grubu 3’ teki deneylerimiz ise 28 gşn sşrmşştşr. Deneylere ait ortalama basınç dayanım sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir. D1 (250kg imento, 70 kg YFC), D2 (320 kg imento), D3 (220 kg imento, 50 kg YFC).

Çizelge 3.4:Deney grubu 1 betonlarının ortalama basınç dayanımları (MPa).

D1 Grubu	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	26,5	34,1	41,0	47,9	55,7
20 Derece	0	26,8	34,5	42,4	50,3	56,1
60 Derece	0	37,8	49,6	55,6	58,3	58,4
90 Derece	0	43,0	46,8	50,2	55,2	57,1

Çizelge 3.5: Deney grubu 2 betonlarının ortalama basınç dayanımları (MPa).

D2 Grubu	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	34,8	42,4	46,7	51,1	52,4
20 Derece	0	35,9	43,1	48,3	53,5	51,7
60 Derece	0	35,7	43,4	44,0	47,3	48,6
90 Derece	0	36,1	36,3	39,7	43,0	46,4

Çizelge 3.6: Deney grubu 3 betonlarının ortalama basınç dayanımları (MPa).

D3 Grubu	Basınç Dayanımları (MPa)									
Derece/Gün	0	2	3	7	14	15	16	17	18	28
20 Derece	0	18,3	25,9	37,5	43,0	45,0	46,0	46,0	47,0	54,9
60 Derece	0	30,9	39,3	53,7	55,1	55,2	54,2	52,9	51,2	59,2

3.3 Uçucu Küllü Beton Karışımına Giren Malzemeler

Çizelge 3.7: Deney grubu 4 (1 m³ için beton malzemeleri karışım miktarları).

Deney Grubu 4			
No	Malzeme Cinsi	Birimi	Miktarı
1	Çimento	kg	250,0
2	Uçucu Kül	kg	0,0
3	K.Kum	kg	1050,0
4	No:1	kg	376,0
5	No:2	kg	535,0
6	Katkı	kg	3,0
7	Su	kg	198,0

Çizelge 3.8: Deney grubu 5 (1 m³ için beton malzemeleri karışım miktarları).

Deney Grubu 5			
No	Malzeme Cinsi	Birimi	Miktarı
1	Çimento	kg	300,00
2	Uçucu Kül	kg	0,0
3	K.Kum	kg	1027,0
4	No:1	kg	368,0
5	No:2	kg	523,0
6	Katkı	kg	3,6
7	Su	kg	198,0

Çizelge 3.9: Deney grubu 6 (1 m³ için beton malzemeleri karışım miktarları).

Deney Grubu 6			
No	Malzeme Cinsi	Birimi	Miktarı
1	Çimento	kg	250,0
2	Uçucu Kül	kg	40,0
3	K.Kum	kg	1025,0
4	No:1	kg	367,0
5	No:2	kg	522,0
6	Katkı	kg	3,5
7	Su	kg	198,0

Çizelge 3.10: Deney grubu 7 (1 m³ için beton malzemeleri karışım miktarları).

Deney Grubu 7			
No	Malzeme Cinsi	Birimi	Miktarı
1	Çimento	kg	250,0
2	Uçucu Kül	kg	80,0
3	K.Kum	kg	999,0
4	No:1	kg	358,0
5	No:2	kg	509,0
6	Katkı	kg	4,0
7	Su	kg	198,0

Deney Grubu 4 w/c: 0,79 (Su/Çimento oranı).

Deney Grubu 5 w/c: 0,66 (Su/Çimento oranı).

Deney Grubu 6 w/c: 0,74 (Su/Çimento oranı).

Deney Grubu 7 w/c: 0,70 (Su/Çimento oranı).

3.3.1 Deney ile ilgili bilgiler

- **Deneyin Yapıldığı Tarih:** 31.03.2017 (D4, D5, D6, D7).
- **Saat:** 10:00
- **Ortam Sıcaklığı:** 12 °C.
- **Beton Sıcaklığı:** 19,6 °C (Deney Grubu 4), 19 °C (Deney Grubu 5), 19,0 °C (Deney Grubu 6), 15,9 °C (Deney Grubu 7).
- **Deney numunesinin Cinsi:** 15x15x15 cm ebatlarında küp numune kapları.
- **Deney Numunelerinin Kullanılacağı Ortam ve Isıtıcılar:** Ortam, kür havuzu, 60 ve 90 °C’de sıcak kür tankı.

3.3.2 Çökme (Slump) deneyi

Deney Grubu 4: 160 mm. (S4).

Deney Grubu 5: 165 mm. (S4).

Deney Grubu 6: 150 mm. (S3).

Deney Grubu 7: 150 mm. (S3).

3.3.3 Betonun numune kaplarına yerleştirilmesi

Beton numune kaplarına yerleştirildi. Yerleştirme sırasında betonun içinde boşluk kalmaması için içi beton doldurulan numune kapları sarsma tablasına konmuştur. Sarsılan betonlar mala yardımıyla düzlenmiştir.

3.3.4 Beton numunelerinin basınç dayanımlarının ölçülmesi

Numune kapları dışarıda , kür ortamında 60, 90 derece sıcak kür tankı olmak üzere 4 ortamda yukarıda belirtildiği gibi 3, 7, 14, 28 ve 45 günler için bekletilir ve günü gelen numune kırılır. Basınç dayanımları belirlenir. Her bir gün ve ortam için 3 adet kırım yapılmıştır. Bu kırımların ortalama değerleri alınmıştır.

3.3.5 Deney grubu 4, 5, 6, 7 betonlarının ortalama basınç dayanımları

Çizelge 3.11, çizelge 3.12, çizelge 3.13, çizelge 3.14’ te betonların dış ortam ve 20 , 60, 90 derecelerde 3, 7, 14, 28 ve 45 günlük ortalama basınç dayanımları verilmiştir. Sırasıyla D4 deney grubu 4 olup 250 kg/m³ çimentolu uçucu külsüz betondur. D5 deney grubu 5 olup 300 kg/m³ çimentolu uçucu külsüz betondur. D6 deney grubu 6 olup 250 kg/m³ çimentolu , 40 kg/m³ uçucu küllü betondur. D7 deney grubu 7 olup 250 kg/m³ çimentolu , 80 kg/m³ uçucu küllü betondur.

Çizelge 3.11: Deney grubu 4 (250 kg/m³ çimento, uçucu külsüz) betonlarının ortalama basınç dayanımları (MPa).

D4 Grubu	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	20,8	21,2	23,2	24,7	25,8
20 Derece	0	22,5	27,4	29,3	31,6	32,7
60 Derece	0	21,4	24,5	25,9	28,5	29,2
90 Derece	0	20,6	23,1	22,1	24,3	24,7

Çizelge 3.12: Deney grubu 5 (300 kg/m³ çimento, uçucu külsüz) betonlarının ortalama basınç dayanımları (MPa).

D5 Grubu	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	28,0	30,4	32,8	33,2	34,8
20 Derece	0	32,2	36,2	39,2	42,2	46,5
60 Derece	0	29,4	34	34,2	37,5	43,3
90 Derece	0	27,3	30,5	30,3	34,7	36,5

Çizelge 3.13: Deney grubu 6 (250 kg/m³ çimento, 40 kg/m³ uçucu kül) betonlarının ortalama basınç dayanımları (MPa).

D6 Grubu	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	22,1	24,6	26,0	29,7	32,7
20 Derece	0	22,4	29,9	32,5	35,1	38,5
60 Derece	0	26,0	31,4	31,1	38,4	41,2
90 Derece	0	22,6	25,6	27,1	36,4	39,8

Çizelge 3.14: Deney grubu 7 (250 kg/m³ çimento, 80 kg/m³ uçucu kül) betonlarının ortalama basınç dayanımları (MPa).

D7 Grubu	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	24,7	26,4	28,9	31,1	33,5
20 Derece	0	25,4	28,9	33,6	37,2	39,2
60 Derece	0	32,2	36,7	38,4	41,0	44,8
90 Derece	0	27,0	27,6	31,2	39,8	43,7

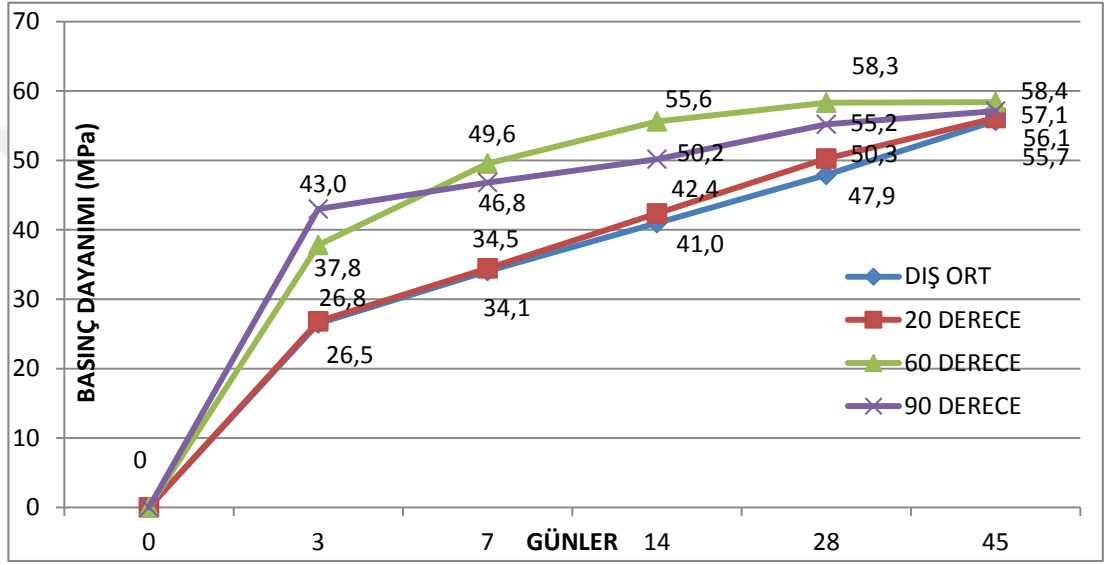


4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Deney Grubu 1, 2, 3' e Ait Sonuçlar

4.1.1 Deney grubu 1'e ait sonuçlar (250kg/m³ Çimento , 70 kg YFC)

Şekil 4.1' de Deney grubu 1 betonlarının günlere bağlı basınç dayanımları değişimi verilmiştir.



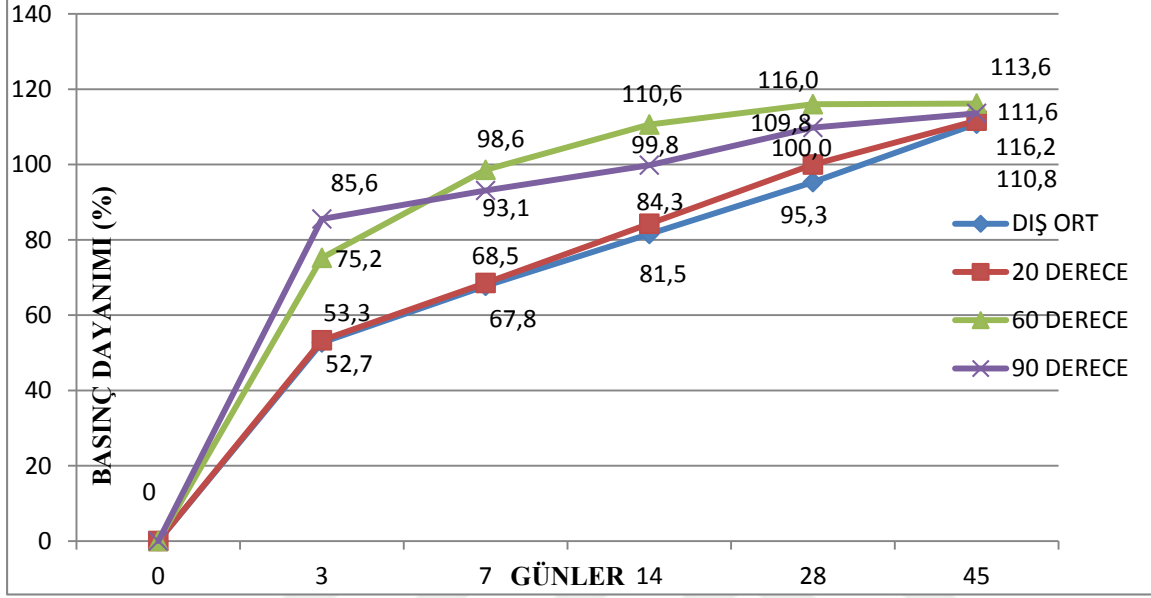
Şekil 4.1: Deney grubu 1' in dış ortamda, 20, 60, 90 derecelerde ortalama basınç dayanımlarının günlere bağlı değişimi.

Çizelge 4.1' de 28 günlük basınç dayanımı %100 olarak kabul edilmiştir. Diğer kırılmaların ise %100' lük değeri yakalayıp yakalamadığı yüzdesel olarak gösterilmiştir. Şekil 4.2' de ise bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: Deney grubu 1'in basınç dayanımlarının %' sel gösterimi.

%	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	52,7	67,8	81,5	95,3	110,8
20 Derece	0	53,3	68,5	84,3	100,0	111,6
60 Derece	0	75,2	98,6	110,6	116,0	116,2
90 Derece	0	85,6	93,1	99,8	109,8	113,6

250+70	DIŞ ORTAM	B1	
250+70	20 DERECE	B2	
250+70	60 DERECE	B3	
250+70	90 DERECE	B4	



Şekil 4.2: Deney grubu 1'in ortalama basınç dayanımlarının % gösterimi.

- a) Dış ortamda: Dış ortamda cürufu beton numunesi 28 günlük standart basınç dayanımını erken yakalayamamıştır.
- b) 20 derecede: 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değeri referans olarak alınır. %100 olarak kabul edilir.
- c) 60 derecede: 60 derecedeki B3 betonu 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değerini %98,6 ile 7. günde yakalamıştır.
- c) 90 derecede: 90 derecedeki B4 betonu 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değerini %99,8 ile 14. günde yakalamıştır.

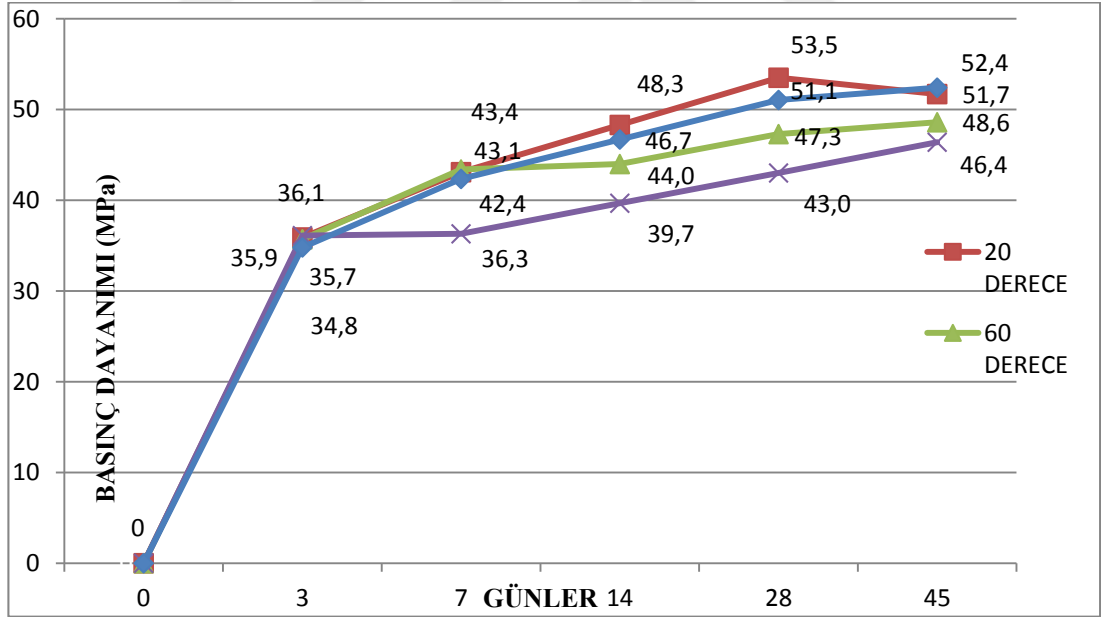
Literatür çalışmalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir [12].

- 90 derece 60 dereceye göre hem maliyetli hemde zaman kaybına sebep olmuştur. 90 derecelik betonda 60 dereceye göre %100'lük dayanım 14 günde 7 gün geç yakalanmıştır.
- 7 günden sonra en yüksek basınç dayanımı bütün günlerde 60 derecede ısıtılan betonlarda elde edilmiştir.

- Dış ortamdaki betonun %100 dayanımı geç yakalmasının sebebi betonun dış ortamdan olumsuz etkilenmesi olarak açıklanabilir.
- 3 günlük beton numunelerde en yüksek basınç dayanımını %85,6 ile B4 betonu, en düşük basınç dayanımını ise %52,7 ile dış ortamdaki B1 betonu elde etmiştir.
- 7 günlük beton numunelerde en yüksek basınç dayanımını %98,6 ile 60 derecede ısıtılan B3 betonu, en düşük basınç dayanımını ise %67,8 ile dış ortamdaki B1 betonu elde etmiştir.
- 28 günlük beton numunelerde en yüksek basınç dayanımını %116,0 ile B3 betonu, en düşük basınç dayanımını ise % 95,3 ile dış ortamdaki B1 betonu elde etmiştir.

4.1.2 Deney grubu 2' e ait sonuçlar ve numunelerin basınç dayanımlarının güne bağlı değişimi (320 kg/m³ çimento, cürufsuz beton).

Şekil 4.3'de Deney grubu 2 betonlarının günlere bağlı basınç dayanımları değişimi verilmiştir.



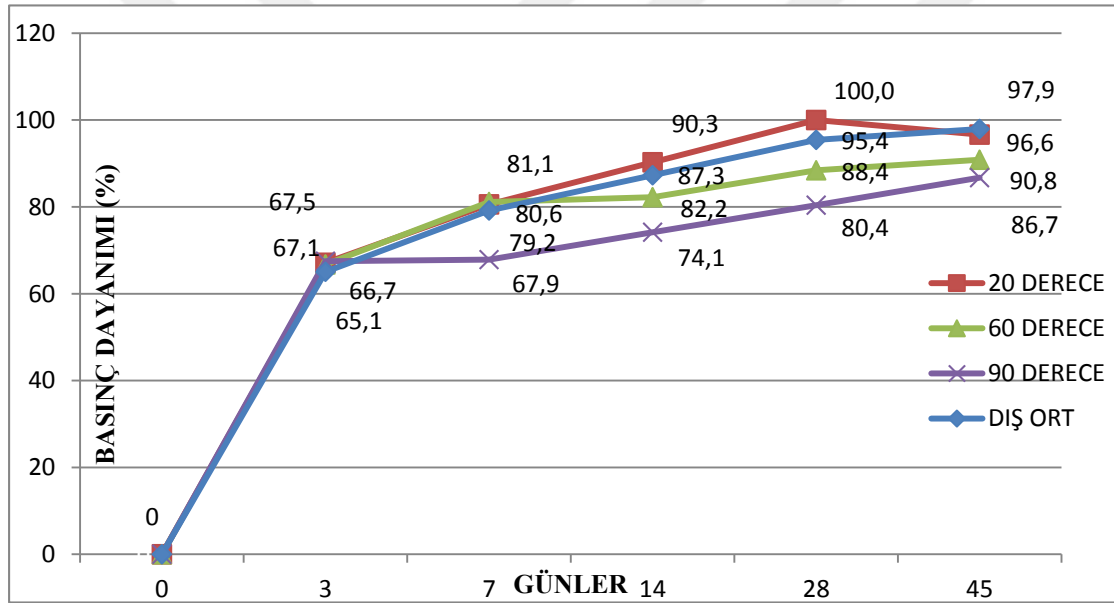
Şekil 4.3: Deney grubu 2'nin ortalama basınç dayanımlarının gösterimi.

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.4' de Deney grubu 2 betonlarının günlere bağlı basınç dayanımlarının %'sel değişimi verilmiştir.

Çizelge 4.2: Deney grubu 2'nin basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.

%	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	65,1	79,2	87,3	95,4	97,9
20 Derece	0	67,1	80,6	90,3	100,0	96,6
60 Derece	0	66,7	81,1	82,2	88,4	90,8
90 Derece	0	67,5	67,9	74,1	80,4	86,7

320+0	DIŞ ORTAM	B1	
320+0	20 DERECE	B2	
320+0	60 DERECE	B3	
320+0	90 DERECE	B4	



Şekil 4.4: Deney grubu 2' nin ortalama basınç dayanımlarının % gösterimi.

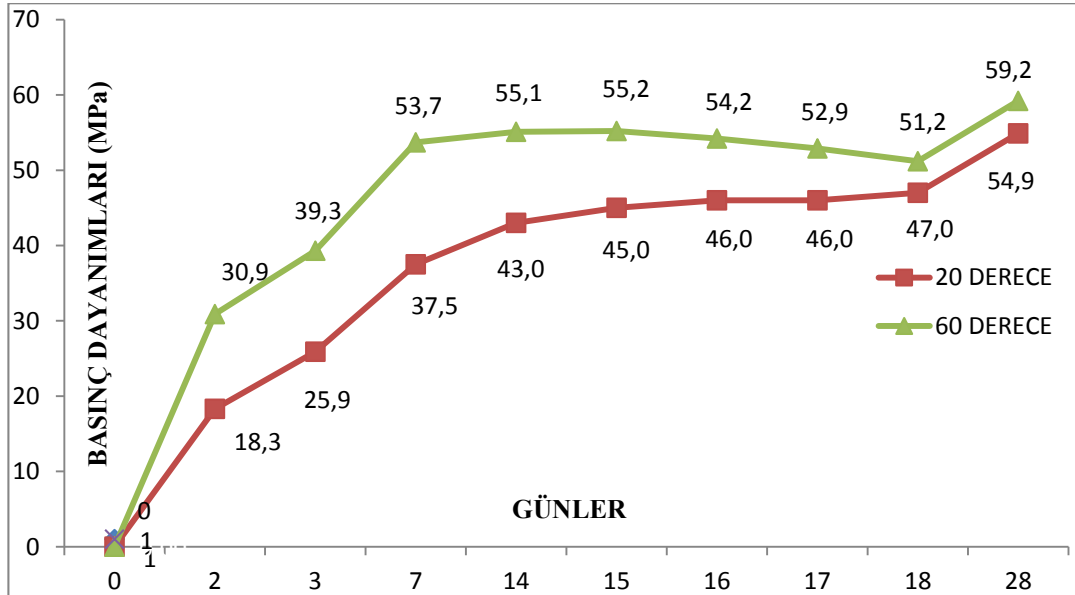
- Dış ortamda: Dış ortamdaki betonun %100 dayanımı geç yakalmasının sebebi betonun dış ortamdan olumsuz etkilenmesi olarak açıklanabilir.
- 20 derecede: 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değeri referans olarak alınır. % 100 olarak kabul edilir.
- 60 derecede: 60 derecedeki B3 betonu 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değerini 45 günde yakalayamamıştır.
- 90 derecede: 90 derecedeki B4 betonu 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değerini 45 günde yakalayamamıştır.

Literatür çalışmalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir [12].

- Saf çimentolu betonlarda ısıtıcı kullanılmasının erken dayanım elde etmeye faydası yoktur.
- 7, 14 ve 28. günlerde en yüksek basınç dayanımı kür ortamındaki betonlarda elde edilmiştir.
- 3 günlük beton numunelerde en yüksek basınç dayanımını %67,5 ile B4 betonu, en düşük basınç dayanımını ise %65,1 ile dış ortamdaki B1 betonu elde etmiştir.
- 14 günlük beton numunelerde en yüksek basınç dayanımını %90,3 ile 20 derecede ısıtılan B2 betonu, en düşük basınç dayanımını ise %74,1 ile 90 derecedeki ısıtıcıdaki B4 betonu elde etmiştir.
- 28 günlük beton numunelerde en yüksek basınç dayanımını %100 ile 20 derecedeki B2 betonu, en düşük basınç dayanımını ise % 80,4 ile 90 derecedeki B4 betonu elde etmiştir.

4.1.3 Deney grubu 3'e ait sonuçlar ve numunelerin basınç dayanımlarının güne bağlı değişimi

Şekil 4.5'te Deney grubu 3 betonlarının günlere bağlı basınç dayanımları değişimi verilmiştir.



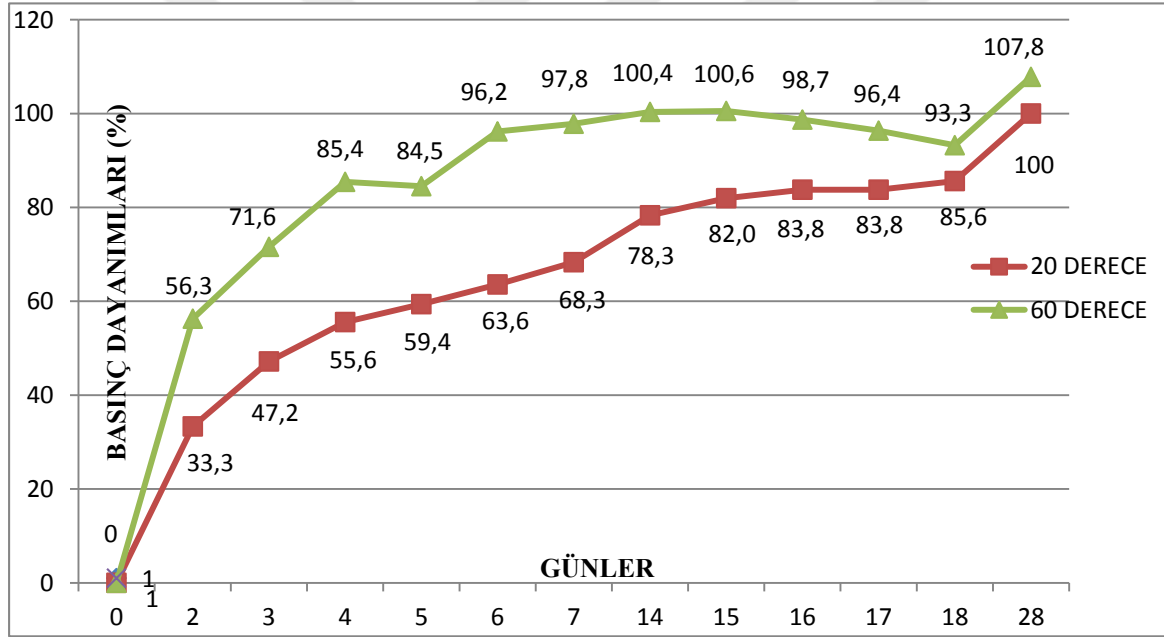
Şekil 4.5: Deney grubu 3'ün ortalama basınç dayanımlarının gösterimi.

Çizelge 4.3’ de 20 derecede 28 günlük basınç dayanımı %100 olarak kabul edilmiştir. Diğer kırımaların ise %100’ lük değeri yakalayıp yakalamadığı yüzdesel olarak gösterilmiştir. Şekil 4.6’ da ise bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.3: Deney grubu 3’ün basınç dayanımlarının %’ sel gösterimi

%	Basınç Dayanımları (MPa)									
Gün	0	2	3	7	14	15	16	17	18	28
20 Derece	0	33,3	47,2	68,3	78,3	82,0	83,8	83,8	85,6	100
60 Derece	0	56,3	71,6	97,8	100,4	100,6	98,7	96,4	93,3	107,8

220+50	20 DERECE	B2	
220+50	60 DERECE	B3	



Şekil 4.6: Deney grubu 3’ün ortalama basınç dayanımlarının %’ sel gösterimi.

- 20 derecede: 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değeri referans olarak alınır. %100 olarak kabul edilir.
- 60 derecede: 60 derecedeki B3 betonu 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanım değerini %97,8 ile 7. günde yakalamıştır.

Literatür çalışmalarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir [12].

- 7 günden sonra en yüksek basınç dayanımı bütün günlerde 60 derecede ısıtılan

betonlarda elde edilmiştir.

- Deney 1’deki çalışmada 90 derecelik sıcak kürün gereksiz olduğu anlaşıncı bu çalışmada sadece 60 derecelik sıcak kürde uygulama yapılmıştır.

4.1.4 D1 ve D2’nin karşılaştırılması

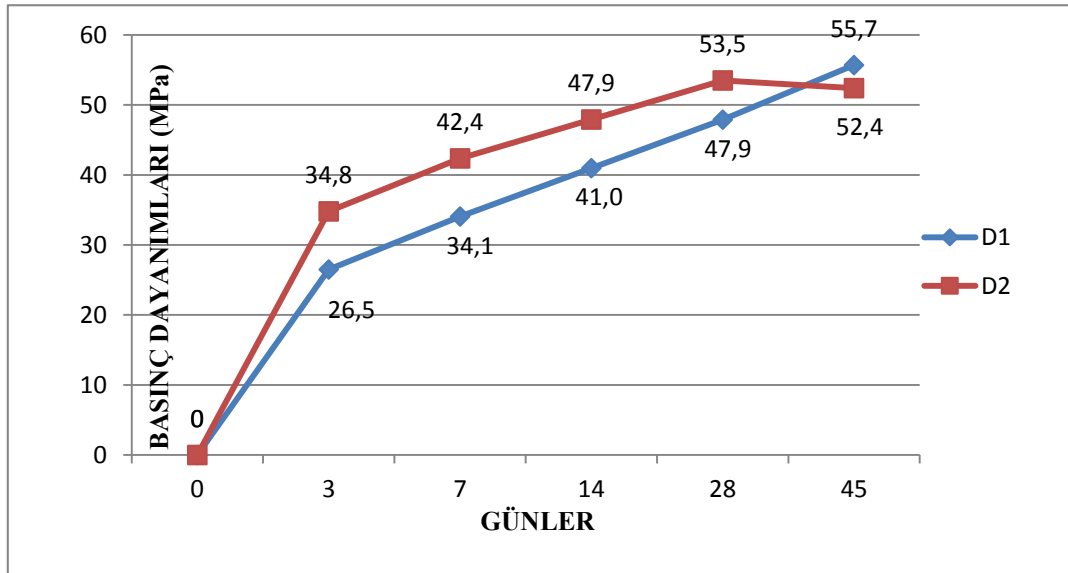
Aşağıda çizelge 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10’ da D1 ve D2’ nin aynı koşullarda basınç dayanımları gösterilmiştir.

4.1.4.1 Dış ortamda D1 ve D2’nin karşılaştırılması

Çizelge 4.4: D1 ve D2’ nin dış ortamda basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

250+70	Deney Grubu	1	D1	
320	Deney Grubu	2	D2	

	Basınç Dayanımları (MPa)					
Gün	0	3	7	14	28	45
D1	0	26,5	34,1	41,0	47,9	55,7
D2	0	34,8	42,4	47,9	53,5	52,4



Şekil 4.7: D1 ile D2’ nin dış ortamda basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

- Cürüflu beton mukavemeti 3 günlükken cürufsuz betona göre mukavemet

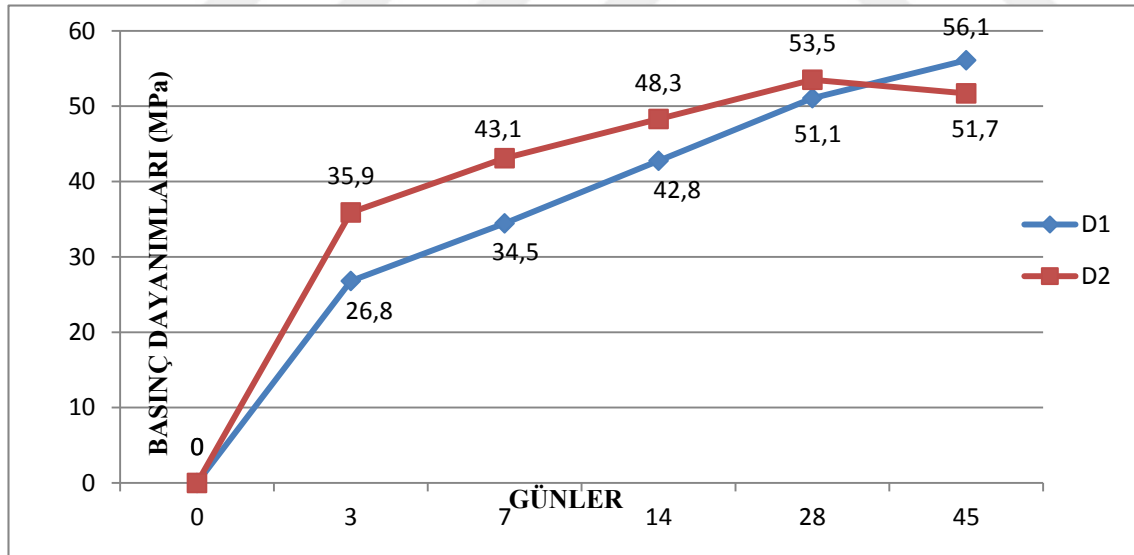
değeri daha düşüktür. Aradaki fark 8,3 MPa dır. ($D2 > D1$)

- 7. güne geldiğimizde bu fark 8,3 MPa dır. ($D2 > D1$)
- 14. günde bu fark 6,95 MPa'a kadar düşmüştür. ($D2 > D1$)
- 28. günde bu fark 5,6 MPa'a kadar düşmüştür. ($D2 > D1$)
- 45. günde cürufllu beton mukavemeti cürufsuz betonu geçmiştir. ($D1 > D2$)
- 45. Günde cürufllu beton 55,7 MPa iken cürufsuz beton 52,4 MPa'dır. Fark 3,3 MPa' dır.
- Cüruflla yapılan beton başlangıçta daha az mukavemet değerine sahip olmasına rağmen gün geçtikçe cürufuz betonun mukavemet değerine yaklaşmıştır.

4.1.4.2 20 °C' de D1 ve D2' nin karşılaştırılması

Çizelge 4.5: D1 ve D2' nin 20°' de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

	Basınç Dayanımları (MPa)					
Gün	0	3	7	14	28	45
D1	0	26,8	34,5	42,8	51,1	56,1
D2	0	35,9	43,1	48,3	53,5	51,7



Şekil 4.8: D1 ile D2' nin 20 °C' de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

- Cürufllu beton mukavemeti 3 günlük iken cürufsuzu göre daha düşüktür. Aradaki fark 9,1 MPa' dır. ($D2 > D1$)

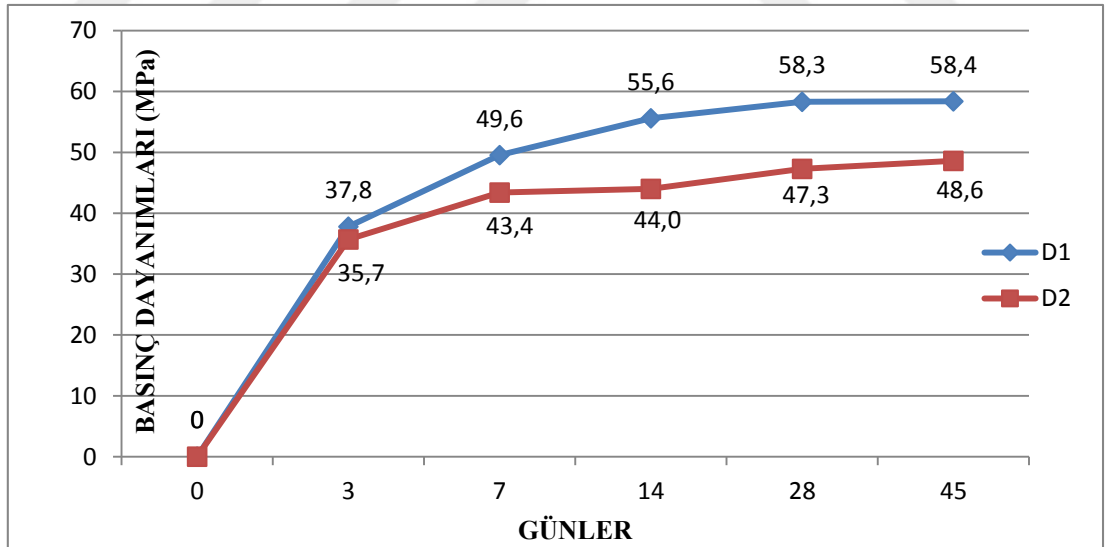
- 7. güne geldiğimizde bu fark 8,65 MPa dır. (D2>D1)
- 14. günde bu fark 5,55 MPa'a kadar düşmüştür. (D2>D1)
- 28. günde bu fark 2,45 MPa'a kadar düşmüştür. (D2>D1)
- 45. günde cürufllu beton mukavemeti cürufsuz betonu geçmiştir. (D1>D2)

Cüruflla yapılan beton başlangıçta daha az mukavemet değerine sahip olmasına rağmen gün geçtikçe cürufsuz betonun mukavemet değerini yakalamıştır. 45. günde geçmiştir. Kür havuzunda uygun koşullarda kalan D1 betonu dış koşullardaki D1 betonuna göre daha çabuk D2 beton mukavemetine yaklaşmıştır.

4.1.4.3 60 °C’de D1 ve D2’nin karşılaştırılması

Çizelge 4.6: D1 ve D2’nin 60°’de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

	Basınç Dayanımları (MPa)					
Gün	0	3	7	14	28	45
D1	0	37,8	49,6	55,6	58,3	58,4
D2	0	35,7	43,4	44,0	47,3	48,6



Şekil 4.9: D1 ile D2’nin 60 °C’de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

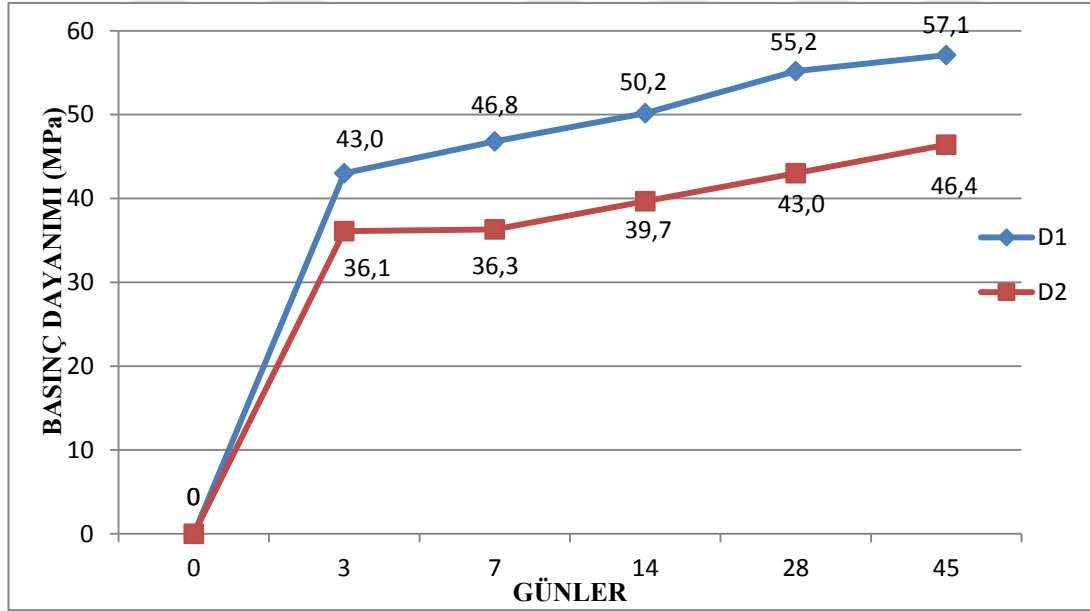
- 3 günde sıcaklığın artması uygun kür koşullarında bekleyen D1 betonunun mukavemetinin 0 ve 20 derecede bekleyen betonların aksine saf çimentolu D2 betonuna göre daha yüksek çıkmasını sağlamıştır. Fark 2,1 MPa dır. (D1>D2)
- 7. güne geldiğimizde bu fark 6,15 MPa dır. (D1>D2)

- 14. günde bu fark 8,8 MPa' ya kadar artmıştır. (D1>D2)
- Hızlandırılmış kür cürüflü betonlarda daha hızlı mukavemet artışını sağlamıştır.
- Çimentolu betonda ise mukavemet değeri artımını yavaşlatmıştır. (20 derecede 14 günde 48,3 MPa iken, 60 derecede bu değer 14 gün için 43,7 MPa' ya düşmüştür.)

4.1.4.4 90 °C' de D1 ve D2' nin karşılaştırılması

Çizelge 4.7: D1 ve D2'nin 90°'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

	Basınç Dayanımları (MPa)					
Gün	0	3	7	14	28	45
D1	0	43,0	46,8	50,2	55,2	57,1
D2	0	36,1	36,3	39,7	43,0	46,4



Şekil 4.10: D1 ile D2'nin 90 °C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

- 3.günde sıcaklığın artması uygun kür koşullarında bekleyen D1 betonunun mukavemetinin 0 ve 20 derecede bekleyen betonların aksine saf çimentolu D2 betonuna göre daha yüksek çıkmasını sağlamıştır. Fark 6,9 MPa' dır.
- 7. güne geldiğimizde bu fark 10,5 MPa dır. (D1>D2)
- 14. günde bu fark 10,51 MPa'a kadar artmıştır. (D1>D2)
- 60 derecede D1 ile D2 arasındaki fark 14. gün için 8,8 MPa iken, 90 derecede bu fark 10,50 MPa'ya yükselmiştir.
- Dikkat edilecek olursa normal kür ve dış ortamda şartlarında 28 günde elde

edilen 50 MPa değerlerine hızlı kürde 14 günde ulaşılmıştır.

- Hızlandırılmış kür cürüflü betonlarda daha hızlı mukavemet artışını sağlamıştır. Çimentolu betonda ise mukavemet değeri artımını yavaşlatmıştır. (20 derecede 14 günde 48,3 MPa iken , 90 derecede bu değer 14 gün için 39,66 MPa' ya düşmüştür.)

4.1.5 D1 ve D3'ün karşılaştırılması

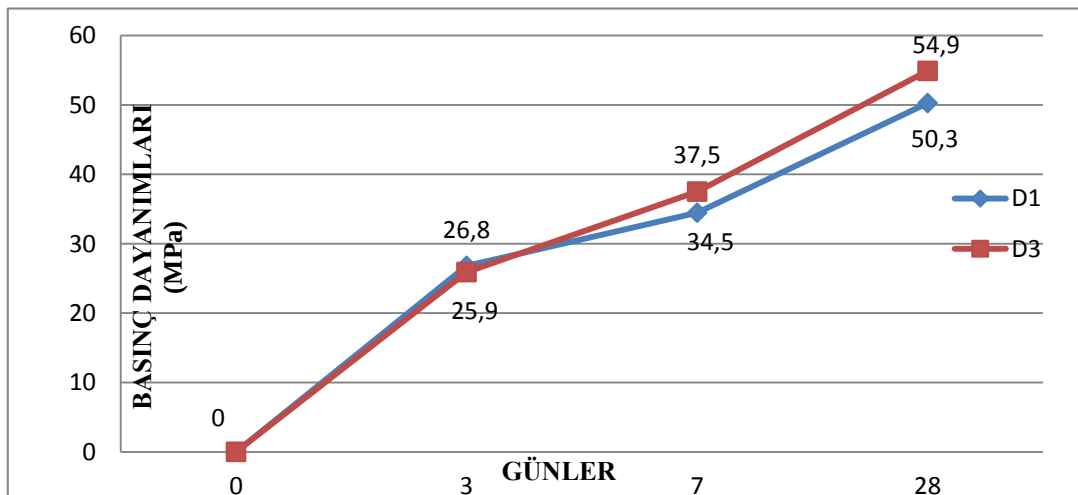
Aşağıdaki çizelge 4.8 ve 4.9 ve şekil 4.10 ve 11'de D1 ve D3' ün 20 ve 60 derecede 3-7-28 günlük ortalama basınç dayanımlarının karşılaştırılmaları verilmiştir.

4.1.5.1 20°C'de D1 ve D3'ün karşılaştırılması

Çizelge 4.8: D1 ve D3'ün 20°'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

250+70	Deney Grubu 1	D1	
220+50	Deney Grubu 3	D3	

	Basınç Dayanımları (MPa)			
Gün	0	3	7	28
D1	0	26,8	34,5	50,3
D3	0	25,9	37,5	54,9



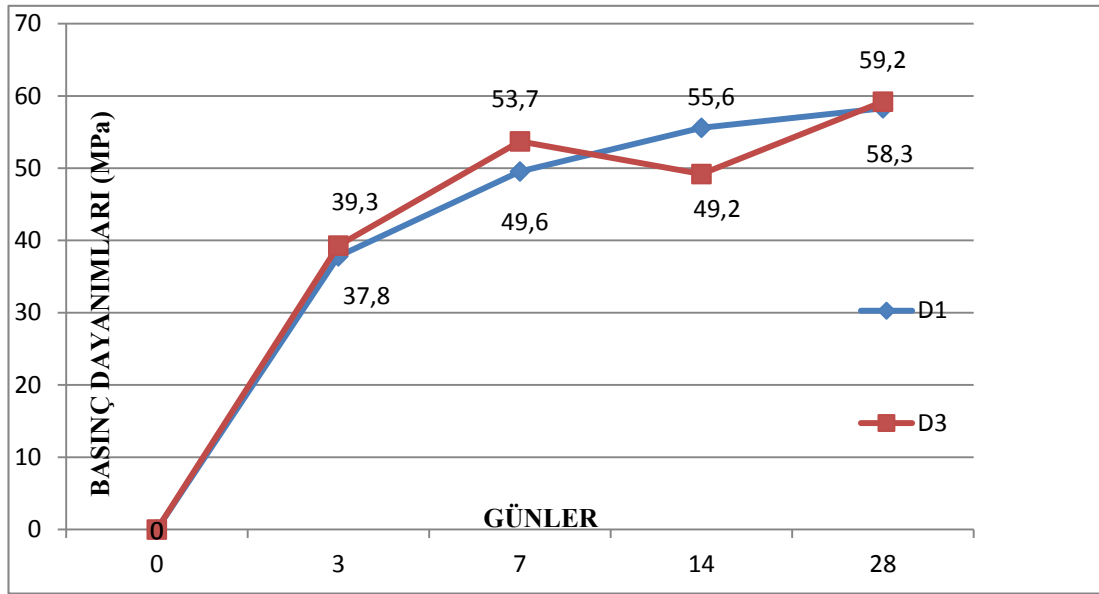
Şekil 4.11: D1 ile D3'ün 20 °C'de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

- 3 günlük betonların mukavemetleri birbirine yakındır.
- 7. ve 28.günde D3 betonu daha yüksek dayanım sağlamıştır. (D3>D1)

4.1.5.2 60 ° C’de D1 ve D3’ün karşılaştırılması

Çizelge 4.9:D1 ve D3’ün 60°’de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

	Basınç Dayanımları (MPa)				
Gün	0	3	7	14	28
D1	0	37,8	49,6	55,6	58,3
D3	0	39,3	53,7	49,2	59,2



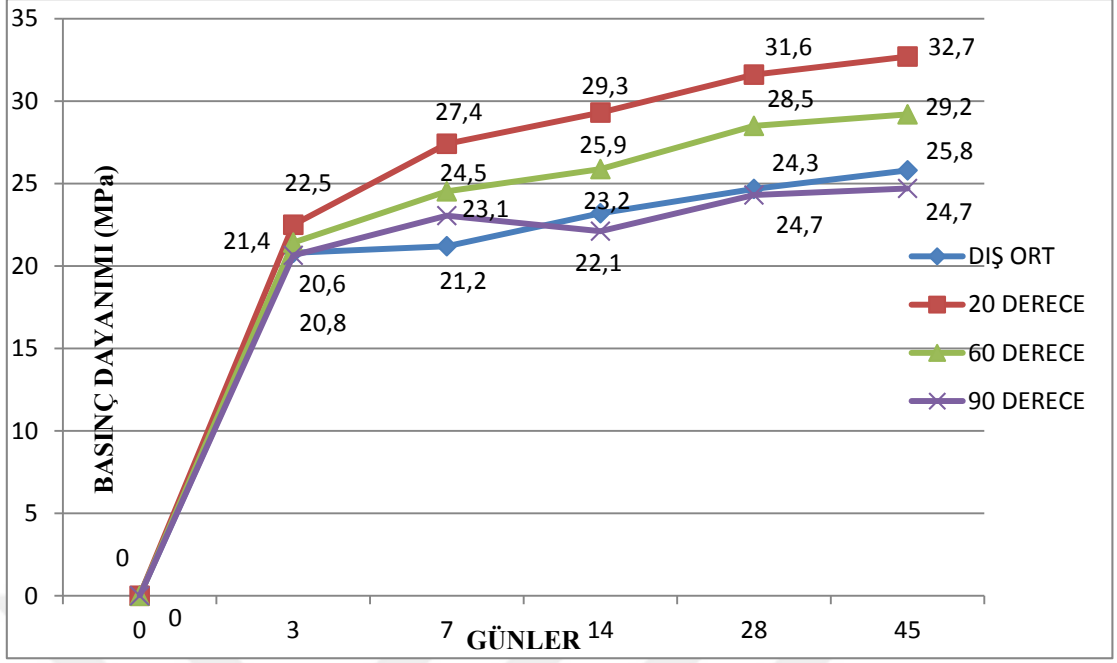
Şekil 4.12: D1 ile D3’ün 60 °C’de basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.12 ve çizelge 4.9’ da görüldüğü üzere D1 ve D3 basınç dayanımları 60 °C’ de birbirine yakındır.

4.2 Uçucu Küllü Beton Grubuna Ait Sonuçlar

4.2.1 Deney grubu 4’e ait sonuçlar (250 kg/m³ uçucu külsüz çimento)

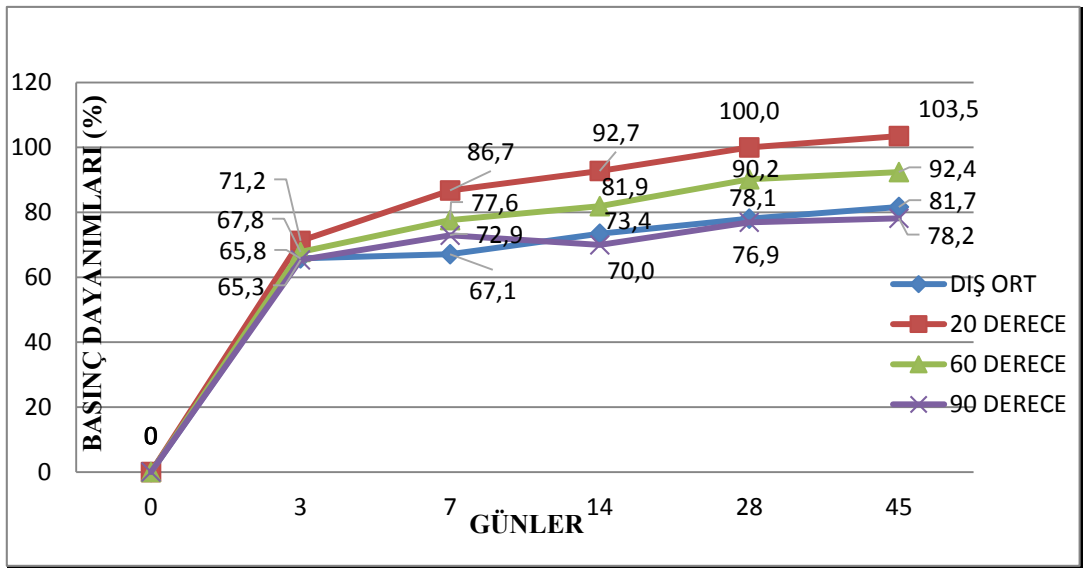
Şekil 4.13’de Deney grubu 4 betonlarının günlere bağlı basınç dayanımları değişimi verilmiştir. Çizelge 4.10’ da 20 derecede 28 günlük basınç dayanımı %100 olarak kabul edilmiştir. Diğer kırımaların ise %100’lük değeri yakalayıp yakalamadığı yüzdesel olarak gösterilmiştir. Şekil 4.14’ te ise bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.13: Deney grubu 4' ün ortalama basınç dayanımları.

Çizelge 4.10: Deney grubu 4'e ait betonların basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.

%	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	65,8	67,1	73,4	78,1	81,7
20 Derece	0	71,2	86,7	92,7	100,0	103,5
60 Derece	0	67,8	77,6	81,9	90,2	92,4
90 Derece	0	65,3	72,9	70,0	76,9	78,2



Şekil 4.14: Deney grubu 4' ün ortalama basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.

a) Dış ortamda: Dış ortamdaki betonun %100 dayanımı geç yakalmasının sebebi betonun dış ortamdan olumsuz etkilenmesi olarak açıklanabilir.

b) 20 derecede: 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değeri referans olarak alınır. %100 olarak kabul edilir.

c) 60 derecede: 60 derecedeki B3 betonu 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değerini 45 günde yakalayamamıştır.

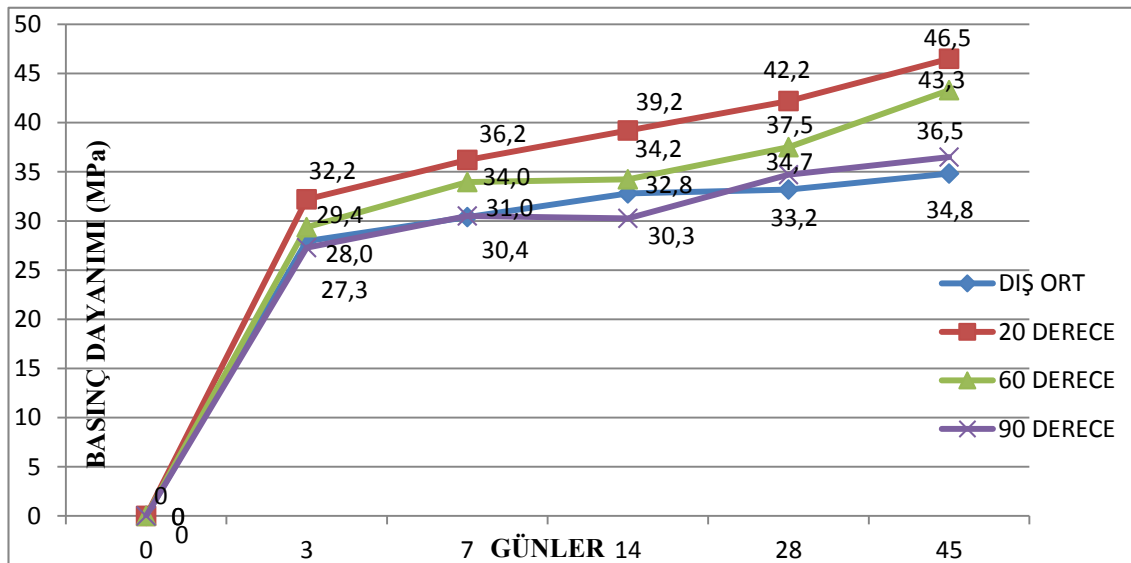
c) 90 derecede: 90 derecedeki B4 betonu 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değerini 45 günde yakalayamamıştır.

Literatür çalışmalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir [12].

- Saf çimentolu betonlarda ısıtıcı kullanılmasının erken dayanım elde etmeye faydası yoktur.
- 7. günde en yüksek basınç dayanımı bütün günlerde 20 derecede ısıtılan betonlarda elde edilmiştir.
- 45 günde kür ortamındaki beton haricinde hiçbir beton 28 günlük kür koşullarındaki değeri elde edememiştir.

4.2.2 Deney grubu 5'e ait sonuçlar (300 kg/m³ uçucu külsüz çimento)

Şekil 4.15' de Deney grubu 4 betonlarının günlere bağlı basınç dayanımları değişimi verilmiştir.

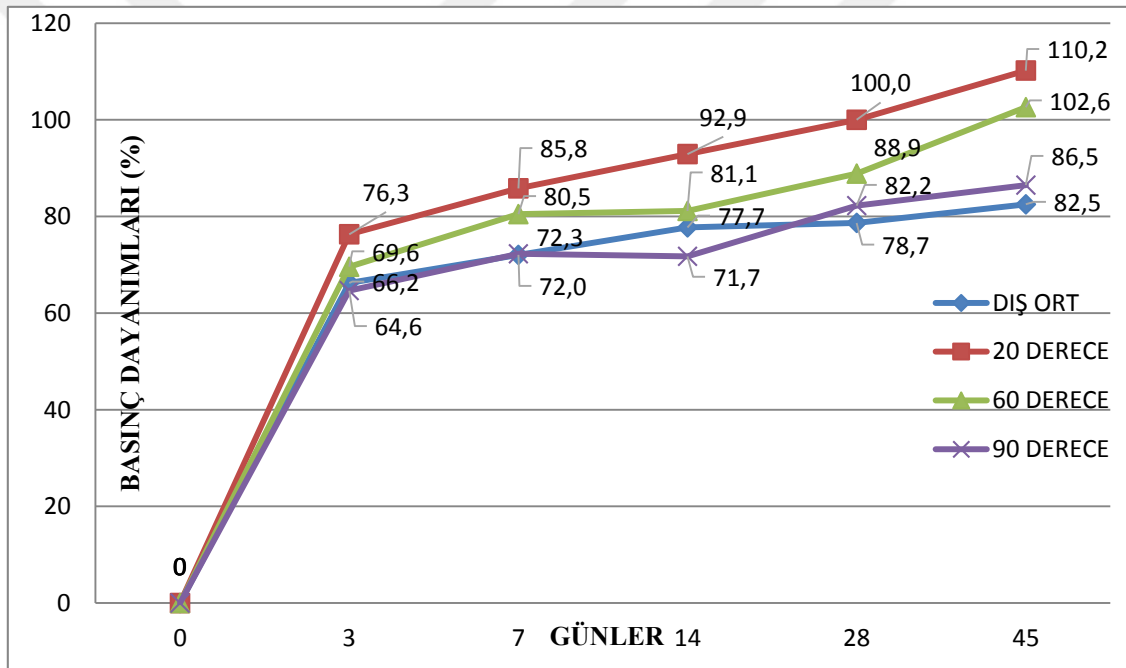


Şekil 4.15: Deney grubu 5 'in ortalama basınç dayanımları.

Çizelge 4.11’de 20 derecede 28 günlük basınç dayanımı %100 olarak kabul edilmiştir. Diğer kırımların ise %100’ lük değeri yakalayıp yakalamadığı yüzdesel olarak gösterilmiştir. Şekil 4.16’ da ise bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.11: Deney grubu 5’e ait betonların basınç dayanımlarının %’ sel gösterimi.

D5 Grubu	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	66,2	72,0	77,7	78,7	82,5
20 Derece	0	76,3	85,8	92,9	100,0	110,2
60 Derece	0	69,6	80,5	81,1	88,9	102,6
90 Derece	0	64,6	72,3	71,7	82,2	86,5



Şekil 4.16: Deney grubu 5’in ortalama basınç dayanımlarının %’ sel gösterimi.

- Dış ortamda: Dış ortamdaki betonun %100 dayanımı geç yakalmasının sebebi betonun dış ortamdan olumsuz etkilenmesi olarak açıklanabilir.
- 20 derecede: 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değeri referans olarak alınır.%100 olarak kabul edilir.
- 60 derecede: 60 derecedeki B3 betonu 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değerini 40. günlerde yakalamıştır.
- 90 derecede: 90 derecedeki B4 betonu 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı

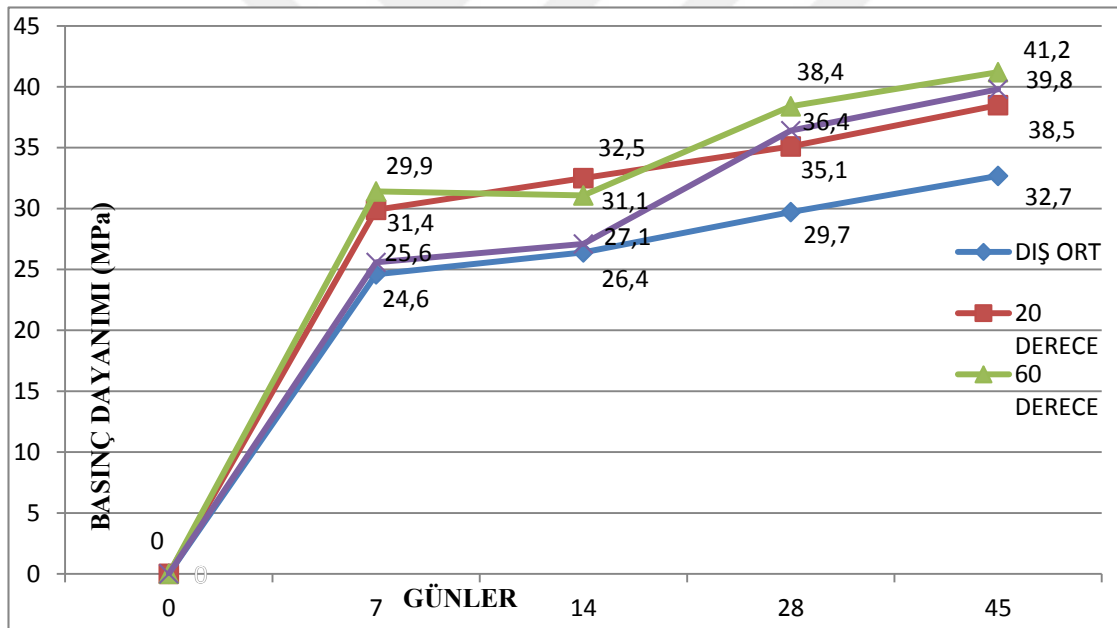
değerini 45 günde yakalayamamıştır.

Literatür çalışmalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir [12].

- Saf çimentolu betonlarda ısıtıcı kullanılmasının erken dayanım elde etmeye faydası yoktur.
- 7. günde en yüksek basınç dayanımı bütün günlerde kür ortamındaki betonlarda elde edilmiştir.
- 45.günde kür ortamındaki ve 60 derecedeki betonlar haricinde hiçbir beton numunesi 28 günlük kür koşullarındaki değeri elde edememiştir.

4.2.3 Deney grubu 6'ya ait sonuçlar (250 kg/m³ çimento,40 kg/m³ uçucu kül)

Şekil 4.17' de Deney grubu 6 betonlarının günlere bağlı basınç dayanımları değişimi verilmiştir.

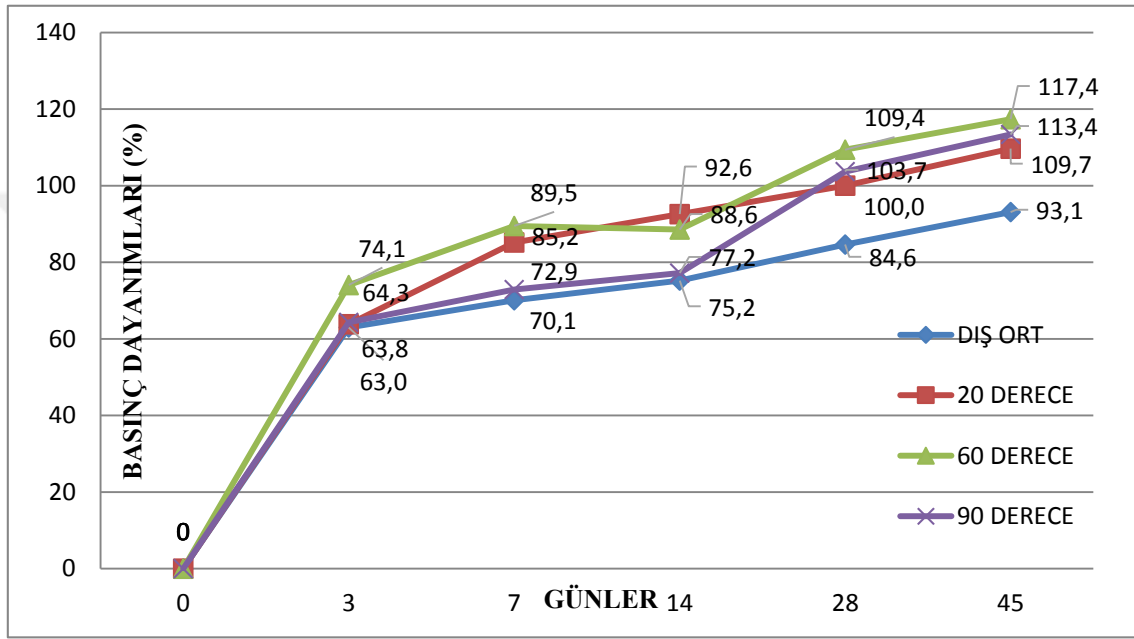


Şekil 4.17: Deney grubu 6 'nın ortalama basınç dayanımları.

Çizelge 4.12' de 20 derecede 28 günlük basınç dayanımı %100 olarak kabul edilmiştir. Diğer kırımların ise %100' lük değeri yakalayıp yakalamadığı yüzdesel olarak gösterilmiştir. Şekil 4.18' de ise bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.12: Deney grubu 6' ya ait betonların basınç dayanımlarının %' sel gösterimi.

D6 Grubu	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	63,0	70,1	75,2	84,6	93,1
20 Derece	0	63,8	85,2	92,6	100,0	109,7
60 Derece	0	74,1	89,5	88,6	109,4	117,4
90 Derece	0	64,3	72,9	77,2	103,7	113,4



Şekil 4.18: Deney grubu 6' nın ortalama basınç dayanımlarının %' sel gösterimi.

- a) Dış ortamda: Dış ortamdaki betonun %100 dayanımı geç yakalmasının sebebi betonun dış ortamdan olumsuz etkilenmesi olarak açıklanabilir.
- b) 20 derecede: 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değeri referans olarak alınır. %100 olarak kabul edilir.
- c) 60 derecede: 60 derecede 7 günde % 89,5 değerine ulaşarak %100 değeri yakalanamamıştır. 28. günde ise %109,4 değeri elde edilmiştir.
- d) 90 derecede: 90 derecede 7 günde %72,9 değer elde edilmiştir. 28. günde ise %103,7 değeri elde edilmiştir.

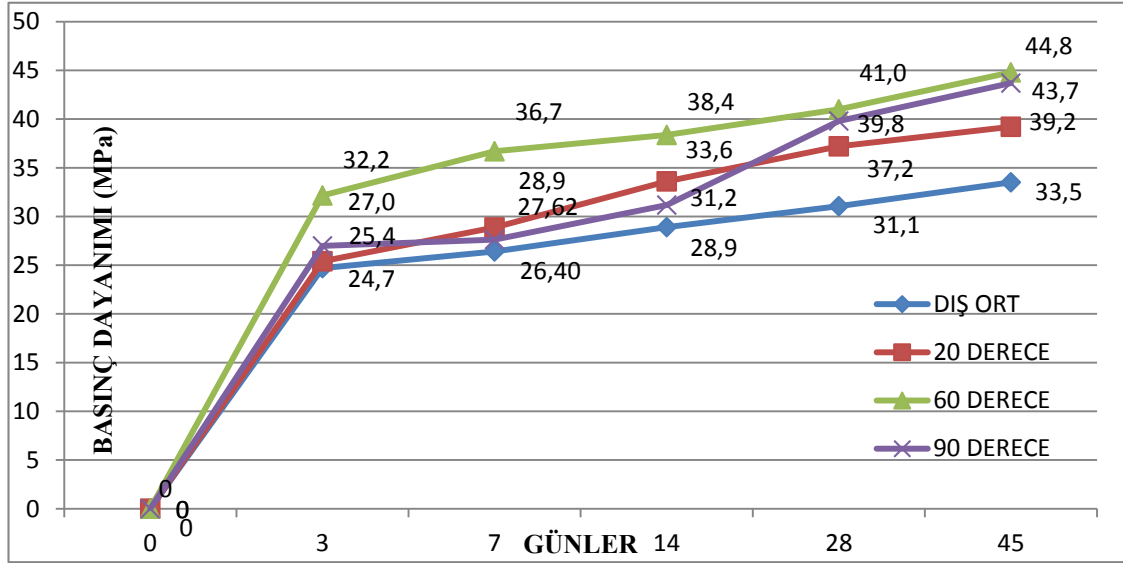
Literatür çalışmalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir [12].

- 60 veya 90 derecede hızlı kür uçucu kül oranı yetersiz ise erken dayanım yakalamada işe yaramaz.

- Erken dayanım 60 derecede 20 günden sonra yakalanmıştır. 90 derecede ise 25. günlerde elde edilmiştir.

4.2.4 Deney grubu 7' ye ait sonuçlar (250 kg/m³ çimento, 80 kg/m³ uçucu kül)

Şekil 4.19'da Deney grubu 7 betonlarının günlere bağlı basınç dayanımları değişimi verilmiştir.

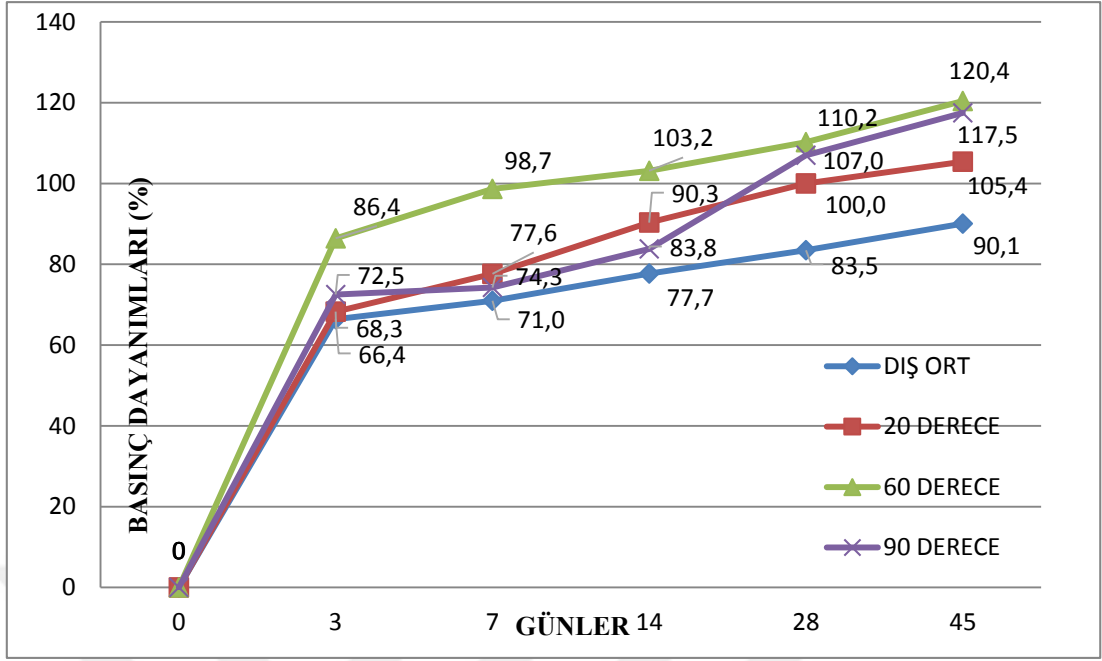


Şekil 4.19:Deney grubu 7' nin ortalama basınç dayanımları.

Çizelge 4.13'de 20 derecede 28 günlük basınç dayanımı %100 olarak kabul edilmiştir. Diğer kırımların ise %100' lük değeri yakalayıp yakalamadığı yüzdesel olarak gösterilmiştir. Şekil 4.20' de ise bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.13:Deney grubu 7'ye ait betonların basınç dayanımlarının %' sel gösterimi.

D7 Grubu	Basınç Dayanımları (MPa)					
Derece/Gün	0	3	7	14	28	45
Dış Ortam	0	66,4	71,0	77,7	83,5	90,1
20 Derece	0	68,3	77,6	90,3	100,0	105,4
60 Derece	0	86,4	98,7	103,2	110,2	120,4
90 Derece	0	72,5	74,3	83,8	107,0	117,5



Şekil 4.20: Deney grubu 7'nin ortalama basınç dayanımlarının %'sel gösterimi.

- a) Dış ortamda: Dış ortamdaki betonun %100 dayanımı geç yakalmasının sebebi betonun dış ortamdaki olumsuz etkilenmesi olarak açıklanabilir.
- b) 20 derecede: 28 günlük kür ortamındaki basınç dayanımı değeri referans olarak alınır. %100 olarak kabul edilir.
- c) 60 derecede: 60 derecede 7 günde % 98,7 değerine ulaşarak %100 değeri yakalanamamıştır. 28. günde ise %110,20 değeri elde edilmiştir.
- d) 90 derecede: 90 derecede 7 günde %74,3 değeri elde edilmiştir. 28. günde ise %107,0 değeri elde edilmiştir.

Literatür çalışmalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir [4].

- 60 derecede hızlı kür kullanılması hem maliyet hemde erken dayanım alma anlamında en etkin yöntemdir.
- 90 derecede ise 7. ve 14. günlerde erken dayanım elde edilmemiştir.
- En yüksek dayanım bütün günlerde 60 derecede ısıtılan betonlardan elde edilmiştir.

4.2.5 D4, D5, D6, D7' nin karşılaştırılması

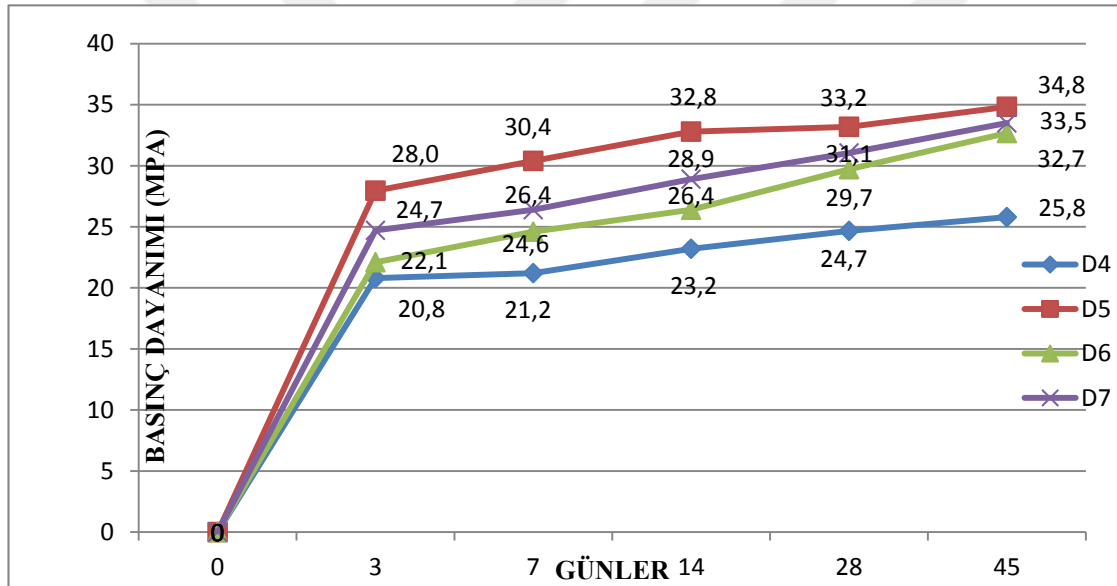
Çizelge 4.14' te deney grupları ve içerisindeki çimento uçucu kül miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.14: Deney grupları çimento-uçucu kül miktarları

Çimento (kg)	UçucuKül (kg)	Deney Adı	Kısaltması	Renklendirmesi
250	0	Deney Grubu 4	D4	
300	0	Deney Grubu 5	D5	
250	40	Deney Grubu 6	D6	
250	80	Deney Grubu 7	D7	

4.2.5.1 Dış ortamda D4, D5, D6, D7 ‘ nin karşılaştırılması

Şekil 4.21’ de D4, D5, D6, D7 deney gruplarının basınç dayanımı dış ortamda kıyaslanmıştır.

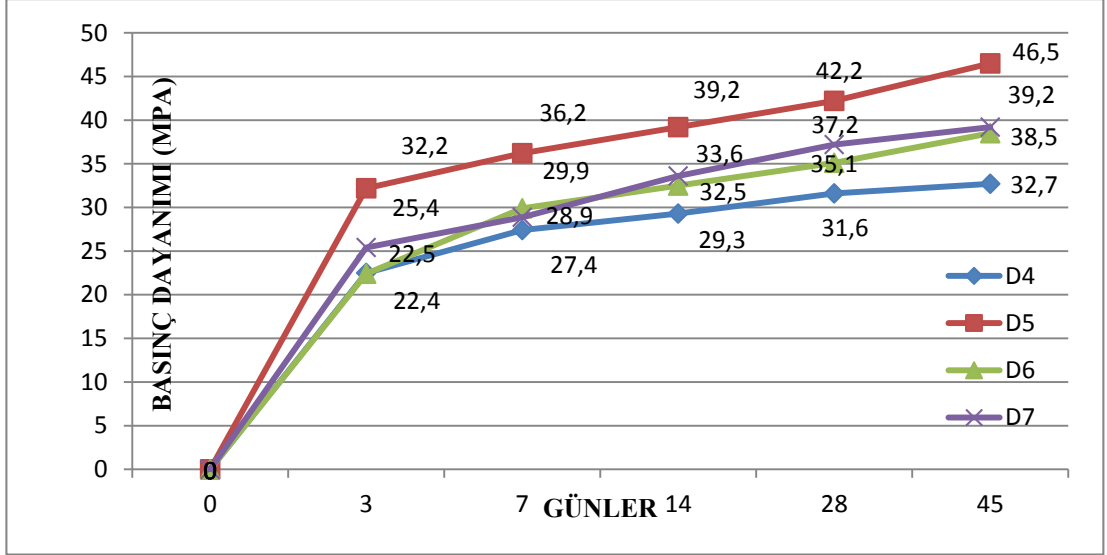


Şekil 4.21: Dış ortamda D4, D5, D6, D7‘ nin basınç dayanımları.

45 günlük D5 betonu en iyi sonucu vermiştir. 45 günlük 250 dozajlı çimentolu beton ise en düşük sonucu vermiştir.

4.2.5.2 20°C’ de D4, D5, D6, D7 ‘ nin karşılaştırılması

Şekil 4.22’ de D4, D5, D6, D7 deney gruplarının basınç dayanımı 20 °C’ de kıyaslanmıştır.



Şekil 4.22: 20°’ de D4, D5, D6, D7 ‘nin basınç dayanımları.

- 90 derecede 45 günlük 250+80 dozajlı uçucu küllü beton 39,20 MPa ile en yüksek sonucu vermiştir .
- 250 dozajlı çimentolu beton ise en düşük sonucu vermiştir.
- Başlangıçta uçucu küllü betonlar düşük basınç dayanım değerine sahipken uzun vadede çimentolu betonları geçmiştir.

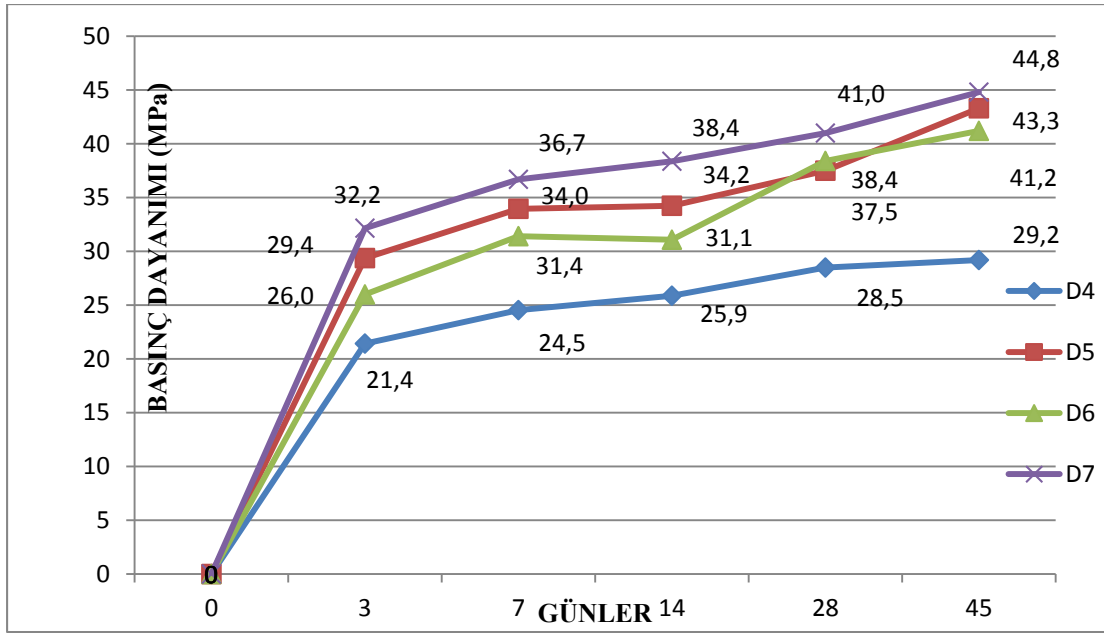
4.2.5.3 60°C’ de D4, D5, D6, D7 ‘ nin karşılaştırılması

Şekil 4.23’de D4, D5, D6, D7 deney gruplarının basınç dayanımı 60 °’de kıyaslanmıştır.

Buna göre;

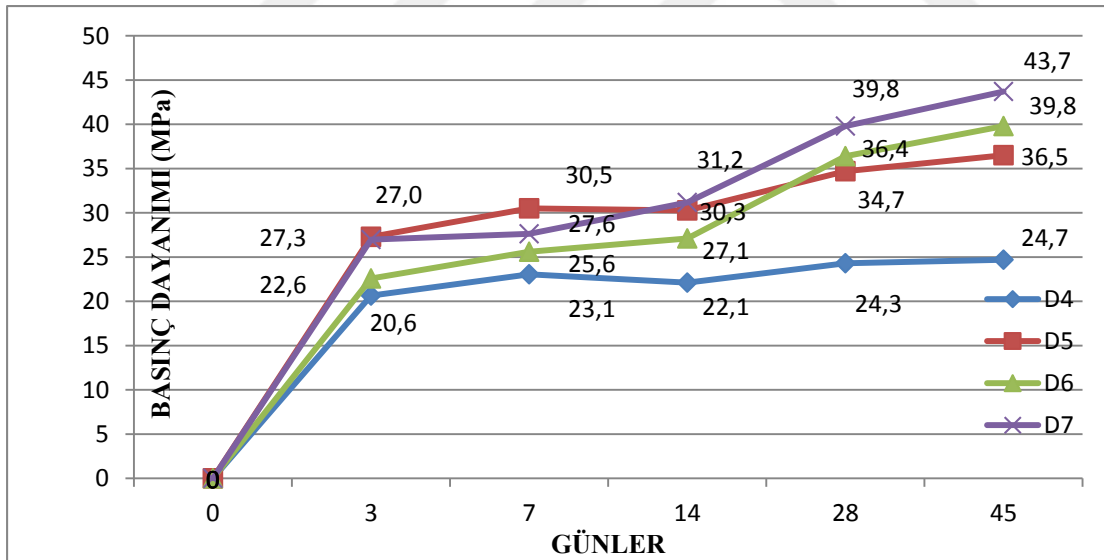
- 90 derecede 45 günlük 250+80 dozajlı uçucu küllü beton 44,80 mpa ile en yüksek sonucu vermiştir.
- 250 dozajlı çimentolu beton ise en düşük sonucu vermiştir.

Başlangıçta uçucu küllü betonlar düşük basınç dayanım değerine sahipken uzun vadede çimentolu betonları geçmiştir. Dayanım ve durabilite betonda uçucu kül ile artmıştır. Su/çimento oranı ise azalmıştır.



Şekil 4.23: 60°C 'de D4, D5, D6, D7' nin basınç dayanımları.

4.2.5.4 90°C' de D4, D5, D6, D7' nin karşılaştırılması



Şekil 4.24: 90°' de D4, D5, D6, D7 'nin basınç dayanımları.

Şekil 4.24'te 90 derecede D4, D5, D6, D7 beton gruplarının basınç dayanımları 3, 7, 14, 28, 45 süreçlerde gösterilmiştir.

- 90 derecede 45 günlük 250+80 dozajlı uçucu küllü beton 43,70 MPa ile en yüksek sonucu vermiştir.

- 250 dozajlı çimentolu beton ise en düşük sonucu vermiştir.Başlangıçta uçucu küllü betonlar düşük basınç dayanım değerine sahipken uzun vadede çimentolu betonları geçmiştir.





5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında:

Saf çimentolu betonlarda hızlandırılmış su içindeki kür ortamında tam net olarak ileri günlerdeki mukavemet tahmin edilememektedir. Isı betona mukavemeti düşürecek yönde etki vermektedir.

Cüruf , uçucu kül gibi puzolanlı çimento ile üretilen betonların ileri yaştaki mukavemetleri (28 günlük dayanımları) erken tahmin edilmektedir.

Puzolanlı normal betonlarda 28 günlük mukavemeti tahmin etmede, en uygun suda hızlı kür ortamı 60 °C olarak tespit edilmiştir. 28 günlük kür ortamındaki dayanım 60 °C’ de 7 günde tahmin edilmiştir.

90 °C’ deki hızlı kür ortamında yaklaşık 14 gün gibi daha geç günlerde mukavemet tahmin edilmektedir. Bu durum zaman kaybına yol açmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] **TOPÇU, İ. B.** (2008). Mikrodalga Kürü, İMO Teknik Dergi 4539-4544, Yazı 300,Kısa Bildiri.
- [2] **ASTM C 684-81.** (1981). "Standart Test Method for Making,Accelerated Curing and Testing Concrete Compression Test Specimens"1981 Annual Book,Part 14 pp 404-416.
- [3] **SALVADOR, M.** (2012) . Effect of Accelerated Curing on Surface Resistivity
- [4] **ERDOĞAN, T. Y.** (2004) , “ Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri” , THBB Yayınları.
- [5] **GÖNEN B. C.** (2012) , " Hazır Beton Üretiminde Kaliteyi Etkileyen Başlıca Parametrelerin İncelenmesi " .
- [6] **ACI Education Bulletin E4-12.** (2013) . "Chemical Admixture for Concrete" .
- [7] **TOKYAY, M. , ERDOĞDU, K.** (2011) , “ Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar” ,
- [8] **DEMİR, A. Yüksek Lisans Tezi.** (2005), Silis Dumanı İçeren Betonların Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini.
- [9] **Concrete International,** (1982) , McCall W. Calvin, “Energy Consumption for Curing Precast Prestressed Concrete.
- [10] **AKMAN, M. S.** (1993) , Yüksek Dayanımlı Betonların Erken Tahmini, İMO Teknik Dergi Nisan 1993 675-680 ,Yazı 52.
- [11] **GÜNDEŞLİ, U.** (2008), " Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine bir Kaynak Taraması" .
- [12] **Yıldırım, H. , ŞENGÜL Ö. , KAYA A. O.** (2015), " Determination of Ultimate Strength of Roller Compacted Concrete with Accelerated Curing" .
- [13] **ACI 517.2R-87.** (1992), American Concrete Institute, Accelerated TÇMB Yayınları.
- [14] **ASTM C 403.** (1995), Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance.
- [15] **TS 3323.** (1979), "Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Hızlandırılmış Kürü Deneyi" ,Türk Standartları Enstitüsü.



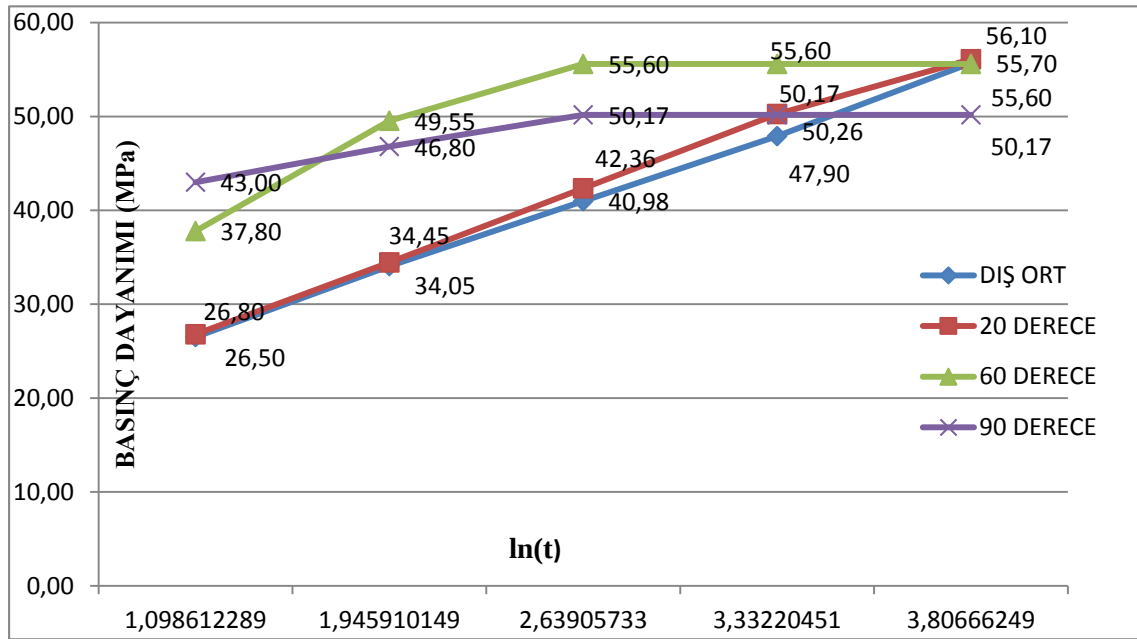
EKLER

EK A: Deney Grubu 1' e ait grafiksel alışmalar.

EK B: Deney Grubu 2' e ait grafiksel alışmalar.



EK A

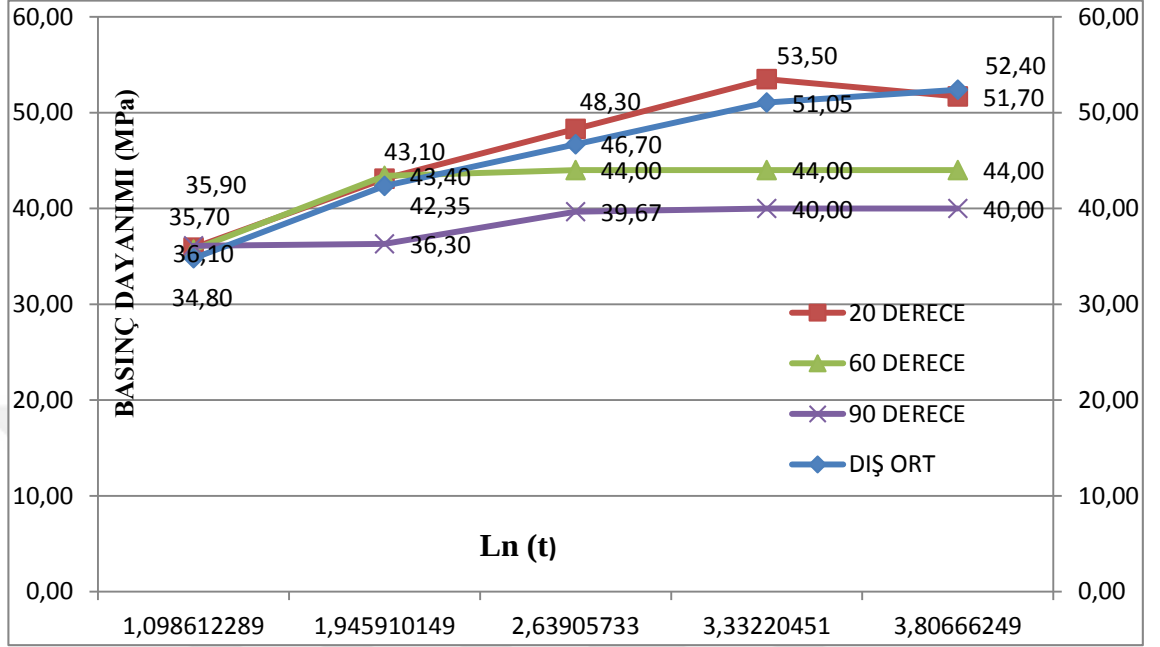


Şekil A1: Deney grubu 1 (250 kg saf çimento ve 70 kg cüruf)’ in dış ortamda, 20,60,90 derecelerde ortalama basınç dayanımlarının günlere bağlı değişimi (Ln(t)’li yaklaşım).

Çizelge A1: Deney grubu 1’ in dış ortamda,20, 60, 90 derecelerde ortalama basınç dayanımları (Ln(t)’ li yaklaşım).

	BASINÇ DAYANIMI (MPa)				
	ln3	ln7	ln14	ln28	ln45
DERECE	1,09	1,95	2,64	3,33	3,81
DIŞ ORT	26,5	34,1	40,98	47,9	55,7
20 DERECE	26,8	34,5	42,36	50,3	56,1
60 DERECE	37,8	49,6	55,60	55,6	55,6
90 DERECE	43,0	46,8	50,17	50,2	50,2

EK B



Şekil B1: Deney grubu 2 (320 kg saf çimento)' nin dış ortamda, 20, 60, 90 derecelerde ortalama basınç dayanımlarının günlere bağlı değişimi (Ln(t)'li yaklaşım).

Çizelge B1: Deney grubu 2' nin dış ortamda, 20, 60, 90 derecelerde ortalama basınç dayanımlarının günlere bağlı değişimi (Ln(t)' li yaklaşım).

	BASINÇ DAYANIMI (MPa)				
	ln3	ln7	ln14	ln28	ln45
DERECE	1,09	1,94	2,64	3,33	3,81
DIŞ ORT	34,8	42,4	46,7	51,1	52,4
20 DERECE	35,9	43,1	48,3	53,5	51,7
60 DERECE	35,7	43,4	44,0	44,0	44,0
90 DERECE	36,1	36,3	39,7	40,0	40,0



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Abdurrahim Adnan KULAKOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : Kilis-29.11.1983
E-posta : a.akulakoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2006,Balıkesir Üniversitesi,İnşaat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-2017 yıllarında Ispartakule Evleri Emlak Konut projesinde Teknik Ofis Şefliği yapıyor.
- 2014 yılında ADHK Proje İnşaat firmasını kurdu .
- 2014 yılında C sınıfı İş Güvenliği Uzmanı oldu.
- 2010-2014 yıllarında Polimeks İnşaat'ta Aşgabat'ta Milli Park Projesi,Teknolojiler Merkezi Projesi,Kültür ve Eğlence Merkezi Projesinde Teknik Ofis Şefi olarak görev yaptı.
- 2008-2010 yıllarında Rusya'da Ant Yapı firmasında Gökdelen projesinde Teknik Ofis Mühendisi olarak çalıştı.
- 2007-2008 yıllarında Makyol İnşaat'ta Ortaköy viyadüğü sismik güçlendirme çalışmalarında saha mühendisi olarak çalıştı.



