

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BUHAR KÜRÜNÜN UÇUCU KÜLLÜ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLME DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh.Abtin SHARİFİ KHİABANİ AZAR

ARALIK 2011
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI

**BUHAR KÜRÜNÜN UÇUCU KÜLLÜ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLME DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ**

Abtin SHARİFİ KHİABANİ AZAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü

"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 / 12 / 2011

Tezin Savunma Tarihi : 29 / 12 / 2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETÇİ

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Anabilim Dalında
Abtin SHARİFİ KHIABANİ AZAR tarafından hazırlanan

BUHAR KÜRÜNÜN UÇUCU KÜLLÜ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLME DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yöntemi Kurulunun 29 / 12 / 2011 gün ve 1433 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU
Üye : Doç. Dr. Tulin BALI
Üye : Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETÇİ

Prof.Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Buhar Kürünün Uçucu Küllü Kendiliğinden Yerleşen Betonların Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisi” adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır. Çalışmaya ilişkin deneyler Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Tezin konusunun seçilmesinde ve çalışmaların gerçekleşmesinde ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETÇİ’ye şükranlarımı sunarım. Değerli hocam Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU’nun görüşleri ve önerilerinden dolayı gördüğüm destekler için kendisine teşekkür ederim.

Deneylerin gerçekleştirilmesinde laboratuvarıda yardım eden arkadaşlarım Yusuf ÖZER ve Muhammet Ali YILMAZ’ a içten teşekkürlerimi sunarım.

Benimle Yüksek Lisans için yaşadığım zorluklarda ortak olarak, bu dönemi atlamamı kolaylaştıran eşim, Mina AMJAD’a da teşekkür ederim ve Türk devletine benim için eğitim imkanı yarattığından dolayı şükranlarımı sunarak minnettarlığımı bildiririm.

Abtin SHARIFI KHIABANI AZAR

Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Buhar Kürünün Uçucu Küllü Kendiliğinden Yerleşen Betonların Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisi" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Şirin Kurbetçi' nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, deneyleri ve analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 01 /12 / 2011

Abtin SHARIFI KHIABANI AZAR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON	4
2.1. KYB	4
2.2. KYB Tasarım Yöntemleri	4
2.2.1. Toz Tipi Metodu	5
2.2.2. Stabilizatör Tipi Metodu	7
2.2.3. Kombinasyon Metodu	8
2.3. KYB Üretiminde Malzeme Seçimi	9
2.3.1. Toz Maddeler	9
2.3.2. KYB de Agrega Seçimi	10
2.3.3. Kimyasal Katkıların Seçimi	11
3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARA İLİŞKİN DENEYLER.....	13
3.1. KYB nin İşlenebilirlik Faktörleri	13
3.2. KYB Taze Hal Deneyleri	14
3.2.1. Abrams Slump Flow Konisi (Çökme Yayılma) Deneyi	14
3.2.2. T50 cm Deneyi	16
3.2.3. J Halkası Deneyi	17
3.2.4. V Hunisi ve 5 Dakika Bekletilmiş V Hunisi Deneyleri	18
3.2.5. L-kutusu	19

3.2.6. U – Kutusu	20
3.2.7. Dolgu Kutusu	22
3.2.8. GTM Ekran Kararlılık Deneyi	22
3.2.9. Orimet Deneyi	23
4. UÇUCU KÜLLÜ BETONLAR	28
4.1. Uçucu Kül	28
4.2. Uçucu Küllerin Kimyasal Sınıflandırılması	29
4.3. Uçucu Külün Betona Etkisi	31
5. BETONUN KÜRÜ	34
5.1. Betonun Olgunluğu	34
5.2. Betonun Kür Süresi	35
5.3. Kür Yöntemleri	36
5.3.1. Betonu Normal Hızda Kür Yöntemler	36
5.3.1.1. Betonun Islak Durumda Kalabilmesini Sağlayan Kür Yöntemleri	36
5.3.1.2. Betonda Su Kaybını Önlemek Amacıyla Uygulanan Kür Yöntemleri	37
5.3.2. Betonun Hızlı Kür Yöntemleri	38
5.4. Buhar Kürü	40
5.4.1. Atmosferik Basıncılı Buhar Kürü	41
5.4.1.1. Hızlı Çevrim	43
5.4.1.2. Ilımlı Çevrim	43
5.4.1.3. Yumuşak Çevrim	43
5.4.2. Yüksek Basıncılı Buhar Kürü	44
6. BETONDA DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ	47
6.1. Termodinamik Denge	47
6.2. Donma-Çözülmenin Taze Betonda Etkisi	47
6.3. Sertleşmiş Betonda Donma-Çözülme	49
6.4. Sertleşmiş Betonda Donma Teorileri	50
6.4.1. Mikroskobik Buz-Lenz Büyüme Teorisi	50
6.4.2. Osmotik Basıncı Teorisi	50
6.4.3. Donma Teorisi	51
6.5. Betonun Donma Karşı Dayanıklılığı	53
6.6. Agreganın Donma-Çözülme Etkisi	55
6.7. Çimentonun Betonun Donma-Çözülme Dayanımına Etkisi	57

6.8.	Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığını Ölçmek	57
6.9.	Donma-Çözülmenin Betonda İç Etkileri	58
6.10.	Donma-Çözülme Hasarını Önlemek veya Azaltmak İçin Gerekenler	59
7.	YAYIN TARAMASI	61
8.	ÇALIŞMA PROGRAMI	69
8.1.	Çalışmanın Amacı	69
8.2.	Deney Programı	69
8.3.	Kullanılan Malzemeler ve Ekipman	71
8.3.1.	Malzemeler	71
8.3.1.1.	Agrega	71
8.3.1.2.	Çimento	73
8.3.1.3.	Uçucu kül	74
8.3.1.4.	Superakışkanlaştırıcı	74
8.3.1.5.	Su	76
8.3.2.	Kullanılan Araçlar ve Makineler	76
8.3.2.1.	Etüv	76
8.3.2.2.	Terazi	77
8.3.2.3.	Betoniyer	78
8.3.2.4.	Donma-Çözülme Cihazı	78
8.3.2.5.	Buhar Kürü Tankı	79
8.3.2.6.	Ultrases Ölçme Aparatı	80
8.3.2.7.	Beton Test Presi	80
8.4.	Üretilen Betonların Bileşimleri	81
8.5.	Donma-Çözülme Deneyi	82
8.6.	Deney Programının Gerçekleştirilmesi ve Uygulanan Deneyler	83
9.	Bulgular ve İrdeme	89
9.1.	Taze Hal Deneyleri (İşlenebilirlik Deneyleri)	89
9.2.	Sertleşmiş Beton Deneyleri	91
9.2.1.	Basınç Dayanımı	91
9.2.2.	Ağırlık Değişimi	96
9.2.3.	Ultrases Hızı	101
10.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
10.1.	Sonuçlar	105

11.	KAYNAKLAR	107
12.	Ekler	113
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BUHAR KÜRÜNÜN UÇUCU KÜLLÜ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN
DONMA-ÇÖZÜLME DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

Abtin SHARIFI KHIABANI AZAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimler Enstitüsü
İnşaat Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Şirin Kurbetçi
2011, 113 Sayfa, 12 Ek sayfa

Bu çalışmada buhar kürü uygulanmış ve uçucu küllü Kendiliğinden Yerleşen Betonların, donma-çözülme etkisine dayanıklılıkları araştırılmıştır. EFNARC komitesi standartlarına göre tasarlanan ve toz miktarı 500 kg/m^3 , 550 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 olarak, üç seri KYB üretildi ve her seride, toplam tozun % 0, % 20, % 30, % 40 ve % 50'si oranında uçucu kül ikamesile toplam 15 üretim gerçekleştirildi. Numunelerin bir kısmına yumuşak ısıtma işlemi yöntemiyle göre, buhar kürü uygulandı ve ikinci gruba standart kür uygulandı. hazırlanan numunelerin 1 ve 28 günlük basınç dayanımları değerlendirildi. Buhar kürlü numunelerin bir tanesi bir günde 100 çevrim D-Ç'ye tabi tutuldu. Bir tane buhar kürlü ve bir standart su kürü görmüş ise, 27 gün su içinde bekletildikten sonra, 28 günlüklerinde 100 çevrim D-Ç'ye tabi tutuldular. Tüm D-Ç tabi tutulan numunelerin, 25 çevrimde bir ağırlık kaybı ve ultrases hız değişimleri belirlendi ve 100 çevrim D-Ç sonunda, su içinde bekletilmiş şahit numuneleriyle birlikte basınç dayanımları değerlendirildi. Deney sonuçlarına göre uçucu küllü KYB'ler, buhar kürü uygulanması sonunda 1 günde 28 günlük dayanımlarının %40-60 arasını elde ettiler fakat 28 günde standart kür gören numunelerden daha az basınç dayanıma sahip oldular. Uçucu kül ikame miktarı arttıkça buhar kürün betona verdiği zarar azalmıştır ve Uçucu kül %40 olduğunda, D-Ç'ye karşı en yüksek direnç görüldü. Tüm KYB'lerde D-Ç ardından önemli ağırlık ve ultrases hız değişimi gözlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Buhar Kürü, Uçucu kül, Donma-Çözülme

Master Thesis

SUMMARY

THE EFFECT OF STEAM CURING ON THE FREEZE-THAW RESISTANCE OF SELF-COMPACTING
CONCRETE PRODUCED WITH FLY ASH

Abtin SHARIFI KHIABANI AZAR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst.Prof. Şirin Kurbetçi
2011, 113 Pages, 12 Appendix Pages

In this study, the effect of steam curing on the freeze-thaw resistance of SCC produced with fly ash was investigated. To accomplish this, three series of SCCs with a total amount of binder of 500 kg/m^3 , 550 kg/m^3 , and 600 kg/m^3 were produced. In each series, fly ash is substituted with cement at ratios of 0%, 20%, 30%, 40% and 50% by weight of the binder. Six of the specimens were used for steam curing. One of the specimens of steam cured is subjected to F-T for 100 cycles. The rest of the specimens were kept in standard curing condition for 27 days. At the end of 28 days of standard curing, one specimen of steam cured and one specimen of standard cured are subjected to F-T. Per 25 F-T cycles, the ultra velocities of the specimens subjected to F-T for 100 cycles were measured to monitor the mass loss and the interior damage of the specimens. At the end of F-T cycles, the compressive strength of the specimens, along with those of standard cured was determined. The steam cured SCCs at the end of one day have gained a strength of 40-60% of the 28 day of compressive strength. However, the 28 day compressive strength of steam cured specimens has been decreased compared to those of standard cured ones. As the fly ash content increased, the damage due to steam curing is decreased. At the end of 100 cycles of F-T the steam cured specimens, the least strength loss was observed in those with a fly ash substitution ratio of 40%. No significant mass loss and ultra velocity variation have been observed for all concretes.

Key Words: Self Compacting Concrete, Fly ash, Steam curing, Freezing-Thawing

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. KYB nin taze haldeyken akışkanlığının görüntüsü	1
Şekil 3.1. Yayılma tablası ve çökme konisi	16
Şekil 3.2. J Halkası aparatı	17
Şekil 3.3. V hunisi	18
Şekil 3.4. L kutusu	20
Şekil 3.5. U- kutusu	21
Şekil 3.6. Doldurma kutusu	22
Şekil 3.7. Orimet deneyi aparatı	24
Şekil 5.1. Olgunluk ve basınç dayanımının ilişkisi	35
Şekil 5.2. Göllendirme Yöntemi ile elde edilen basınç dayanımları	37
Şekil 5.3. Kür sıcaklığına bağlı olarak 1 ve 28 günlük dayanımlardaki değişim	38
Şekil 5.4. Değişik sıcaklıklarda kür edilen betonun basınç dayanımının yaşa bağlı değişimi	39
Şekil 5.5. Buhar kürü çevriminin şematik gösterimi	42
Şekil 5.6. Farklı maksimum sıcaklıklara tabi tutulan betonun yaşına göre kazandığı basınç dayanımları	44
Şekil 6.1. Boşluk çapına göre suyun donma derecesi	51
Şekil 6.2. Donma esnasında suyun kısmen buharlaşma şeması	52
Şekil 6.3. Küçük boşluklardan soğuk suyun buz oluşan boşluklara difüzyon şeması	52
Şekil 6.4. Betonda yapay olarak oluşturulmuş hava kabarcıklarının işlevi	54
Şekil 6.5. Donma-çözölmeye dayanıksız agreganın betonda kapak atmaya yol açması	56
Şekil 6.6. Kapiler porozitenin yüksek olduğu 30µm genişliğindeki çimento pastası- agrega arayüzeyi (a) , 56 D-Ç çevrimi ve buz çözücü tuzların etkisindeki çatlağın içnemesi etrenjit yapısıyla dolması (b) geçiş bölgesinde D-Ç süresince oluşan hareketlilik (c)	59
Şekil 7.1. Yazıcı.H, (2008), ürettiği KYB lerin basınç dayanımlarının grafiği	65
Şekil 7.2. Uçucu külün oranı	67
Şekil 8.1. Kullanılan agreganın granülometri eğrisi	72
Şekil 8.2. Üretimlerimizde kullanılan GLENİUM C 303 superakışkanlaştırıcı	76
Şekil 8.3. Deneylerde kullanılan etüv	76
Şekil 8.4. METTLER marka terazi	77

Şekil 8.5. RADWAY markalı terazi	77
Şekil 8.6. KTÜ Yapı ve Yapı malzemesi laboratuvarında var olan NACE markalı eğik eksenli betoniyer	78
Şekil 8.7. KTÜ Yapı ve Malzeme laboratuvarında var olan donma-çözülme makinesi	79
Şekil 8.8. Buhar tankı.....	79
Şekil 8.9. Ultrases cihazı	80
Şekil 8.10. Beton test presi	80
Şekil 8.11. Üretilen KYB lerin taze hal deneylerini	83
Şekil 8.12. Hazırlanan KYB lerin kalıplara yerleştirilmesi	84
Şekil 8.13. Uygulanan ısı işlem çevrimi	85
Şekil 8.14. Buhar kürü tankına numune yerleştirme	85
Şekil 8.15. Numunelerin hava püskürterek kalıptan çıkarması	86
Şekil 8.16. Numunelerin tartılması	86
Şekil 8.17. Basınç dayanımının uygulamasının belirlenmesi	87
Şekil 8.18. KTÜ, Yapı ve Yapı malzemesi laboratuvarının, kür havusuna, deneyler hazırlanan KYB lerin yerleştirilmesi	88
Şekil 9.1. Üretilen betonların V hunisinden geçiş sürelerinin değişimi	89
Şekil 9.2. Üretilen betonların çökme yayılma değerlerinin değişimi	90
Şekil 9.3. Üretilen betonların T50 deneyinde,geçen sürelerinin değişimi	90
Şekil 9.4. Buhar kürü görmüş ve görmemiş bir günlük numunelerin basınç dayanımları oranı	92
Şekil 9.5. Buhar kürü görmüş numunelerin, bir günlük basınç dayanımının 28 günlük standart su kürü görmüş numunelerin basınç dayanımına oranı	93
Şekil 9.6. Havada bekletilmiş numunelerin, bir günlük basınç dayanımının 28 gün standart su kürü görmüş numunelerin basınç dayanımına oranını	93
Şekil 9.7. Buhar kürlü numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının standart kürlü 28 günlük dayanımlara oranı	94
Şekil 9.8. Buhar kürü uygulamasının ardından uygulanan 100 çevrim D-Ç sonundaki basınç dayanımlarının, şahit numunelerin basınç dayanımlarına oranı	95
Şekil 9.9. 27 gün standart kürden sonra 100 devir D-Ç çevrimi uygulanan numunelerin basınç dayanımlarının şahit numunelerin dayanımlarına oranları	96
Şekil 9.10. Bir günlükte donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerde 50 çevrim sonunda numune ağırlık oranlarındaki değişim	97
Şekil 9.11. Bir günlük donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerde 100 çevrim donma çözölme sonrasında numune ağırlık oranlarındaki değişim	97

Şekil 9.12. Bir günlük donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerde 100.çevrim ağırlığı/50. çevrim ağırlığı	98
Şekil 9.13. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 25 çevrim sonundaki ağırlığının 28 günlük ağırlığa oranı	99
Şekil 9.14. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 50 çevrim sonundaki ağırlığının 28 günlük ağırlığa oranı	100
Şekil 9.15. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 100 çevrim sonundaki ağırlığının 28 günlük ağırlığa oranı	101
Şekil 9.16. Bir günlük donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerde 50 ve 25 çevrim sonundaki ultrases hızları oranı	102
Şekil 9.17. Bir günlük donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerde 100 ve 25 çevrim sonundaki ultrases hızları oranı	102
Şekil 9.18. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 25. çevrimdeki ultrases hızlarının 28. günde ki ultrases hızlarına oranı	103
Şekil 9.19. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 50. çevrimdeki ultrases hızlarının 28. günde ki ultrases hızlarına oranı	104
Şekil 9.20. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 100. çevrimdeki ultrases hızlarının 28. günde ki ultrases hızlarına oranı	104

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1.	EFNARC komitesine toz malzeme olarak kullanılabilen maddeler	6
Tablo 2.2.	EFNARC(2005)de önerilen karışım oranları	6
Tablo 2.3.	KYB ile geleneksel betonları karışımlarının kıyaslanması	6
Tablo 2.4.	Toz tipi metoduyla farklı tasarlanmış örnekler	7
Tablo 2.5.	Stabilizatör tipi metoduyla tasarlanmış örnekler	8
Tablo 2.6.	Kombinasyon metoduyla tasarlanmış örnekler	9
Tablo 2.7.	Uyumsuz VAK lar ve akışkanlaştırıcılar	12
Tablo 3.1.	KYB taze beton deneyleri ve belirledikleri özellikler	13
Tablo 3.2.	Laboratuvar ve şantiye için önerilen deney yöntemleri	14
Tablo 3.3.	KYB lerin sınıflandırılması ve önerilen kullanım yerleri	15
Tablo 3.4.	T50 süresine göre EFNARC'ın sınıflaması ve yorumu	16
Tablo 3.5.	V hunisi deneyine göre EFNARC tarafından yapılan sınıflandırma	19
Tablo 3.6.	L kutusu deneyine göre EFNARC tarafından yapılan sınıflandırma	20
Tablo 3.7.	GTM deneyi sonuçlarına göre EFNARC tarafından yapılan sınıflandırma.....	23
Tablo 3.8.	KYB deneylerinin EFNARC tarafından önerilen kabul kriterleri	24
Tablo 3.9.	Taze beton deneylerinin kabul kriterleri altındaki ve üstündeki sonuçların yorumlanması	25
Tablo 3.10.	Taze betondaki sorunlar için çözüm önerileri	27
Tablo 4.1.	F ve C sınıfı, uçucu küllerin kimyasal kıyaslanmaları	29
Tablo 4.2.	Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları	30
Tablo 4.3.	Uçucu küllerin sahip olması gereken kimyasal kompozisyon	31
Tablo 5.1.	Bazı malzemelerin ısı genleşme katsayıları	41
Tablo 6.1.	Donun taze betona zarar vermemesi için gerekli beton yaşı	49
Tablo 7.1.	İsviçre şartnamesine göre D-Ç değerlendirme kriterleri	63
Tablo 7.2.	Mnahončákoná.E.,vd. nın, D-Ç sonunda elde ettikleri değerler	63
Tablo 7.3.	Yazıcı.H, nin ürettiği KYB lerin karışımı	64
Tablo 7.4.	Lio. M., KYB karışımları	67
Tablo 8.1.	Deney programı	70
Tablo 8.2.	Kumun elek analizi, su emme ve özgül ağırlık değerleri	71

Tablo 8.3.	Kullandığımız çimentonun fiziksel, mekaniksel ve kimyasal analizlerinin sonuçları	73
Tablo 8.4.	Kullandığımız uçucu külün fiziksel ve kimyasal analizlerinin sonuçları...	74
Tablo 8.5.	Superakışkanlaştırıcının teknik verileri	75
Tablo 8.6.	Toz malzemesi 500 kg/m ³ olan karışım oranları	81
Tablo 8.7.	Toz malzemesi 550 kg/m ³ olan karışım oranları	81
Tablo 8.8.	Toz malzemesi 600 kg/m ³ olan karışım oranları	82
Tablo 9.1.	Üretimlerin buhar kürü görmüş ve standart kür görmüş numunelerinin 1 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları ve oranları	91
Tablo Ek.1.	Üretilen KYB lerin taze haldeneylerinin sonuçları	113
Tablo Ek.2.	Buhar kürü uygulandıktan sonra, 100 çeviri D-Ç tabi tutulan numunelerin ve su içinde bekletilmiş buhar kürlü şahit numunelerin, basınç dayanımları	114
Tablo Ek.3.	28 günde D-Ç tabi tutulan numunelerin 100 çevrim D-Ç sonunda basınç dayanımları	115
Tablo Ek.4.	Bir günde D-Ç tabi tutulan buhar kürlü numunelerin ağırlık değişiklikleri	116
Tablo Ek.5.	Buhar kürü görmüş ve 28 günde, D-Ç maruz bırakılan numunelerin, D-Ç çevrimleri esnasındaki ağırlık değişiklikleri	117
Tablo Ek.6.	28 gün standart su kürü görmüş numunelerin donma-çözülme çevrimleri esnasındaki ağırlık değişiklikleri	118
Tablo Ek.7.	Buhar kürü görmüş KYB lerimizin D-Ç esnasında birim ağırlık Değerleri	119
Tablo Ek.8.	Standart su kürü görmüş KYB lerin D-Ç esnasında birim ağırlık değerleri	120
Tablo Ek.9.	Bir gün D-Ç tabi tutulan buhar kürlü numunelerin birim ağırlık değişiklikleri	121
Tablo Ek.10.	Bir günlük D-Ç tabi tutulan buhar kürlü numunelerin ultrases hız değişiklikleri	122
Tablo Ek.11.	28 günlükte D-Ç tabi tutulan, buhar kürlü numunelerin 100 çevrim D-Ç sonunda ultrases hız değişiklikleri	123
Tablo Ek.12.	28 günlükte D-Ç tabi tutulan, standard su kürü görmüş numunelerin 100 çevrim D-Ç sonunda, ultrases hız değişiklikleri	124

SEMBOLLER DİZİNİ

B1D-Ç	: Bir günlüklerinde D-Ç tabi tutulan buhar kürlü numuneler
BK	: Buhar Kürü uygulanmış numune
C-S-H	: Tobermorit Jeli
Ç	: Çevrim
D-Ç	: Donma-Çözülme
$\rho(\beta)$	: β günlükteki birim ağırlığı
$\rho'(\alpha)$	: 28. günde D-Ç tabi tutulan numunelerin, α çevrim D-Ç den sonraki birim ağırlığı
$\rho'_1(\alpha)$	: Birinci günde D-Ç tabi tutulan numunelerin, α çevrim D-Ç den sonraki birim ağırlığı
$R_{BK}(1)$	: Bir günlük buhar kürlü numunenin basınç dayanımı
$R'_{1BK}(100)$	: 1 günlük buhar kürü görmüş ve D-Ç tabi tutulan numuneler 100 çevrim sonundaki basınç dayanımları
$R'_{BK}(\alpha)$	: 28. günde D-Ç tabi tutulan buhar kürlü numunelerin , α çevrim D-Ç den sonra, basınç dayanımı
$R'_{SK}(\alpha)$	: 28 . günde D-Ç tabi tutulan su kürü görmüş numunelerin , α çevrim D-Ç den sonra, basınç dayanımı
$R_{BK}(28)$	: Buhar kürlü numunenin 28 günlük basınç dayanımı
$R_H(1)$	: Bir günlük, havada bekletilmiş numunenin basınç dayanımı
$R_{SK}(28)$	: Standard kür görmüş numunenin 28 günlük basınç dayanımı
$R_{\S}$	: Şahit numunenin basınç dayanımı (Her numunenin şahidi, aynı kür yöntemi ile kür edilmiştir)
SCC	: Self Compacting Concrete
SK	: Standard Su Kürü görmüş numune
T500A	: Toz malzeme 500 kg/m^3 ve tüm toz malzemesi çimentodan oluşmaktadır.
T500B	: Toz malzeme 500 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %20 si uçucu külden oluşmaktadır.
T500C	: Toz malzeme 500 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %30 si uçucu külden oluşmaktadır.

T500D	Toz malzeme 500 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %40 si uçucu külden oluşmaktadır.
T500E	: Toz malzeme 500 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %50 si uçucu külden oluşmaktadır.
T550A	: Toz malzeme 550 kg/m^3 ve tüm toz malzemesi çimentodan oluşmaktadır.
T550B	: Toz malzeme 550 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %20 si uçucu külden oluşmaktadır.
T550C	: Toz malzeme 550 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %30 si uçucu külden oluşmaktadır.
T550D	: Toz malzeme 550 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %40 si uçucu külden oluşmaktadır.
T550E	: Toz malzeme 550 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %50 si uçucu külden oluşmaktadır.
T600A	: Toz malzeme 600 kg/m^3 ve tüm toz malzemesi çimentodan oluşmaktadır.
T600B	: Toz malzeme 600 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %20 si uçucu külden oluşmaktadır.
T600C	: Toz malzeme 600 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %30 si uçucu külden oluşmaktadır.
T600D	: Toz malzeme 600 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %40 si uçucu külden oluşmaktadır.
T600E	: Toz malzeme 600 kg/m^3 ve toplam toz miktarının %50 si uçucu külden oluşmaktadır.
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
$M'_{BK}(\alpha)$	: 28. günde D-Ç tabi tutulan buhar kürlü numunelerin α çevrimden sonra ağırlığı
$M'_{SK}(\alpha)$	: 28. günde D-Ç tabi tutulan standard kür görmüş numunelerin α çevrimden sonra ağırlığı
$M'_{IBK}(\alpha)$	: 1. günde D-Ç tabi tutulan buhar kürlü numunelerin α çevrimden sonra ağırlığı
$M_{BK}(\alpha)$	: Buhar kürlü numunelerin α günlük ağırlıkları
$M_{SK}(\alpha)$	: Standard su kürü görmüş numunelerin α günlük ağırlıkları
N	:Hız
VAK	: Viskozite Artırıcı Katkılar
VYB	: Vibreye yerleşen Beton

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Uzun yıllardan beri farklı ülkelerde, hiç bir dayanım kaybı, ayrışma gibi olumsuz sonuçlar vermeden, yüksek performanslı ve akıcı bir beton yapmak mühendislerin dileğiydi. Yirminci yüzyılın başında, beton harcı kuru olduğundan dolayı, sadece vibre ile sıkıştırma gerçekleştirilebiliyordu. Fakat yoğun donatılı kesitlerde pratikte yeterince sıkıştırma mümkün olmuyordu ve bu yüzden daha sulu betonlar kullanıldı. 1920 lerde su/çimento oranının etkileri araştırılırken, yüksek su/çimento oranının betonun dayanıklılığını olumsuz etkilediği anlaşıldı. Bu gerçekler araştırmacıları yeni sıkıştırma metodları ile daha yüksek performanslı ve yüksek dayanıklı bir akışkan beton geliştirmeye yöneltti.



Şekil 1.1. KYB nin taze haldeyken akışkanlığının görüntüsü

Bu araştırmalarda kendi ağırlığı etkisinde ve hiç bir başka işlem gerektirmeden, ayrışma ve terleme görmeden kalıpta yerleşip donatıları saracak bir beton araştırılıyordu.

Sonuçta 1986 yılında Japon bilim adamı Prof.Dr.Hajime OKAMURA Kendiliğinden Yerleşen Beton Tokyo üniversitesinde önerdi 1988 yılında bu beton Ozawa, Ouchi ve Maekawa tarafından aynı üniversitede üretildi ve deneylerde de fiziksel ve mekanik kabul kriterlerini sağladı.

Bu yeni beton türü, vibrasyon ve sıkıştırma gerektirmeden, ayrılmaya yüksek direnç göstererek, kendi ağırlığı ile yerleşebildi. Belirtilen özelliklerde olan beton, Türkiye'de Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) olarak tanımlanmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonun 1974' te üretilen reoplastik beton ile de yakın olduğu iddia edilmektedir [44].

Eski şartnamelerdeki betonun çökme sınırı ile KYB çökme değerinin uyuşmaması bu betonun yaygınlaşmasını uzun bir süre önledi. Ancak akışkanlaştırıcıların tanınmasıyla bu sorun aşıldı [32].

Kendiliğinden yerleşebilen betonun ilk uygulaması,1991 yılında öngerilmeli kablo ile tutturulmuş bir beton köprüde yapıldı. Ardından 1992 yılında hafif KYB kablolu köprünün ana kiriş inşaatında kullanıldı [82]. Daha sonra KYB günlük hayattaki kullanımında hızlı bir artış görüldü. Bu artış, KYB aşağıda sıralanan avantajlarının olumlu etkisi nedeniyle:

- ✓ İnşaatta daha hızlı üretim
- ✓ Şantiyede işçilikte azalma
- ✓ Daha iyi yüzey bitişi
- ✓ Kolay yerleştirme
- ✓ Dayanıklılıkta artış
- ✓ Estetik mimari öğelerin kolayca üretebilmesi
- ✓ Donatıların yoğun olduğu bölgelerde boşluksuz yerleşebilme
- ✓ Vibre gerektirmemekten dolayı gürültüsüz işlenebilirlik [56].

İşçiliğin azalması, işçiliğin pahalı olduğu ülkelerde daha çok önem taşımaktadır ve KYB kullanımındaki işçilik azalması ile işçilikten kaynaklanan hatalar da azalmaktadır.

Kendiliğinden Yerleşen Beton işçiliği azaltmaktadır ama malzeme türü ve miktarındaki değişiklik reolojiyi ve dizaynı önemli derecede değiştirdiği için üretim koşullarının çok hassas olması nedeniyle uzman mühendis kontrolünde üretilip

uygulanmalıdır. Bu da KYB lerin dezavantajı sayılır. Kullanılan kimyasal katkıların pahalılığı da toplam betonun maliyetini artırır [82].

2.KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

2.1. KYB

KYB lerin geleneksel betonla farkı taze beton halindeyken daha da belirgindir. Kendiliğinden yerleşen betonun iki temel özelliği kalıpları kolaylıkla doldurabilme yeteneği ve yüksek ayrışma direncidir [37]. Kendiliğinden yerleşen betonlarda akışkanlaştırıcı ihtiva eden hamur bekletildiğinde parçacık bağları kuvvetlenir ancak karıştırıldığında bağlar güçsüzleşir ve yeniden akıcılık gözlemlenir. Bu davranışa tiksotropik davranış denmektedir. KYB nin eşik kayma gerilmesinin normal betona göre düşük olması ilk hareket kabiliyetini artırmaktadır. Öte yandan KYB nin plastik viskozitesi daha yüksektir [82]. KYB düşük deformasyon hızlarında yüksek viskozite, yüksek deformasyon hızlarında da düşük viskozite göstermektedir. Bu davranışa yalancı plastik (Psödoplastik) davranış denir. Yalancı plastik davranış pompalamayı kolaylaştırır ve beton yerinde yerleştiğinden sonra da, ayrışma yaşanmaz [81]. Akışkanlaştırıcılar ve superakışkanlaştırıcıların betona eklenmesi, betonun eşik kayma gerilmesini düşürür. Bu istek su ilavesile de elde edilebilir fakat su ilavesinin betonun dayanımına olumsuz etkisi olur. Bu yüzden superakışkanlaştırıcılar tercih edilir. Fakat bu katkılardan dolayı ayrışmaya yol açabilecek derecede viskozite düşüşü görülebilir. Bu yüzden kendiliğinden yerleşen betonların tasarımı için stabiliteyi artıracak yöntemler uygulanmalıdır.

2.2. KYB Tasarım Yöntemleri

KYB dizaynında öncelikle gradasyonda kaba/ince agrega oranı geleneksel betona göre azalmalı ve bağlayıcı miktarı bir miktar artırılmalıdır. Buradaki amaç her kaba agregatanesinin bir kat harç ile sarılması ve betonun kendi ağırlığı ile hareket edebilmesidir. KYB teknolojisinde pasta, agregaları taşımak için bir araçtır. Bu mekanizmayı göz önüne aldığımızda harcın hacmi, normal betona göre artırılmalıdır [24] ama kendiliğinden yerleşme özelliği yalnızca çimentonun veya harcın yüksek deformasyon yapabilmesine bağlı değildir. Betonun donatılar ile sınırlanmış alana yayılması sırasında iri agrega ve harç arasında bir segregasyon direncine de ihtiyaç duyulur [82]. Beton içerisinde bulunan iri

agrega, kum, toz malzemeler gibi çeşitli katı parçacıklar arasındaki sürtünme, akmaya karşı içsel direnci artırır. Bu da taze haldeki betonun deformasyon yeteneğini ve akışkanlığını azaltır. Taze beton boşlukların az olduğu bölgelerden veya çelik çubuklar arasından hareket ederken parçacıklar arasında çarpışma artacağından sürtünme artar. Bu da viskozite artışına sebep olur ve deformasyon yeteneğinin devam etmesi için gereken kayma gerilmeleri artar. Bu durumda akışkanlaştırıcılar, çimento tanelerini dağıtıp yayarak taneler arasındaki sürtünmeyi azaltır ve gereken akışkanlığı ayrışmadan sağlar [85]. Dolayısıyla akışkanlığın artırılması, yüksek dozajda kimyasal katkı kullanımıyla sağlanmaktadır. Akışkanlaştırıcı dozajının yüksek olması taze betonun viskozitesini düşürür. Bu nedenden dolayı KYB de Su/toz oranı ve agrega gradasyonundaki değişikliklere hassasiyet artmaktadır [32].

KYB nin tasarımı için ilk ipuçları 1994 te Okamura ve Ozawadan gelmiştir. Onlara göre tasarımda dikkate alınması gerekenler şunlardır:

1. D max'ı sınırlandırmak
2. Su/toz oranının azaltılması
3. Süper akışkanlaştırıcılardan faydalanma

Günümüzde yüksek akışkanlık özelliği ve ayrışmaya dirençli bir beton olarak KYB üretimi için üç yöntem öneriliyor:

1. Toz tipi metodu
2. Stabilizatör tipi metodu
3. Kombinasyon metodu

2.2.1. Toz Tipi Metodu

Bu yöntem iki etaptan oluşmaktadır:

- a. Hamur ve harcın tasarımı
- b. Beton dizaynı

Bu yöntemde, inert veya puzolanik malzemelerle viskozite artırılmaya çalışılır. KYB, geleneksel betondan daha yüksek bir oranda toz madde içerir ve toz hacmi toplam hacmin %36 sından çok olmalıdır [32]. TS EN 12620'ye göre partikül boyutu 0,125 mm'nin altında olan malzemeler toz malzeme kavramı kapsamındadırlar [70]. Toz

miktarının artışı boşluğu azaltarak ayrışma riskini azaltıyor [63]. Tablo 2.1. EFNARC (European Federation Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems) komitesinin toz malzeme olarak kullanılabilen maddeler için sınıflandırıp önerdiği maddelerdir.

Tablo 2.1. EFNARC komitesine toz malzeme olarak kullanılabilen maddeler

Tip 1	Tip 2	
İnert ve yarı inert	Puzolanik	Hidrolik
Kireçtaşı ve dolomit gibi mineral filler Pigmentler	Uçucu kül Silis dumanı	Yüksek fırın cürufu

EFNARC (2005) komitesinde KYB tasarımı için toz malzemenin 1 m³ için en az 380 ve en çok 600 kg olması önerilmiştir [26]. EFNARC komitesinin toz tipi metoduna uygun karışım önerileri Tablo 2.2 de gösterilmektedir:

Tablo 2.2. EFNARC(2005)de önerilen karışım oranları

Bileşenler	Tipik kütle oranları (kg/m ³)	Tipik hacim oranları (Litre/m ³)
Toz	360 -600	-
Su	150-210	-
İri agreg	750-1000	-
İnce agreg	Toplam agreg ağırlığının %45 ile %55 i olmalı	
Su/Toz oranı	-	0,85-1,10

Geneleksen beton ile KYB nin karışımalarının kıyaslaması Tablo 2.3 te verilmiştir [36].

Tablo 2.3. KYB ile geleneksel betonların karışımalarının kıyaslanması

Bileşenler	Geleneksel Beton	Kendiliğinden Yerleşen Beton
Harç (%)	55-60	60-67
Kum/Tüm agreg	0,42-0,50	0,5-0,57

"Tablo 2.3. 'nün devamı"

Su/toz (Hacim)	1,2-1,3	1-1,16
Su/Çimento (ağırlık)	0,37-0,4	0,37-0,41

Japonyada, ABD’de ve Avrupada toz tipi ile tasarım yapılan KYB örnekleri aşağıdaki Tablo 2.4 te verilmiştir [82].

Tablo 2.4. Toz tipi metoduyla farklı tasarlanmış örnekler

Malzemeler	Japonyada	ABD	Avrupada
Su (kg)	175	174	190
Portland Çimento (kg)	530	408	280
Düşük hidratasyon ısıllı			
Uçucu kül(kg)	70	45	0
Kireç taşıtozu(kg)	0	0	245
Yüksek fırın cürufu (kg)	0	0	0
Silis dumanı(kg)	0	0	0
İnce agregası(kg)	751	1052	865
Kaba agregası(kg)	789	616	750
Hiperakışkanlaştırıcı(kg)	9	16.02	4.2
Çökme çapı (mm)	625	710	600-750

2.2.2. Stabilizatör Tipi Metodu

Bu yöntemde kimyasal katkıları ile betonun viskozitesi artırılır. Bu katkıları etkisinde üretilen KYB de, bir önceki yöntemde göre daha az toz maddesi kullanılır ve bu miktar (toz madde miktarı) $300-350 \text{ kg/m}^3$ e düşer. Üstelik iri agregayı da 1000 kg/m^3 ün üstüne çıkarmak mümkün olur [15].

Viskozite Artırıcı Katkıları (VAK) üç gruba ayrılabilir:

- I. Nişasta ve doğal sakız benzeri doğal polimerler.
- II. Ayırıştırılmış nişasta ve türevleri, selüloz eter türevleri, sodyum alginat ve benzeri elektrolitler,
- III. Plietilen oksit ve poli vinil alkol gibi sentetik polimerler [37]. Colepardi (2001), VAK ları selüloz ve nişasta türevleri ile polietilen glikol ve bio polimerler olarak iki ana gruba ayırdı [17]. İkinci gruba polisakaritler ve akrilik bazlı polimerlere eklenebilir [43]. Japonyada, ABD’de ve Avrupada stabilizatör tipi ile tasarım yapılan KYB örnekleri aşağıdaki Tablo 2.5 te verilmiştir [82].

Tablo 2.5. Stabilizatör tipi metoduyla tasarlanmış örnekler

Malzemeler	Japonyada	ABD	Avrupada
Su (kg)	165	180	192
Portland Çimento (kg)	220	357	330
Düşük hidrasyon ısıllı			
Yüksek fırın cürufu (kg)	220	119	200
İnce agrega (kg)	870	936	870
Kaba agrega (kg)	825	684	750
Hiperakışkanlaştırıcı (kg)	4.4	25.00	5.3
VAK (kg)	4.1	0	0
Yayılma çapı (mm)	600	660	600-750

2.2.3. Kombinasyon Metodu

Bu yöntemde, geçen iki yöntemin mantıklarını göz önüne alarak, toz madde ve kimyasal katkıları bir arada kullanarak KYB üretilir. Japonyada, ABD ’de ve Avrupada kombinasyon metodu ile tasarım yapılan KYB örnekleri aşağıdaki Tablo 2.6. da verilmiştir [82].

Tablo 2.6. Kombinasyon metoduyla tasarlanmış örnekler

Malzemeler	Japonyada	ABD	Avrupada
Su (kg)	175	154	200
Portland Çimento (kg) Düşük hidratasyon ısılı	298	416	310
Uçucu kül (kg)	206	0	190
İnce agrega(kg)	702	1015	700
Kaba agrega(kg)	871	892	750
Hiperakışkanlaştırıcı (kg)	10.6	2616	6.5
VAK (kg)	0.0875	542	7.5
Çökme çapı (mm)	660	610	600-750

2.3. KYB Üretiminde Malzeme Seçimi

Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda kullanılan malzemelerin özellikleri genel olarak TS EN 206-1 standardında belirtilen standartlara uygun olmalıdır [71].

2.3.1. Toz Maddeler

Toz maddeler KYB üretiminde vazgeçilmez bileşenlerdir. 125 mikrondan küçük boyuttaki maddeler toz sayılırlar [70]. Toz malzemesiz KYB üretebilmek için, 650-750 kg/m³ çimento kullanılması gerekebilirdi. Bu miktar çimento kullanımı durumunda, büzülme çatlaklarının artmasıyla birlikte, kimyasal katkınında fazla kullanılmasına neden olarak, maliyet artardı [82]. Bu sebeplerden dolayı, EFNARC (2005) komitesinde çimento miktarı en fazla 500 kg/m³ ile sınırlandırılmış ama aynı şartnamede toplam toz madde (çimentoda dahil) 500 kg/m³ değerinin altına düşürülmemesi de önerilmekte, fakat bu değerler kimyasal katkıları kullanıldığında, katkının etkisine göre değişebilir.

KYB için çimento seçiminde, KYB den beklentiler dikkate alınmalıdır. Örneğin C₃A sını yüksek olan çimentoların kullanılması akışkanlığı olumsuz etkiler ve daha fazla maliyete sebep olabilir [32]. Taze hal için düşük hidratasyon ısılı çimentoların kullanılması faydalı

olabilir fakat dona maruz kalma tehlikesi varsa hidratasyon ısının yüksek olması istenilebilir [82]. KYB ile ilgili literatürde CEM I 42.5 tipi çimento kullanımı önerilmektedir [57].

Fakat tozların kimyasal etkilerinin farkı da dikkate alınmalıdır. İnert toz maddeler hiçbir bağlayıcılık özelliği göstermeden sadece betonda doldurucu ve su emici bir görevi yerine getirmektedirler, halbuki puzolanik maddeler bağlayıcılık özelliğinede sahiptirler. Collepardi (2002) de silis dumanı ile ürettiği KYB’ni aynı miktarda uçucu külle ürettiğinde daha yüksek basınç dayanımı elde etti [18].

Kadri vd.(2000) de karışımda ağırlıkça %15 silis dumanını kullandıklarında hızlı işlenebilirlik kaybı ve hidratasyon ısısında yükselme tespit ettiler [41].

2.3.2. KYB’de Agregası Seçimi

KYB üretiminde kullanılan agregalar mineralojik açıdan geleneksel betonda kullanılan agregalarla farklı değildir ama agregaların boyutu ve geometrisi önemli rol oynamaktadır. Kırma kireçtaşı iri agregası olarak kullanılabilir de, doğal kum, kırma kuma göre işlenebilirliği artırdığı için daha da avantajlıdır. Dere çakılı da iri agregası olarak, akışkanlıkta olumlu etkisi olduğu için kullanılabilir [25,69,76]. Fakat kırmataşın iyi aderans sağlaması açısından ve yüksek dayanıma neden olmasından dolayı KYB üretiminde doğal agregası ile kırma agregayı bir arada kullanmak uygun çözümdür [76].

KYB de kullanılacak iri agreganın D_{max} ’ı (en büyük tane boyutu) EFNARC 2002 de 20mm ile sınırlanmıştır fakat betondan beklentilere göre bu değer değişebilir. Sari vd.(1999) bu değerın 5 ile 20 mm arasında değişebildiğini vurgulayarak, V-hunisi deneyinde tıkanma riskini dikkate alarak, 15mm’i en uygun D_{max} olarak önermişler [25,63]. Collepardi de (2001) D_{max} ’ı 15mm aldığı zaman en yüksek ayrışma direncini elde etmiştir [17]. Fang vd (1999) ince agregası, toplam hacimin %45-48’i arasında olursa ideal akışkanlık ve iyi basınç dayanımı elde ettiğini belirtmiştir [31]. KYB tasarımında, önemle sağlanması gereken bir başka faktör gradasyon sürekliliğidir [36].

2.3.3. Kimyasal Katkıların Seçimi

Yüksek akışkanlık ile yüksek viskozite iki ters koşul oldukları için sadece bir kimyasal katkı sayesinde bir araya gelebilirler. Dolayısıyla, kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kimyasal katkı kullanımına büyük bir ihtiyaç duyulmaktadır [42]. Bu katkıları dispersiyon etkileri sayesinde, çimento taneciklerini birbirinden uzaklaştırarak topaklaşmayı önlerler ve topak içinde hapsolmuş çimento tanecikleri de hidratasyona girebilir ve aynı mantıkla topak içinde hapsolmuş su molekülleri de serbest kaldıkları için işlenebilirlik ve hidratasyona olumlu katkıda bulunabilirler [34].

Bu katkıları S/Ç oranı düşük ise viskoziteyi azaltmadan eşik kayma gerilmesini düşürerek akışkanlığı artırır. Aksi halde eşik kayma gerilmesi ile birlikte viskoziteyi de düşürürler. Bu yüzden KYB lerde S/Ç oranı yüksek olmamalıdır [83].

Akışkanlaştırıcılar çimento topaklanmasını önlemek için fiziksel etkinlikleri ile dispersiyonu gerçekleştirirler. Normalde çimentodaki C_3S ve C_2S bileşenler negatif zeta potansiyeline sahiptirler ve C_3A ve C_4AF bileşenleri ise pozitif zeta potansiyeline sahiptirler. Dolayısıyla çimento su ile temas ettiği zaman karma oksitlerinin elektropotansiyellikleri gereği elektrostatik etkiyle kümeleşip topaklanırlar. Katkı ilavesi ile çimentodaki C_3A ve C_4AF bileşenlerindeki karma oksitleri negatif zeta potansiyeline sahip olurlar [68,79].

Kimyasal katkıların etkinliği, çimentonun katkıyı absorbe etme kapasitesine de bağlıdır. Bu da zaman ve çimento tipinin bir fonksiyonudur. C_3A ve C_4AF , diğer iki bileşen (C_3S ve C_2S) den daha fazla katkı absorbe ederler ve bu yüzden çimento tipi işlenebilirlik açısından çok etkilidir [32]. Yeni nesil hiperakışkanlaştırıcılar, elektriksel etkilerine ilave, uzun yan dallar içeren polimer zincirlerinin çimento tanecikleri çevresinde bir birini iterek de dispersiyon sağlarlar.

Son 30 yılda akışkanlık sağlamak ve su kesme amaçlı en yaygın kullanılan kimyasal katkıları melamin, naftalin formaldehit kondensatları, modifiye lignosülfonatlar ve suda çözülebilen sentetik polimerlerdir [32].

Viskozite artırıcı katkıları (VAK) selüloz ve doğal sakız türevleri uzun zincirleri ile su moleküllerini emip genişler ve suyun jelimsi kıvama gelmesini sağlayarak sakızlaşma

eğilimi yaratırlar. Akrilik VAK lar kullandığında, moleküler arasında elektriksel itki gelişip böylece viskozite artışına sebep olurlar. VAK' ların etkisinin iyonik olmadığı, su absorbe ederek genişleyen polimerler oldukları kabul edilmektedir [82].

VAK ile akışkanlaştırıcılar bir arada kullanıldıkları zaman bu katkıların uyumlu olmaları gerekir. Zira aksi takdirde birbirinin etkilerini azaltabilirler. Aşağıdaki Tablo 2.7 de, baz esaslı VAK' lar ile uyumsuz olan akışkanlaştırıcılar gösterilmiştir [82].

Tablo 2.7. Uyumsuz VAK lar ve akışkanlaştırıcılar

VAK	UYUMSUZ AKIŞKANLAŞTIRICI
Selüloz	Polikarboksilat ve melamin bazları
Akrilik	Naftalin ve melamin bazları
Glikol	Polikarboksilat ve melamin bazları

Akışkanlaştırıcı ve VAK lara ilave, donma-çözülme tehlikesini azaltmak amacıyla geleneksel betonlar gibi KYB lerde de hava sürükleyiciler kullanılabilir. Üstelik hava sürükleyici katkıları işlenebilirlik açısından da olumlu olabilir. Hava sürükleyici katkıları KYB lerde bu amaçla da kullanılmıştır. Hava sürükleyici olarak sentetik deterjanlar, reçine tuzları, petrol asidi tuzları, protein içeren malzeme tuzları, organik hidrokarbon tuzları gibi kimyasallar kullanılmaktadır [82].

3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARA İLİŞKİN DENEYLER

3.1. KYB nin İşlenebilirlik Faktörleri

Geleneksel betonlarda, betonun taze hali sınıflandırmasında doğrudan etkili değildir ama kendiliğinden yerleşen beton taze haldeki özellikleri ile tarif edilir [61].

EFNARC [25] komitesi kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliği açısından üç faktörü dikkate almıştır. Bu faktörler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

1. Doldurma yeteneği
2. Geçiş yeteneği
3. Ayırışma (Segregasyon) direnci

EFNARC komitesinin bu beton için önerdiği standart deneyler ve hangi yetenek için önerildikleri Tablo 3.1 de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. KYB taze beton deneyleri ve belirledikleri özellikler

	Yöntem	Ölçtüğü Özellik
1	Abrams slump flow konisi	Doldurma yeteneği
2	T50 cm	Doldurma yeteneği
3	J-halkası	Geçiş yeteneği
4	V hunisi	Doldurma yeteneği
5	5 dakika bekletilmiş V hunisi	Ayırışma direnci
6	L – kutusu	Geçiş yeteneği
7	U – kutusu	Geçiş yeteneği
8	Dolgu kutusu	Geçiş yeteneği
9	GTM ekran kararlılık deneyi	Ayırışma direnci
10	Orimet	Doldurma yeteneği

EFNARC komitesinin hangi deneyleri laboratuvar için hangi deneyleri de şantiye için daha uygun gördüğü Tablo 3.2 de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Laboratuvar ve şantiye için önerilen deney yöntemleri

Özellik	Laboratuvarda	Şantiyede
Doldurma yeteneği	1-Abrams slump flow konisi 2-T50 cm konisi 4-V hunisi 10- Orimet	1- Abrams slump flow konisi 2-T50 cm konisi
		4-V hunisi 10- Orimet
Geçiş yeteneği	6- L-kutusu 7- U-kutusu 8-Dolgu kutusu	3-J-halkası
Ayrışma direnci	9-GTM ekran kararlılık deneyi 5- Beş dakika bekletilmiş V hunisi	9-GTM ekran kararlılık deneyi 5- Beş dakika bekletilmiş V hunisi

T50 cm, V hunisi ve Orimet deneylerinin doldurma süreleri de betonun viskozitesi ile ilgilidir [67].

3.2. KYB Taze Hal Deneyleri

3.2.1. Abrams Slump Flow Konisi (Çökme Yayılma) Deneyi

Bu deney Kendiliğinden Yerleşen Betonun en önemli faktörü olan doldurabilirlik yeteneğini ölçmek için en yaygın deneydir. Hem laboratuvar hem de şantiye ortamında uygulanabilecek bir yöntemdir. Geleneksel beton için uygulanan çökme deneyinin modifiye olmuştur. EN 12350-2 ye göre koninin büyük çapı 200 mm ve küçük çapı 100 mm dir. Koninin yüksekliği 300 mm dir. Koni emici olmayan sert malzemeden olmalıdır .

Beton mikserden çıkartılıp, yatay şekilde olan yayılma tablası üstündeki koninin içine hiç bir vibre veya şişleme olmadan dökülüyor. Huni doldurulduktan sonra yayılma tablasına dikey olarak kaldırılıp betonun tamamının yayılmasına kadar beklenir. Yayılmanın uzun sürede devam etmesi, viskozitenin yüksekliği demektir. Yayılmanın EFNARC komitesi standartına göre en az 650 cm çapına ulaşması gerekir. Yayılma durduğunda iki dik çapı ölçülür ve bu iki çapın farkının 5 cm yi geçmemesi gerekir. Aksi halde deney tekrarlanmalıdır [7].

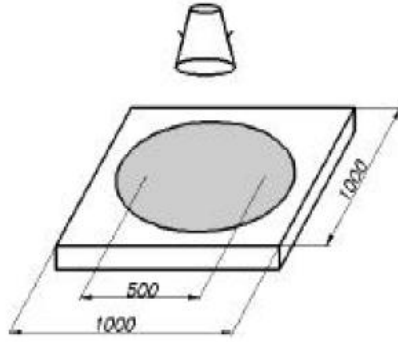
Yayılma deneyinde, betonun çökerek yayılma hareketini devam ettirmesi, eşik kayma gerilmesi değerini aşmasına bağlıdır ve betonun eşik kayma gerilmesi ne kadar düşük ise, beton kendi ağırlığı ile o kadar çok çöküp yayılacak ve eşik kayma gerilmesi ile kendi ağırlığının yarattığı ve yayılma süresince giderek düşen gerilme eşitlenince, yayılma duracaktır. Bu nedenle nihai yayılma deneyi eşik kayma gerilmesiyle ilişkilendirilebilir [32]. EFNARC 2005 te, bu deneye dayanarak, KYB ler üç gruba sınıflandırılmıştır ve bu sınıflandırılmaya göre kullanım yerleri ile ilgili önerilerde bulunulmuştur. Bu sınıflandırma Tablo 3.3. te verilmiştir [24].

Tablo 3.3. KYB lerin sınıflandırılması ve önerilen kullanım yerleri

Sınıf	Deney değeri	Kullanım yeri
SF 1	550-650mm	Hafif donatılı sistemler,Tünel enjeksiyonları ve boru kazık dökümlerinde
SF 2	650-750mm	Kolon perde döşeme betonları ve genel uygulamalar
SF 3	750-850mm	Zor şekil ve kesitlerin dökümünde,yoğun donatılı kesitlerde uygulanır

3.2.2. T50 cm Deneyi

T50cm deneyi, aslında Abrams Slump Flow Konisi (Çökme yayılma) deneyinde kullanılan koni ve yayılma tablası ile yapılmaktadır. Yayılma tablasının merkezinden 50 cm yarıçapında bir çember çizilir. KYB ile doldurulan koninin kaldırılması ile oluşan yayılmanın çapı 50 cm'ye ulaştığında, geçen süre belirlenir. Şekil 3.1 deneyi şematik olarak göstermektedir.



Şekil 3.1. Yayılma tablası ve çökme konisi

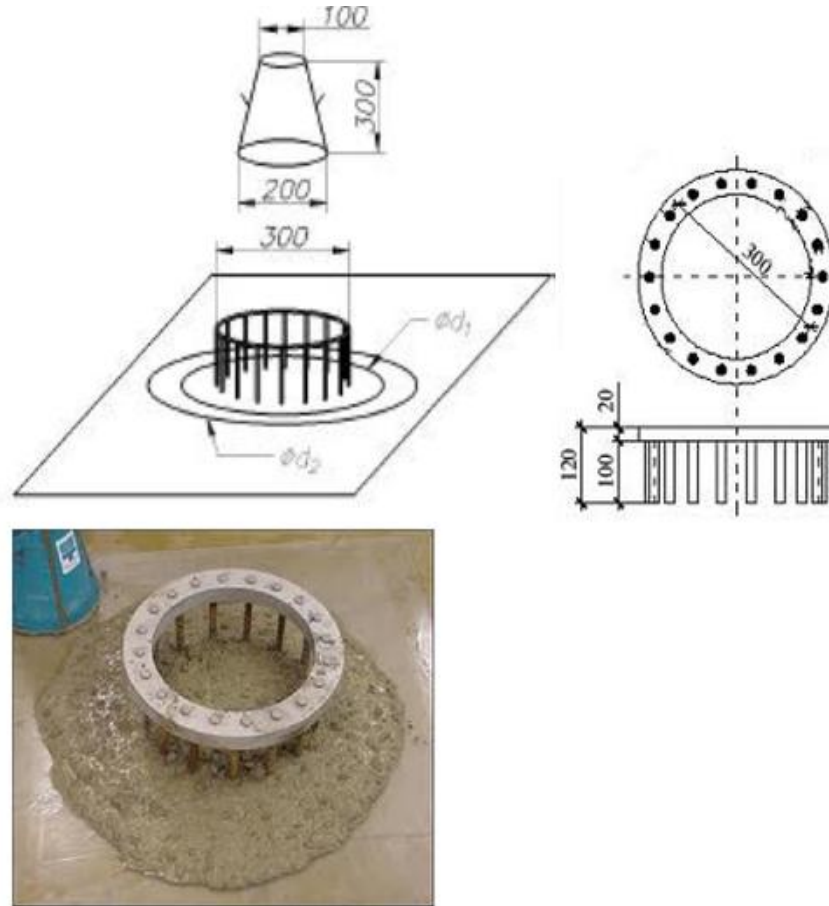
EFNARC komitesi betonun 50 cm yayılma sınırına erişme süresinin 2 saniye ile 5 saniye arasında olmasını kabul edilebilecek kriter olarak gösteriyor. Tablo 3.4 EFNARC (2005)'in bu deneye dayanarak yaptığı sınıflamayı gösteriyor [24].

Tablo 3.4. T50 süresine göre EFNARC'ın sınıflaması ve yorumu

Sınıf	Deney değeri (Saniye)	Yorum
VS 1	≤ 2	Yoğun donatılı kesitlerde bile iyi yerleşir, ayrışma ve su kuma riski var.
VS 2	> 2	Artan akış süresi ve tiksotropik etki riski, kalıba daha az baskı yapar, ayrışma riski düşüktür, yüzey bitişi zor olabilir, kuş gözleri görülebilir.

3.2.3. J Halkası Deneyi

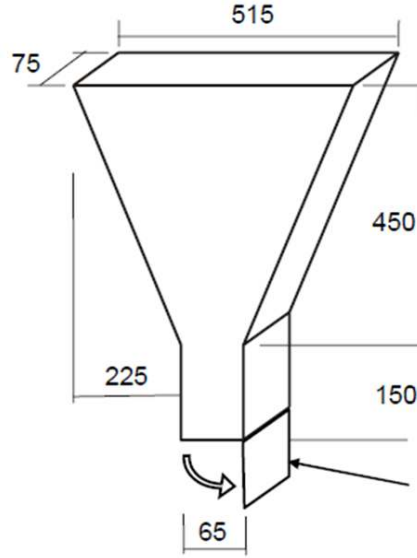
Bu deney Japon kaynaklı bir deney olabilir. Deneyin gelişimi Paisley üniversitesinde gerçekleşmiştir. Aparat 30 cm çaplı halkaya eşit aralıklı dikey çelik çubuklar bağlanmasıyla yapılmaktadır. Çubukların aralık mesafeleri, betonda kullanılan iri agreganın maksimum boyutunun üç katından küçük olmaması gerekir. Aparat kare (kenar ebatı en az 700 mm olmalıdır) veya dairesel bir tabla üstüne koyulur. Halkanın içine yerleştirilen kesik koni betonla doldurulup hiç bir sıkıştırma ve şişleme yapmadan kaldırılır. Beton çubukların arasından geçerek yayılmaya başlar ve yayılma durduğunda, içeride kalmış betonun yüksekliği ve dışarıdaki betonun yüksekliği ölçülerek farkları değerlendirilir ve EFNARC komitesinin standartına göre bu fark 10 mm'yi geçmemelidir. Dört farklı noktadan iç ve dış yükseklik ölçülüp farklarının ortalamasının alınması önerilmektedir.



Şekil 3.2. J Halkası aparatı

3.2.4. V Hunisi ve 5 Dakika Bekletilmiş V Hunisi Deneyleri

Bu deney Japon Ozawa vd, tarafından geliştirilmiştir. Aparat huni şeklinde, emici olmayan sert bir malzemeden üretilmiş ve 2005 EFNARC komitesi tarafından önerilen standart boyutları Şekil 3.3 te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. V hunisi

Beton mikserden alınıp, hemen V kutusunun üst hizasına kadar yerleştirilir ve 8 saniye ile 10 saniye sonra alt kapak açılarak üstten bakılır ve alttan ışık görülen süre kronometre ile belirlenir. EFNARC komitesi bu sürenin kabul kriterini 2002 de 6 ile 12 saniye arası göstermiştir [25]. Tablo 3.5. EFNARC (2005)'in bu deneye dayanarak yaptığı sınıflandırmayı göstermektedir. Beton akışı sırasında tıkanma olayı yaşanırsa bunun iki nedeni olabilir: eşik kayma gerilmesi betonun ağırlığının yarattığı gerilmeden büyüktür veya betonun yeterli stabiliteye sahip olmaması durumunda ortaya çıkan ayrışma ile agrega tanelerinin çıkışı ağzında birikerek kenetlenme yarattığı tıkanmadır. V hunisi deneyi ayrışma ile ilgili gözlemsel sonuçlar elde edilebilecek bir deneydir [24,67].

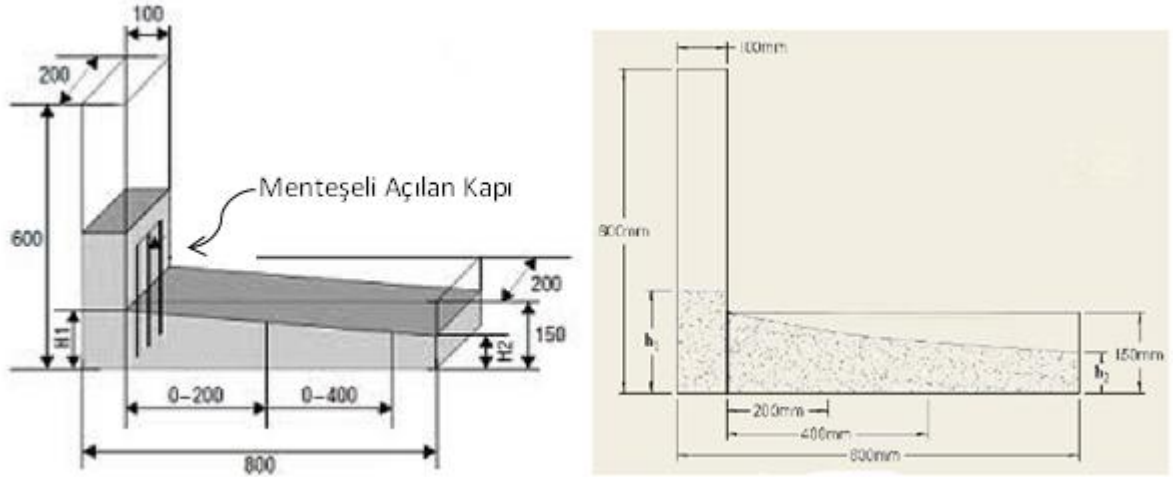
Tablo 3.5. V hunisi deneyine göre EFNARC tarafından yapılan sınıflandırma

Sınıf	Süre(saniye)	Yorum
VF 1	≤ 8	Yoğun donatılı kesitlerde bile iyi yerleşir, ayrışma ve su kuma riski var,
VF 2	9-25	Artan akış süresi ve tiksotropik etki riski, kalıba daha az baskı yapar, ayrışma riski düşüktür, yüzey bitişi zor olabilir, kuş gözleri görülebilir

Deney bir kez de 10 saniye değilde 5 dakika bekletildikten sonra yapılabilir. Amaç betonun segregasyonunu gözetlemektir ve bu kez tıkanma olayı olmamalıdır. Huni içinde beş dakika bekletilmiş beton deneyi, 5 dakika bekletilmiş V hunisi deneyi olarak tanımlanır.

3.2.5. L-kutusu

L kutusu ile yapılan deney aslında kendiliğinden yerleşen betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini ölçer. Bu amaçla yapılan deney ve aparatı, iki birbirine dik prizmadan oluşmaktadır ve bu iki prizmanın arasında birbirinden mesafeli, çelik çubuklar bulunur. KYB dikey prizmaya doldurulur ve iki prizmanın arasındaki sürgü kaldırılır. KYB çelik çubukların arasından geçerek yatay prizmanın içine yayılır. Yatay prizmanın iki baş yüksekliğinin birbirine olan oranı, KYB nin geçiş yeteneğini göstermektedir (H_1/H_2). EFNARC komitesi $0,8 \leq H_1/H_2 \leq 1$ değerini KYB nin kabul kriterleri içinde tarif etmiştir. Akışan bir KYB de H_1/H_2 oranı yakın olur. Bu deneyde betonun donatılar arasından geçiş sırasında bloke olup olmayacağı da belirlenmiş olur [32].



Şekil 3.4. L kutusu

Betonun yatay prizmada 20 ve 40 cm mesafelere ulaşma süresi de KYB nin doldurma yeteneği hakkına fikir verir. Tablo 3.6. da EFNARC (2005)'ın bu deneye dayanarak yaptığı sınıflandırma verilmiştir [24].

Tablo 3.6. L kutusu deneyine göre EFNARC tarafından yapılan sınıflandırma

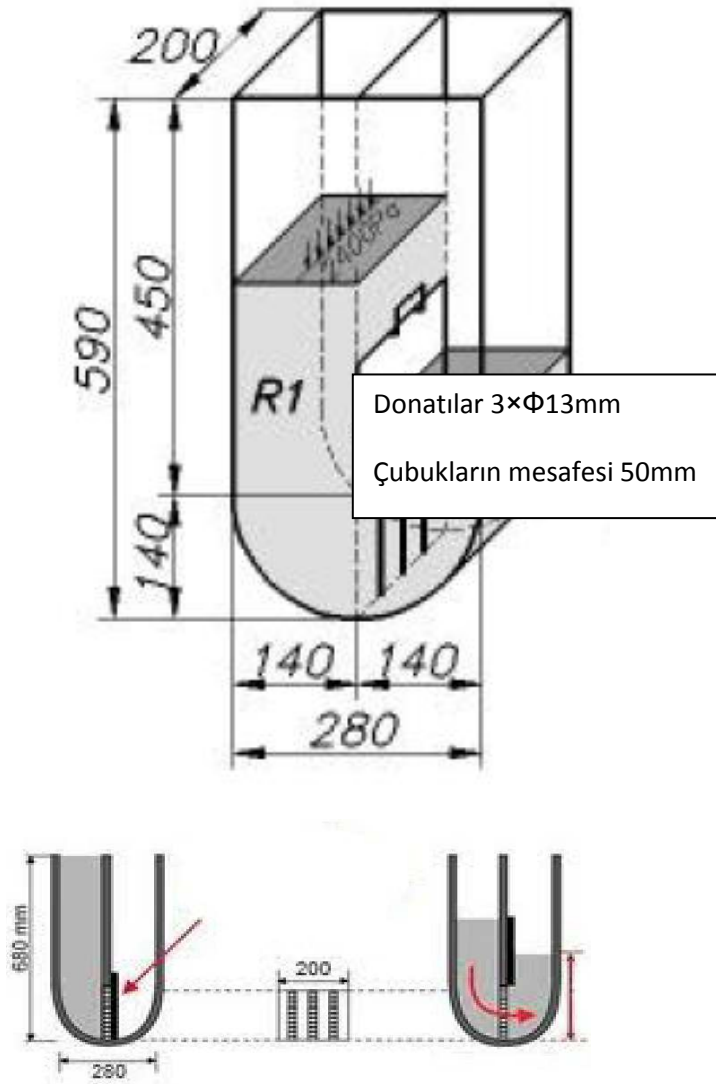
Sınıf	Aparatın çubuk sayısı	Deney sonucu	Kullanış yerleri
PA 1	2	≥ 0.8	80-100 mm arasında boşluklardan geçebilir. Genellikle konutlar ve düşey yapılar
PA 2	3	≥ 0.8	60-80 mm arası boşluklardan geçebilir. Genellikle mühendislik yapıları

3.2.6. U – Kutusu

U Kutusu deneyi Japonya'da Taisei adında bir teknik araştırma merkezi tarafından geliştirilmiştir. Deney aparatı ortasında sürgülü kapak bulunan U şeklinde bir kutudan oluşmaktadır. Kutunun ortasında 5 cm aralıklarla üç tane 13 mm çapında çubuk bulunur. Beton U şeklindeki kutunun bir tarafından içine yerleştirilir ve sürgü yukarıya doğru kaldırıldığında beton çelik çubuklardan geçerek kendi hidrolik basıncıyla diğer tarafa doğru hareket eder ve iki taraftaki yüksekliğinin de aynı olması beklenir. Fakat çubukların

etkisi altında bu her zaman gerçekleşmeyebilir ve iki tarafın beton yükseklikleri farklı olabilir. Bu farkın maksimum değeri 30 cm yi geçmemelidir.

Bu deney çok yoğun donatılı bir bölgeden, KYB nin geçiş yeteneği konusunda fikir verir. Şekil 3.5 U- Kutusunu göstermektedir.

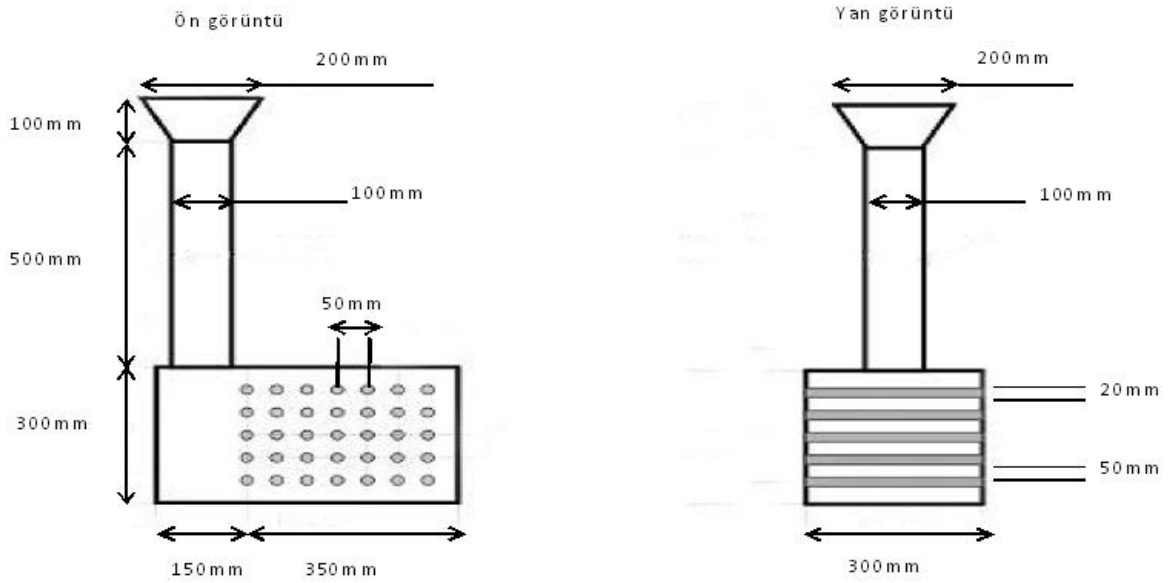


Şekil 3.5. U - kutusu

3.2.7. Dolgu Kutusu

Bu deney KYB nin geçiş ve doldurma yeteneğini değerlendirmek için yapılır ve Kajima deneyi olarakta adlandırılır. Deney aparatı şeffaf bir konteynerden oluşmaktadır ve içinde 35 tane PVC cinsinde olan donatıya benzetilmiş engel bulunur. Her 5 saniyede 1,5 ile 2 litre beton, borunun huni şeklinde olan kısmından içeriye doğru dökülür ve en üst donatının üstünde durana kadar beton dökümü devam edilir. Genelde bu deney için 45 Lt beton ihtiyac olur ve deney 8 dakikada gerçekleşir. Betonun doldurma değeri konteynerin iki tarafının beton yüksekliğini ölçerek ve boruya yakın tarafa h_1 ve borudan uzak yüksekliğe h_2 diyerek, aşağıdaki formülden elde edilir:

Geçiş yüzdesi: $\frac{h_1+h_2}{2 \times h_1} \times 100 \Rightarrow$ bu değer EFNARC komitesinin kabul kriterlerinde 90 ın üstünde olması gerekiyor.



Şekil 3.6. Doldurma kutusu

3.2.8. GTM Ekran Kararlılık Deneyi

Bu deney Fransız müteahhit GTM tarafından geliştirilmiş bir deneydir ve betonun ayrışma direncini değerlendirmek için uygulanır. Deney için yaklaşık 10 lt beton üstü

kapalı bir kovada 15 dakika bekletilir ve 50 cm yükseklikten betonun yaklaşık yarısı kadarı, 35cm çapında 5 mm açıklıklı elek üzerine dökülür. İki dakika sonra, elekten geçen beton ve elek üstünde kalan miktar tartılır.

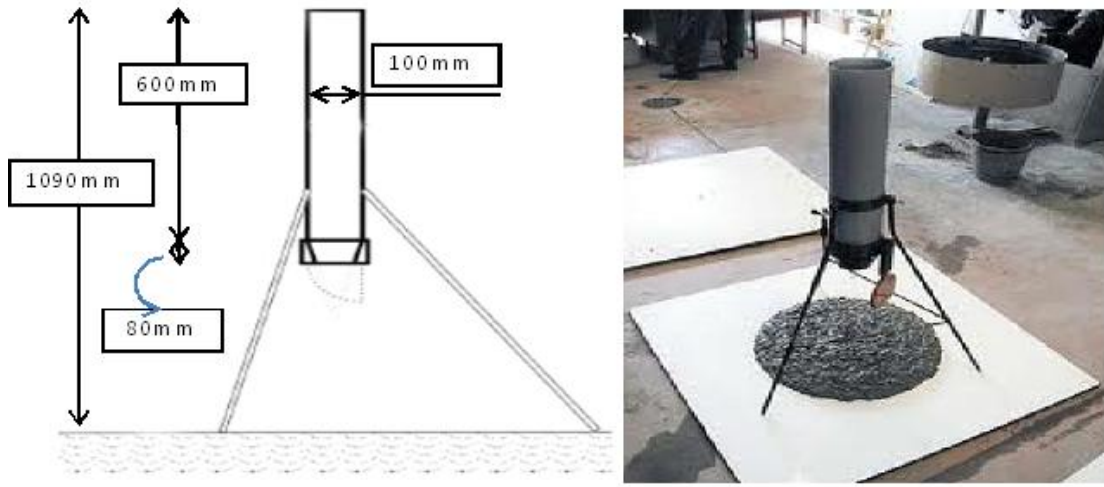
Elekten geçen betonun tüm döktüğümüz betona oranı, bizim betonun ayrışma direnci oranı olarak belirlenir. Bu miktar yüzde olarak 5'in altında ise, beton ayrışmaya direnci yüksek demektir. %5 - %15 i elekten geçmişse, ayrışma direnci kabul kriterleri içindedir ama %15'i elekten geçmişse ayrışma direnci kuşkuludur. EFNARC komitesinin standartına göre %15 üzeri kabul değildir [24,26]. EFNARC (2005) ın, bu deneye dayanarak yaptığı sınıflandırma Tablo 3.7 de görülmektedir .

Tablo 3.7. GTM deneyi sonuçlarına göre EFNARC tarafından yapılan sınıflandırma

Sınıf	Deney değeri	Kullanım yeri
SR 1	$\leq \%20$	İnce döşemeler ve 5 m den az düşey elemanlarda 80mm den küçük etriye aralıkları
SR 2	$\leq \%15$	5 m den yüksek düşey elemanlarda 80 mm den küçük etriye aralıkları

3.2.9. Orimet Deneyi

Bu deney doldurma yeteneğini ölçebilmek için Paisely üniversitesinde geliştirilmiş bir deneydir. Deneyin mantığı V hunisi deneyi gibidir. Deney aparatı şekil 3.7 gösterildiği gibi, bir dikey silindir borudan ve borunun ağzında bir ters koniden oluşmaktadır. Deney için yaklaşık 8 lt betona ihtiyaç duyulur. Silindir boru ağzına kadar betonla doldurulduktan sonra en geç 10 saniye içinde alttaki kapak açılır ve alt delikten ışık görülen süre, kronometre ile ölçülür. Bu süre 5 saniye ve altında ise EFNARC komitesinin kabul kriterleri içinde olmaktadır. Bu deneyin kolay uygulanabilmesi, avantajlarından sayılmaktadır.



Şekil 3.7. Orimet deneyi aparatı

EFNRC(2002) komitesinin KYB için önerdiği deneylerin kabul kriterleri Tablo 3.8 de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. KYB deneylerinin EFNARC tarafından önerilen kabul kriterleri

	Yöntem	Birim	Kabul kriterleri	
			en az	en çok
1	Abrams slump flow konisi	Milimetre	650	800
2	T50 cm	Saniye	2	5
3	J-halkası	Milimetre	0	10
4	V hunisi	Saniye	6	12
5	5 dakika bekletilmiş V hunisi	Saniye	0	+3
6	L – kutusu	h_2/h_1	0,8	1,0
7	U - kutusu	h_2-h_1 (milimetre)	0	30
8	Dolgu kutusu	Yüzde%	90	100
9	GTM ekran kararlılık deneyi	Yüzde%	0	15
10	Orimet	Saniye	0	5

Bu kabul kriterlerinin dışındaki sonuçları yorumlamak için Tablo 3.9 dan yararlanılabilir:

Tablo 3.9.a. Taze beton deneylerinin kabul kriterleri altındaki sonuçların yorumlanması

No	Deney	Birim	Minimum değer	Yorum Tablosunda ilgili satır	Olası Etkisi
1	Çökme-Yayılma	mm	650	A	Viskozite çok yüksek
				C	Eşik kayma değeri çok yüksek
2	T50 süresi	s	2	B	Viskozite çok düşük
3	J-halkası	mm	10	A	Viskozite çok yüksek
				C	Eşik kayma değeri çok yüksek
				D	Ayrışma
				F	Tıkanma riski
4	V-hunisi	s	8	B	Viskozite çok düşük
5	5 dakika bekletilmiş V hunisi	s		G	İmkansız
6	L-Kutusu		0.8	A	Viskozite çok yüksek
				C	Eşik kayma değeri çok yüksek
				F	Tıkanma riski var

Tablo 3.9.b. Taze beton deneylerinin kabul kriterleri üstündeki sonuçların yorumlanması

No	Deney	Birim	Maksimum değer	Yorum Tablosunda ilgili satır	Olası Etkisi
1	Çökme-Yayılma	mm	750	B	Viskozite çok düşük
				D	Ayrışma riski var
2	T50 süresi	s	5	A	Viskozite çok yüksek
				C	Eşik kayma değeri çok yüksek
3	J-halkası	mm		B	Viskozite çok düşük
				D	Ayrışma riski var
4	V-hunisi	s	12	A	Viskozite çok yüksek
				C	Eşik kayma değeri çok yüksek
				F	Tıkanma riski var
5	5 dakika bekletilmiş V hunisi	s		D	Ayrışma riski var
				E	Hızlı işlenebilirlik kaybı
				F	Tıkanma riski var
6	L-Kutusu		>1	G	İmkansız

Tablo 3.10. Taze betondaki sorunlar için çözüm önerileri [42]

Olası etki	Doldurma	Geçiş yeteneği	Ayrışma direnci	Dayanım	Büzülme	Sünme
A	Viskozite çok yüksek					
a1	Karışımın suyunu artır	+	+	-	-	-
a2	Hamur hacmini artır	+	+	+	-	-
a3	Akışkanlaştırıcı katkını artır	+	+	-	Etkisiz	Etkisiz
B	Viskozite çok düşük					
b1	Karışım suyunu azalt	-	-	+	+	+
b2	Hamur hacmini azalt	-	-	-	+	+
b3	Akışkanlaştırıcı katkını azalt	-	-	+	Etkisiz	Etkisiz
b4	VAKı artır veya kullan	-	-	+	Etkisiz	Etkisiz
b5	Toz malzemeyi incelt	+	+	+	Etkisiz	-
b6	Daha ince kum kullan	+	+	+	Etkisiz	Etkisiz
C	Eşik kayma değeri çok yüksek					
c1	Akışkanlaştırıcı katkını artır	+	+	-	+	Etkisiz
c2	Hamur hacmini artır	+	+	+	+	-
c3	Harç hacmini artır	+	+	+	+	-
D	Ayrışma riski					
d1	Hamur hacmini artır	+	+	+	+	-
d2	Harç hacmini artır	+	+	+	+	-
d3	Karışım suyunu azalt	-	-	+	+	+
d4	Daha ince toz kullan	+	+	+	Etkisiz	-
E	Hızlı işlenebilirlik kaybı					
e1	Hidratasyon hızı yavaş olan çimento seç	Etkisiz	Etkisiz	-	-	Etkisiz
e2	Priz geciktirici katkı kullan	Etkisiz	Etkisiz	-	-	Etkisiz
e3	Akışkanlaştırıcını değiştir	Belirsiz	Belirsiz	Belirsiz	Belirsiz	Belirsiz
e4	Çimentodan azalt ve filler artır	Belirsiz	Belirsiz	Belirsiz	Belirsiz	Belirsiz
F	Tıkanma riski var					
f1	D max ı azalt	+	+	+	-	-
f2	Hamur hacmini artır	+	+	+	+	-
f3	Harç hacmini artır	+	+	+	+	-
G	İmkansız					
g1	Deney şartlarını kontrol et	Hatalı	Hatalı	Hatalı	Hatalı	Hatalı

4. UÇUCU KÜLLÜ BETONLAR

4.1. Uçucu Kül

Elektrik enerjisi üretimi için, termik santrallerin çoğunda yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Kömürün %80'i 75 µm elekten geçebilecek incelikte öğütülmekte ve hava ile birlikte, buhar üretici kazanları ısıtmak amacıyla yakıt olarak püskürtülmektedir [19,45].

Termik santrallarda yakılan kömürden aşağıda belirtilen üç farklı külün elde edilmesi mümkündür:

- a) Göreceli olarak iri taneli olup baca gazları ile taşınmayan ve kazan tabanına düşen taban külü
- b) Siklon tipi ocaklarda yakılan kömürün suda soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen ham kül
- c) Çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan uçucu kül

Çevreyi olumsuz olarak etkileyecekleri için, uçucu küllerin santral bacasından çıkarak havaya karışmaları önlenir. Bu amaçla, küller mekanik ve elektrostatik yöntem ile toplanarak santral çevresinde veya başka uygun yerlerde depolanır. Zamanla biriken küller geniş alanları kaplamaya başlar ve santral idaresi için bir problem olur.

Bugün dünyada ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. Türkiyede 2007 yılında 11 termik santraldan yaklaşık 13 milyon ton uçucu kül elde edilmiştir [74].

Uçucu küllerde çok yüksek miktarda yer alan oksitler SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 tür. Bunlarla birlikte MgO , CaO , C ve Na_2O da mevcuttur. Uçucu küllerin %60 ile %90 ı amorf durumdadır. Geri kalan bölümü de, mullit, kuvars, magnetit ve hematit gibi kristallerdir [45,62]. SO_3 , alkali oksitler, titanyum, fosfor, berilyum, mangan ve molibden de eser bileşen olarak bulunabilmektedir [2,35]. Uçucu kül taneleri genellikle küresel şekilli katı parçacıklardır.

Hacminin %20 si içi boş, nitrojen veya karbondioksitle dolu parçacıklardan oluşmaktadır. Genellikle özgül ağırlıkları 2.1 ile 2.7 g/cm^3 arasında değişir. Renkleri açık griden koyu griye doğru değişmektedir. Demir miktarı arttıkça açık griye doğru ve karbon miktarı arttıkça koyu griye doğru renk değişikliği görülmektedir.

Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları için ve hemde çok ince taneli olduklarından dolayı ince taneli puzolanlara yakın özellikler göstermektedirler. Kalsiyum hidroksitle sulu ortamlarda birleştiklerinde hidrolik bağlayıcı yeteneğine sahip olurlar. Bu nedenlerden dolayı çimento üretiminde kullanabilmekle birlikte, katkı maddesi olarak da doğrudan beton üretiminde kullanabilmektedirler [29].

4.2. Uçucu Küllerin Kimyasal Sınıflandırılması

ASTM C 618 şartnamesinde uçucu küller F ve C gruplarına bölünmüşlerdir. Bu şartnameye göre uçucu küldeki CaO, %10 un altında ise uçucu kül “düşük kireçli” ve %10 un üstünde ise “yüksek kireçli” olarak tanımlanır [5]. Tablo 4.1 bu iki uçucu külün kimyasal farklarını göstermektedir.

Tablo 4.1. F ve C sınıfı uçucu küllerin kimyasal kıyaslanmaları

Sınıf	Tanım
F	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%70$, antrasit veya bitümlü kömürlerden elde edilmekte, Puzolanik özeliğe sahiptir.
C	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%50$, Linyit veya düşük bitümlü kömürlerden elde edilmekte, puzolanik özeliğin yanısıra kendiliğinden de bir miktar bağlayıcı özelliğe sahiptir.

Uçucu küllerin kimyasal özellikleri kullanılan kömürün yapısına, hazırlama şekline ve yanmasına veya toz toplama ve desülfirizasyonu gibi özelliklerine bağlıdır. Tablo 4.2 uçucu küllerin içeriklerini kimyasal açıdan göstermektedir:

Tablo 4.2. Uçucu Küllerin kimyasal kompozisyonları

Kimyasal İçerik	F sınıfı kül (CaO <%10)	C sınıfı kül (CaO >%10)
SiO ₂	43.6-64.4	23.1-50.5
Al ₂ O ₃	19.6-30.1	13.3-21.3
Fe ₂ O ₃	3.8-23.9	3.7-22.5
CaO	0.7-6.7	11.5-29.0
MgO	0.9-1.7	1.5-7.5
Na ₂ O	0.2.8	0.4-1.9
C (Kızdırma kaybı)	0.4-7.2	0.3-1.9

Uçucu küllerde az miktarda MgO, SO₃, alkali ve karbon yer almaktadır. Bu maddelerin yüksek olması pek istenmez.

MgO hidrasyon sonucunda betonda genleşmeye sebep olur. SO₃ sertleşmiş betonda etrenjit oluşumuna ve dolayısıyla genleşmeye sebep olur. Alkaliler de , reaktif silika içeren agregalarla reaksiyon olasılığını artırırılar. Karbon yüksekliği ise hava sürükleyici ihtiyacı duyulduğunda bu katkının aynı etkiyi göstermesi için daha fazla miktar ihtiyacına sebep olur [29].

Uçucu küllerde nem de olabilir. ASTM C 618'e göre nem miktarı %3'ü geçmemelidir [5]. Yüksek sıcaklıkta uçucu kül pişirildiğinde ağırlık kaybı ile karşılaşılır. Bu ağırlık kaybının çoğu uçucu külün ihtiva ettiği karbonun yanmasından kaynaklanmaktadır ve bu yüzden uçucu külün içerdiği karbon mikarı ağırlık kaybı olarak ta söylenmektedir [29].

Uçucu külün betonda katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için önerilen kimyasal kompozisyon Tablo 4.3 te gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Uçucu küllerin sahip olması gereken kimyasal kompozisyon

Bileşimler	TS 639	TS EN 450	ASTM C 618	
			F Sınıfı	C sınıfı
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70	-	70	50
SO_3 , en çok%	5.0	3.0	5.0	5.0
Nem, en çok%	3.0	-	3.0	3.0
Kızdırma kaybı(C), en çok%	10.0	5.0	6.0	6.0
MgO , en çok %	5.0	-	-	-
Cl^- , en çok%	-	0.1	-	-
Na_2O , olarak alkalılar en çok%	1.5	-	1.5	1.5

Uçucu külün mineralojik bileşimi, külün puzolanik özelliklerini de etkiler. Düşük kireçli uçucu küldeki kristalsız fazın yapısı SiO_2 açısından zengin, oldukça polimerize silisi veya alüminyum da içeren alüminosilikat bileşimindedir. Silis veya alüminosilikat kristalsız fazı, düşük kireçli külün reaktif bileşeni olup, su ve kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek, küle puzolanik özellik kazandırmaktadır.

Yüksek kireçli küldeki aktif bileşen ise içinde silisyum da içeren kalsiyum alüminat kristalsız fazının yanı sıra, serbest kireç, anhidrit, kalsiyumalüminat gibi aktif kristalize fazlardır. Yüksek kireçli külün kristalsız fazı ve kristalize fazları, külün puzolanik özelliğin yanı sıra, kısmen kendiliğinden bağlayıcı özelliğe de sahip olmasını sağlamaktadır [2,26].

4.3. Uçucu Külün Betona Etkisi

Uçucu külün katkı maddesi olarak betonda kullanması olumlu ve olumsuz etkilere sebep olur.

Olumlu etkiler:

- ❖ Taze betondaki işlenebilmeyi artırmak
- ❖ Taze betonda terlemeyi azaltmak
- ❖ Betonun hidratasyon ısını azaltmak
- ❖ Sertleşmiş betonun geçirimsizliğini azaltmak

- ❖ Betonun maliyetini düşürmek

Olumsuz etkiler:

- ❖ Betonun prizini geciktirmek. Prizin gecikmesi donma tehlikesi olduğunda hiç istenmeyen bir olaydır.
- ❖ İlk günlerde betonun dayanım kazanma hızını düşürmek ve daha uzun bir süre kür gerektirmek.
- ❖ Uçucu kül betonda belirli miktarda sürüklenmiş hava elde edebilmek için daha çok miktarda hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılmasını gerektirir.

Uçucu küllü betonların işlenebilmesi, katkısız betonlarınkinden daha iyi olmaktadır.

Zira:

- Uçucu külün yoğunluğu portland çimentosunun yoğunluğundan daha azdır ve bu nedenle, puzolanik beton yapımı için çimento ağırlığının bir bölümünün yerine uçucu kül kullanıldığında, betondaki bağlayıcı hamurun hacmi artmaktadır. Daha büyük hacime sahip bağlayıcı hamur, taze betondaki agrega tanelerinin arasını daha iyi doldurmakta ve plastiklik sağlamaktadır.
- Uçucu külün tanelerinin çoğunluğunun küresel olması nedeni ile iç sürtünme azalarak betonun akıcılığı artar.

Betondaki bağlayıcı hamurun hacmindeki artış ve uçucu kül taneciklerinin sürtünmeyi azaltarak betona daha fazla akıcılık sağlamaları, taze betonun pompalanabilirliğini artırmakta, yüzeyinin daha kolay düzeltilebilir olmasına yol açmakta, kalıpları daha kolay sökülebilir duruma getirebilmektedir.

Bazen, betondaki çimentonun azaltılan bölümü yerine kullanılan uçucu küle ek olarak, ince agreganın bir bölümünün yerine de uçucu kül kullanılmaktadır. Bu tür betonların pompalanabilirliği daha da artmaktadır [29].

Uçucu kül katkılı betonlarda yer alan portland çimentosu miktarı, katkısız betondakine göre daha azdır. Uçucu kül katkılı betonların priz süreleri katkısız betondakinden genellikle daha uzun olmaktadır. Priz süresi, kullanılan uçucu külün tipine ve inceliğine göre değişmektedir. C sınıfında olan uçucu küller, F sınıfına ait olan uçucu küllerden daha hızlı priz süresine sahiplerdir [12,30].

Uçucu kül katkılı betonlarda daha az portland çimentosu yer aldığından, bu tür betonların hidratasyon ısıları, katkısız betondakinden daha az olmaktadır.

Beton karışımındaki ince taneli maddelerin artması, katı tanelerin yüzey alanlarının artmasına yol açmaktadır. O durumda katı taneler, beton karışımının içerisindeki suyu kendilerine daha iyi bağlamakta ve terlemeyi azaltmaktadır. Böylelikle inceliği yüksek olan uçucu küllerden yapılan betonların terlemesi daha az olmaktadır [29].

Uçucu küllerin tanelerinin inceliği, doldurabilirlik yeteneklerini artırarak betonun geçirimsizliğini de azaltmak yönünde etkiler.

5. BETONUN KÜRÜ

5.1. Betonun Olgunluğu

Betonun sıcaklığı, hidratasyonun hızını etkilemektedir, ancak bu sıcaklık belirli bir düşüşe uğradığında, normal şartlarda hidratasyon durmuş olur. Zaman geçtikçe hidratasyon ilerlemekte olduğu için, geçen süre hidratasyonun ne ölçüde gerçekleştiğini algılamak açısından bir başka faktör sayılır. Dolayısıyla betonun sıcaklığı ve yaşı, hidratasyonun ne ölçüde gerçekleşmiş olduğunu ve bundan hareketle betonun eriştiği dayanımı gösterebilmektedir. Bu kavramdan betonun hidratasyonunun ölçüsü olarak “betonun olgunluğu” tarif olunur. Nurse-Saul olgunluk değeri bulmak için betonun sıcaklığına, betonda bulunması gereken en düşük sıcaklığın eklenmesi ile geçen süreyi çarparak olgunluk değeri elde etti. (Betonda bulunması gereken en düşük sıcaklık genellikle -10 °C alınır.)

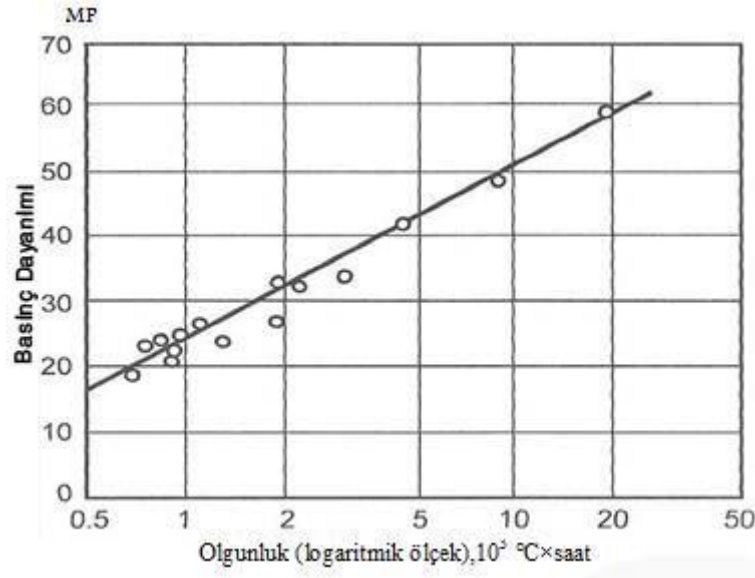
$$\text{Olgunluk faktörü} = \sum T \times \Delta t$$

$$T = C + 10, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C = \text{Betonun sıcaklığı, } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \text{Sabit sıcaklıkta geçen zaman süresi (saat veya gün)}$$

Betonun olgunluk faktörü dökülmüş betonun elde ettiği basınç dayanımının bir göstergesidir. Plowman 2°C , 13°C ve 23°C ta kür ettiği farklı beton numunelerinden betonun olgunluk değeri ile basınç dayanımının ilişkisini yarı logaritmik bir grafikte aşağıdaki Şekil 5.1 deki gibi gösterdi [49].



Şekil 5.1. Olgunluk ve basınç dayanımının ilişkisi

5.2. Betonun Kür Süresi

Betonun yirmi sekiz günlük basınç dayanımı, basınç dayanımı olarak alınır ancak yirmi sekiz gün kür pratikte pek mümkün olmadığı için kür süresini kısaltmak gerekir. ACI 308 de bu sürenin en az 28 günlük basınç dayanımının %70 ine ulaşmasını tavsiye etmiştir fakat bu değere ulaşacak zamanı belirlemek için aşağıdaki iki faktörden birinin dikkate alınması gerekmektedir:

- 28 günlük basınç dayanımına dayanarak

28 günlük basınç değerinin %70 i, yedi gün içinde elde edilir. Dolayısıyla kür süresinin en az yedi gün olması gerekir [4].

- Olgunluk faktörüne dayanarak.

Hedeflenen 28 günlük basınç dayanımı, laboratuvarında normal bir sıcaklıkta elde edilen dayanımdır. Bu sıcaklığın elde ettiği olgunluk faktörü 28 gün için: $(C_1+10) \times 28$ dir. Şantiyede kür süresini belirlemek için hedeflediğimiz basınç dayanımının laboratuvardaki sıcaklığa göre %70 ine erişeceği olgunluk faktörünü bulup, şantiyedeki sıcaklığa göre, kür süresini belirleriz:

$$\Delta t_1 = \frac{(C_2 + 10) \times \Delta t_2}{(C_1 + 10)}$$

C₁: Şantiyedeki Sıcaklık

C₂: Laboratuvardaki Sıcaklık

Δt₁: Kür Süresi

Δt₂: Laboratuvar Sıcaklığında 28 günlük basınç dayanımının %70 ine erişeceği süre [29].

5.3. Kür Yöntemleri

Genellikle taze betonda su miktarının optimum değer altına düşmemesi, tüm kür yöntemlerinin ortak amacıdır. Ancak bazı yöntemler hidratasyonun hızlandırmasını da sağlamaktadırlar. Buna baktığımızda betonun normal hızda kür yöntemleri ve hızlı kür yöntemleri vardır [58].

5.3.1. Betonu Normal Hızda Kür Yöntemler

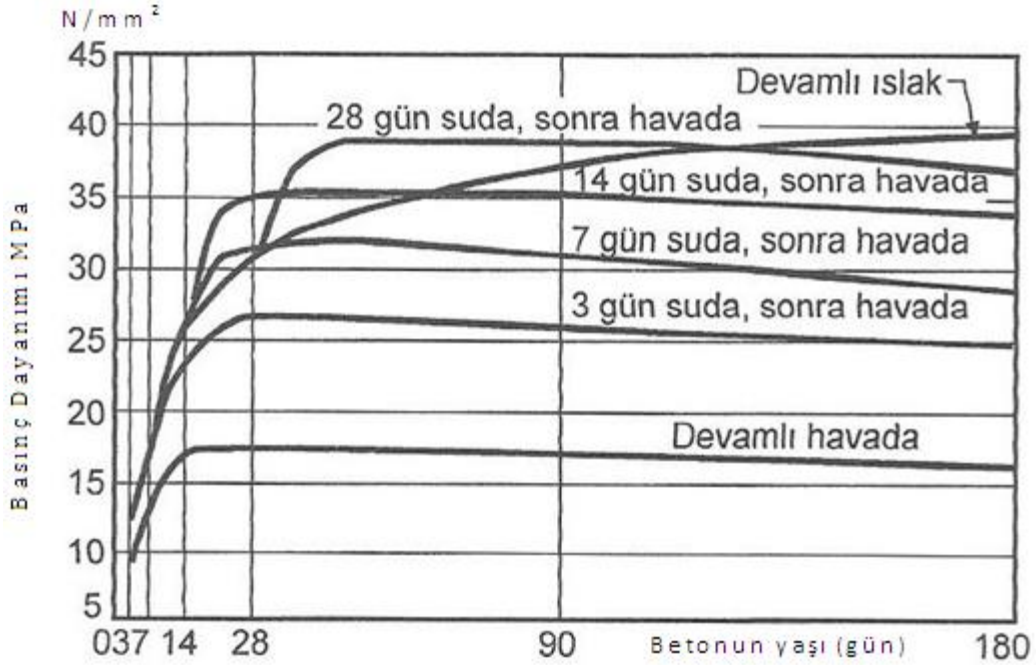
Betonu normal hızda kür etmek için kullanılan yöntemler:

5.3.1.1. Betonun Islak Durumda Kalabilmesini Sağlayan Kür Yöntemleri

Betonun ıslak durumda kalabilmesi için üzerine çim sular gibi su serpiştirmek pratik bir yöntem sayılır. Su serpiştirme belirli aralıklarda veya kesintisiz uygulanabilir fakat taze betonda aşınmayı önlemek için su serpiştirme basıncı yüksek olmamalıdır. Bu yöntem, pratik olmasına rağmen çok fazla su kullandığından ekonomik bir yöntem olmamaktadır. Betonun ıslak durumda kalabilmesi için betonun yüzeyini ıslak tutmak, pratik ve en ekonomik bir yöntemdir. Beton yüzeyini ıslak durumda tutabilmek için, betonun yüzeyine su emebilen çuval bezi veya pamuklu kumaşlar serip bu bezler ıslak tutulur.

Betonun ıslak durumda kalabilmesi için bazen döşemeler gibi yüzeyi yatay betonların kenarlarında geçici duvar oluşturulur ve havuz gibi bir ortam yaratılıp, beton 5-10 cm yükseklikte su içinde göllendirilir. Bu yöntem “göllendirme yöntemi” olarak tanımlanmaktadır. Normal hızla kür yöntemleri içinde en iyi sonuçlar göllendirmeden elde edilsine rağmen bu yöntem fazla işçilik ve zaman ihtiyacı yüzünden ekonomik bir

yöntem sayılmamaktadır. Üstelik yapıların çoğunda pratik bir yöntem değildir. Şekil 5.2 de göllendirme yöntminin basınç dayanımındaki etkisi gösterilmiştir [29].



Şekil 5.2. Göllendirme yöntemi ile elde edilen basınç dayanımları

5.3.1.2. Betonda Su Kaybını Önlemek Amacıyla Uygulanan Kür Yöntemleri

Betonda su kaybını önlemek için, buharlaşmayı önlemek gerekir. Bu yüzden betonun yüzeyini su geçirmeyen bir malzemeyle kapatarak, buharlaşma önlenir. Plastik örtüler bu iş için en uygun malzemedirler. Fakat betonun yüzey görünüşü önemseniyorsa, bu örtülerin kullanması sonucu renk farkı oluşabileceği unutulmamalıdır. Su kaybını önlemek için beton yüzeyini kaplayacak bir başka yöntem sıvı şeklindeki parafin esaslı kimyasallar, reçineler ve bitümlü malzemeler kullanarak beton yüzeyini kapatmaktır. Bu malzemeleri püskürterek veya elle sürmek gerekir, fakat bu işlem betonun üst kısımlarının zayıf olmaması için, betondaki terleme sona erdikten sonra başlamalıdır.

5.3.2. Betonun Hızlı Kür Yöntemleri

Betonun sıcaklığı hidratasyon hızını etkilemektedir [48,54]. Arrhenius bu etkiyi aşağıdaki formül ile göstermiştir [20]:

$$K = Ae^{\frac{-E}{RT}}$$

Burada



K: Reaksiyon hızı

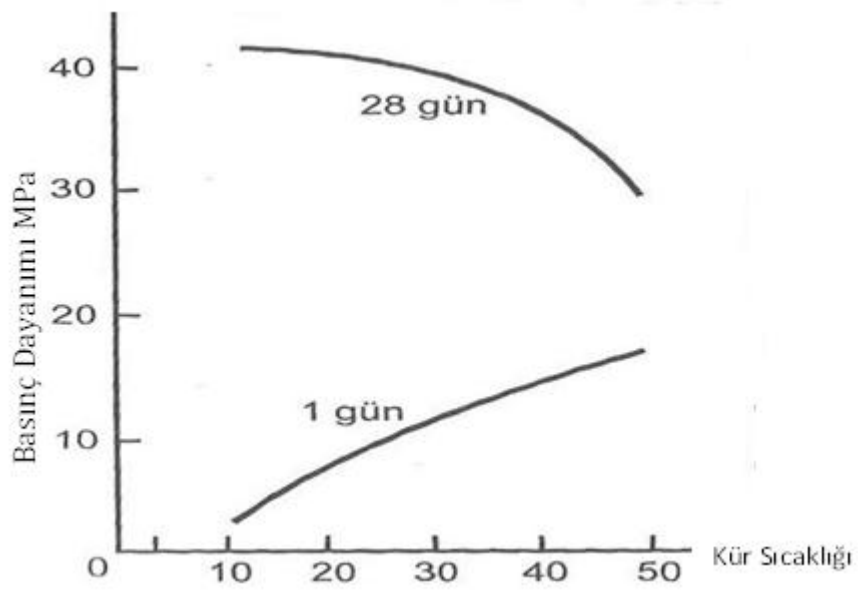
A: Katsayı

E: Aktivasyon Enerjisi

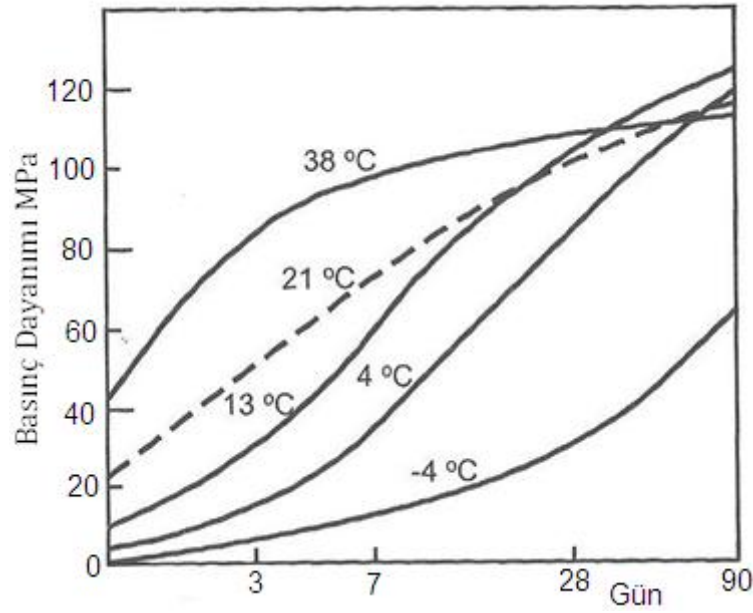
R: Gaz sabiti

T: Mutlak sıcaklık (°K)

Şekil 5.3 de, betonun kür sıcaklığının farklı yaşlarında basınç dayanım kazancındaki etkisini gösteriliyor [29]:



Şekil 5.3. Kür sıcaklığına bağlı olarak 1 ve 28 günlük dayanımlardaki değişim



Şekil 5.4. Değişik sıcaklıklarda kür edilen betonun basınç dayanımının yaşa bağlı değişimi

Betona ısı işlem uyguladığında, priz hızının arttığı görülüyor. Bu işlemler genellikle betonun hızlı kür yöntemleri kapsamında yer almaktalar. Betonun hızlı hidratasyonu için yapılan ısı işlemler, beton yerleştirilmeden önce veya sonra uygulanabilmektedirler. Betonun yerleştirmeden önce ısıtılması için, ya beton karışımında yer alan malzemeler [65], ya da betonun kendisi mikser içinde veya yerleşmeden hemen önce elektrodlarla bir özel kaptan ısıtılmalıdır [47,50]. Yerleştirmeden önce ısı işlem uygulanan beton, Sıcak Beton adıyla geçer [14,38,47,78].

Betonda ısı işlem genellikle yerleştirdikten sonra içten veya dıştan ısıtma şeklinde uygulanır. İçten ısıtma elektrik, dalga ve çevreyi ısıtma yöntemleriyle gerçekleştirilir:

- a. İç ısıtmada uygulanan elektrik yöntemleri:
 - i. Joule ile (elektrik) ısıtma
 - ii. Yüksek frekanslı elektrik alanı ile ısıtma
 - iii. Donatılardan elektrik geçirmek ile ısıtma
- b. İç ısıtmada uygulanan dalga yöntemleri:
 - i. Mikrodalgalar ile ısıtma
 - ii. Donatıya elektromanyetik endüksiyon uygulama
- c. İç ısıtmada uygulanan çevre ısıtma yöntemleri:
 - i. Beton yalıtımı ile, hidratasyon ısının açığa çıkmasını önleyerek ısıtma

ii. Betondan basınç altında buhar geçirmek ile ısıtma

Betonun dışarıdan ısıtılması için ise kızıl ötesi ışınlardan faydalanılır [16,53] Ancak prefabrik betonlarda daha ziyade betonun çevresini ısıtma yöntemleri yaygındır. Bu yöntemler aşağıdaki gibi özetlenebilirler:

- i. Betonun çevresini sıcak hava oluşturmak ile ısıtmak [13].
- ii. Betonu buhar kürü ile ısıtmak [3,29].
- iii. Betonun kalıbını ısıtmak [47,65].
- iv. Betonu sıcak sıvıya daldırmak [6].

Bu yöntemlerin ortak özellikleri, sıcaklığı artırarak hidrasyonu hızlandırmaktır. Prefabrik yapılarda üretimlerin depo maliyetlerinde düşüş sağlamak amacıyla, betonu kalıptan erken çıkarmak ile kalıplardan daha fazla yararlanmak, zarar görmüş binalarda acil onarım mecburiyeti duyulduğunda, binaları acil hizmete sokmak veya donma gibi tehlikelerin karşısında betonun acil dayanım kazanması gerektiğinde, betonda hızlı kür yöntemlerine başvurmada fayda vardır. Fakat bu amaç için söylenen yöntemler ekonomik ve pratikte uygulanabileceği şartlara göre seçilmelidir. Buna ramen ısıtma işlemi prefabrik elemanlarda daha yaygındır ve bu elemanlarda en yaygın yöntem buhar kürüdür [29].

5.4. Buhar Kürü

Betondaki hidrasyon için gereken suyu, ısıtma işlemi uygulandığı esnada betonun bünyesinde tutmak zordur. Bu yüzden kuru ortamda ısıtma işlemi uygulandığında, betonun basınç dayanımında yaklaşık %50 azalma gibi olumsuz bir sonuç görülmektedir [47]. Dolayısıyla su kaybını önlemek için bağıl nemin yüksek olduğu bir ortamda ısıtma işleminin uygulanması, daha başarılı sonuçlar verebilir ve bu yüzden buhar kürü başka ısıtma işlem yöntemlerinden daha çok ilgi görmektedir [58].

Buhar kürü betona normal atmosfer basıncında veya daha yüksek bir basınçla uygulanabilir. Bunun için iki farklı buhar kürü uygulanır:

1. Atmosferik basınçlı buhar kürü.
2. Yüksek basınçlı buhar kürü [29,40]

5.4.1. Atmosferik Basıncılı Buhar Kürü

Bu yöntem ile kür edilecek betonlar, içerisinde buhar oluşturulan ve bu buharı kaçırmayacak şekilde üretilmiş odalar veya tüp gibi tünellerde yerleştirilirler. Bazen de buhar kürü olacak beton ,söylenen buhar kaçırmama özelliğine sahip olan plastik örtülerle kaplanabilir. Bu durumda betonu taşımak gerekmez, kendi yerinde bile buhar kürü uygulamak mümkündür. Normal basınç altında buhar kürü uygulanan betonlarda, kür süresi beş bölümden oluşmaktadır. Bu beş bölüm:

1. Ön bekleme süresi (t_1)
2. Isıtma süresi $\{ (T_i - T_b) / t_2 \}$
3. İşlemin maksimum sıcaklıktaki süresi (t_3)
4. Soğutma süresi $\{ (T_i - T_b) / t_4 \}$
5. İşlem sonrası dönemi

Taze beton dökümden hemen sonra buhar kürüne maruz kalmamalı, bir süre beklendikten sonra ısıtma işlemi başlamalıdır. Bu süre ön bekleme olarak tanımlanır. Isıtma işlemi sırasında, sıcaklığın etkisiyle beton genişler fakat beton kompozit bir malzeme olduğu için homojen bir genişlemenin gerçekleşmesi zordur. Zira taze betondaki bileşenlerin genişleme katsayıları çok farklıdır. Bu yüzden taze betonu belirli bir dayanım kazanmadan ısıtma işlemi tabi tutmak çok fazla deformasyona yol açar. Tablo 5.1 de, beton içinde kullanılan malzemelerin genişleme katsayıları gösterilmiştir [60].

Tablo 5.1. Bazı malzemelerin ısıtma genişleme katsayıları

Malzeme	Genleşme Katsayısı
Mermer	11.7×10^{-6}
Kalker	$5-5.6 \times 10^{-6}$
Kalsit	12.1×10^{-6}
Kum	$8-13 \times 10^{-6}$
Normal Kum	$11.5-11.9 \times 10^{-6}$

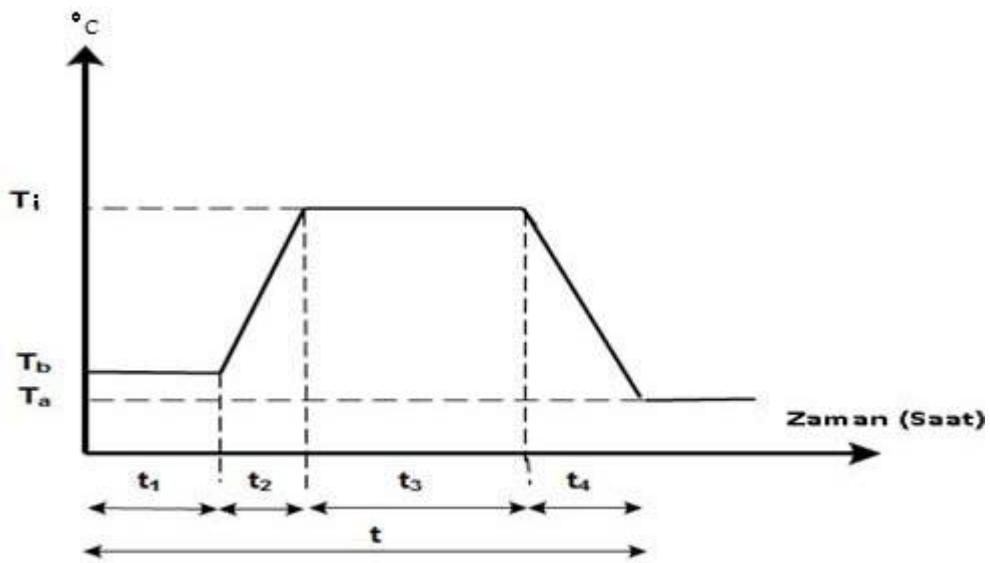
" Tablo 5.1'in devamı "

Sertleşmiş çimento hamuru	$11-14 \times 10^{-6}$
Sertleşmiş Beton	$8-13 \times 10^{-6}$
Su (20°C)	200×10^{-6}
Su (60°C)	500×10^{-6}
Hava	2000×10^{-6}

Ön bekleme süresi sona erdikten sonra sıcaklığın maksimuma erişmesi için geçen süre ısıtma süresi olarak tanımlanır. Isıtma hızı sabit olmalıdır. Isıtma hızının yüksek olması betonun ileri yaştaki dayanımı açısından olumsuz bir faktördür.

Buhar kürüne maruz betonun maksimum sıcaklıkta tutulduğu süre, işlem süresidir. Buhar kürünün çeviriminde bu dönem en önemli dönem olarak hidrasyonun hızlanmasını sağlayan dönemdir.

İşlem süresi bittikten sonra betonun soğutulması aniden olmamalıdır. Dolayısıyla soğutma belirli bir süre içinde uygulanacağından, geçirilen süre soğutma süresi olarak tanımlanır. Şekil 5.5 bir bütün buhar kürü çeviriminin bölümlerini, şematik olarak göstermektedir.



Şekil 5.5. Buhar kürü çeviriminin şematik gösterimi

Buhar kürünün toplamda süren çevirmine göre, üç çeşit çevrim uygulanabilir:

- i. Hızlı çevrim
- ii. Ilımlı çevrim
- iii. Yumuşak çevrim (Yavaş çevrim)

5.4.1.1. Hızlı Çevrim

Toplam çevrim süresi 6 ile 7 saat olur. Ön bekleme süresi bir saattir ve ısıtma süresinde sıcaklığın artış hızı saati 30°C a yaklaşır. Maksimum sıcaklık 80 ile 90°C arasında olmalıdır. Bu çevrimde beton elemanlarının en hızlı şekilde kalıptan çıkarılmaları mümkün olur.

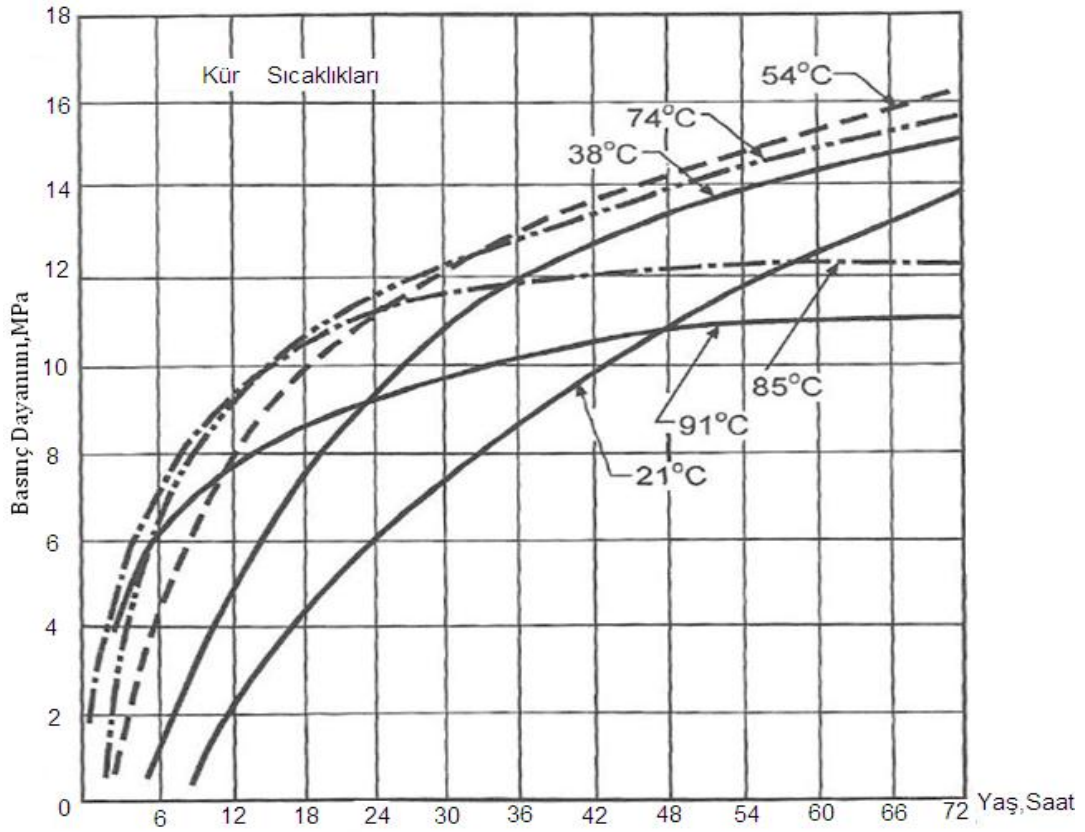
5.4.1.2. Ilımlı Çevrim

Toplam çevrim süresi 11 saattir. Ön bekleme 2 ile 3 saat arasında olmalı ve ısıtma süresinde sıcaklığın artış hızı $15 - 20^{\circ}\text{C} / \text{Saat}$ tir. Maksimum sıcaklık 70 ile 75°C dir. Bu çevrimde betonun soğutma süresi bitmeden, $30-40^{\circ}\text{C}$ de iken, kalıplar alınabilir.

5.4.1.3. Yumuşak Çevrim

Bu çevrimin toplam süresi 20 ile 22 saattir. Bazen ön bekleme dışındaki toplam sürenin 18 saati geçmemesi tavsiye olunur [54]. Ön bekleme 4 saat, İşlem sıcaklığı 55 ile 65°C düzeyindedir. Isıtma süresinde sıcaklığın artış hızı saatte 10°C olması tavsiye olunur ve kalıbı soğuma sona erdikten sonra alınır [58].

Maksimum sıcaklığın yüksek olması, erken yaşlarda dayanım kazanma açısından iyi sonuçlar verse bile betonun yaşı ilerledikçe ters bir etki göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında en optimum maksimum sıcaklık 55 ile 75°C arasındadır. Şekil 5.6 farklı maksimum sıcaklıklara tabi tutulan betonun yaşına göre kazandığı basınç dayanımlarını göstermektedir [29].



Şekil 5.6. Farklı maksimum sıcaklıklara tabi tutulan betonun yaşına göre kazandığı basınç dayanımları

5.4.2. Yüksek Basıncılı Buhar Kürü

Yüksek basınçlı buhar küründe beton otoklavda 6 ile 10 atmosferik basınçta, 140 ile 220 °C lık bir maksimum sıcaklığa maruz bırakılır [48]. Yüksek basınçta buhar kürünün çevrimi, normal basınçta buhar kürü gibi beş bölümden oluşmaktadır:

1. Ön bekleme süresi
2. Basınç ve sıcaklığın artış süresi
3. İşlemin maksimum basınç ve maksimum sıcaklık süresi
4. Basıncın boşaltılma ve soğutma süresi
5. İşlem sonrası dönemi

Bu yöntem ile kür görecekt betonlar, otoklav odasında basınç ve sıcaklığa maruz kalmadan, normal basınç ve normal sıcaklıkta (20°C) bir süre bekletilmelidirler. Bu süre ön bekleme süresi olarak tanımlanır. Ön bekleme tamamlanınca, betonlar otoklava

yerleştirilir ve otoklavın içindeki basınç ve sıcaklık artırılır. Basıncın ve sıcaklığın artış süresi yaklaşık 3 saat olmalıdır.

Otoklavın iç sıcaklığı ve basıncı maksimum değere ulaştıktan sonra, 7 ile 10 saat sabit tutulur. Bu süre sona erdiğinde, otoklavın basıncı ve sıcaklığı en az 2 saat içinde boşaltılır ve soğutulur. Tüm ısıtma işlem yöntemlerinde, beton 100°C in altında bir maksimum sıcaklığa maruz kalır, ama basınçlı buhar kürü yönteminde maksimum sıcaklık 140-220°C'ı bulur ve bu da, bu yüksek sıcaklığa maruz tutulan betonun başka yöntemlerle ısıtma işlem gören betonlardan farklı olmasını gerektirir.

Portland çimentosu içerisindeki kalsiyum silikatlar, su ile reaksiyona girip, bağlayıcı tobermorit jelleri ($C_3S_2H_3$) ve kalsiyum hidroksit (CH) oluşturmaktadır. Fakat yüksek basınçlı buhar kürü uygulandığında, bağlayıcı $C_3S_2H_3$ jeller basınç ve sıcaklığın yüksekliği etkisinde kristal yapılu kalsiyum-silika-hidrite ($\alpha-C_2SH$) dönüşmektedirler ve bu da betonda dayanımın düşüşüne sebep olur, üstelik gözenekli bir beton elde edilir [48,54,55]. Bu nedenden dolayı, yüksek basınçlı buhar kürüne maruz kalacak betonların değişik bir kompozisyona sahip olmaları gerekir. Bu değişikliği bir miktar silis içeren ince öğütülmüş madde sağlayabilir. Zira portland çimentosundaki kalsiyum silikatlı bileşenlerin reaksiyonları sonucu oluşan kalsiyum hidroksitler (CH) sıcaklık etkisi ile karışımdaki mevcut silis (S) ile C-S-H jelleri oluşturur ve bu reaksiyonun sonucunda oluşan C-S-H jelleri, betonun daha az kristalli ve kalsiyum içeren yapıya sahip olmasına sebep olur. Bu reaksiyonların sonunda maksimum basınç ve sıcaklık dönemi devam ediyorsa, oluşan C-S-H jelleri yine kararsızlaşıp, kristal şekline dönüşme tehlikesini yaşarlar. Dolayısıyla silis miktarının optimum olmasıyla birlikte maksimum sıcaklık ve basınç süresi de gerektiğinden fazla (maksimum 10 saat) uzamamalıdır [48,54,55].

Yüksek basınçlı buhar kürüne maruz tutularak üretilmiş silisli betonlarda:

- 24 saat içerisinde, normal kür uygulanmış 28 günlük basınç dayanım değeri elde edilir.
- Normal kür edilen betona göre daha az rötre olayı yaşanır. (yaklaşık $\frac{1}{3}$ daha az)
- Kalsiyum hidroksitlerin silisle reaksiyona girmesi sonucunda, daha az kalsiyum-hidroksit-kalmış olur, dolayısıyla çiçeklenme gibi olayların yaşanma olasılığı azalır. Aynı sebepten dolayı, betonda daha az kalsiyum-alümino-sülfohidrat oluşur ve bu da betonun sülfatlara karşı dayanıklı olduğu anlamına gelir.

- d. Bu yöntemle üretilen beton elemanlarda nemlilik daha az miktarda olur.
- e. Bu yöntemde elde edilen betonlar açık renge sahip olduklarından, renkli pigmentlerin kullanmasıyla, kolaylıkla renkli bir beton üretilebilir [29].

6. BETONDA DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ

6.1. Termodinamik Denge

Doğa yasalarına göre maddeler en düşük enerjili doğal konumlarına geçmeye eğilimlidirler. Demirin paslanması olayında olduğu gibi, bu termodinamik denge halidir [11]. Mühendis genel olarak, ısı iletkenliğinin kararlı durumu ile olduğu gibi, kararsız durumu ile de alakalıdır. Kararsız durumda ısı iletimi bir sıcaklık değişikliği yapar ve böylece ısı değişme oranını azaltır.

Isının çevredeki şartlar yüzünden kararsızlığı ve bu yüzden sıcaklığın doğada değişken olmasından dolayı, termodinamik teorisine baktığımızda, doğayla temasta olan her şey bu termal değişikliklerden etkilenir.

Bu etki her malzemenin molekül oluşumuna göre farklıdır. Fakat beton gibi kompozit malzemelerde bu etkinin daha karmaşık olduğu ve çok bilinmeyenli bir denklem oluşturduğu bilinmektedir.

6.2. Donma-Çözülmenin Taze Betonda Etkisi

Beton taze haldeyken, suya doymuş toprağa benzemektedir ve bu durumda su donarsa oluşan %9 hacim artışının basıncı yüzünden buzun boşluklara hareketi, plastik kıvamda olan beton ile önlenemez ve buz parçacıklarının hareketi ile kütle transferi oluşur ve böylece su da betonda dolaşarak buzun büyümek için ihtiyacı olan suyu temin eder.

Bu arada genellikle agregaların, çimento harcından daha büyük özgül ağırlığa sahip olmaları nedeniyle ısı iletkenlikleri daha iyidir ve bu yüzden soğuk havada su donmaya başladığında agregalar çimento harcından daha çabuk soğur ve agreganın harçtan daha soğuk olması, bağıl basıncın agrega olan yerlerde daha düşük olması anlamına gelir. Bu yüzden su agregalara doğru hareket eder.

Bu su agregaya ulaştıktan sonra, agreganın çevresini büyüterek bir buz filmi oluşturur ve bu film büyür, genişir ve sonuçta agregayı çimentodan fiziksel olarak da kopartır. Bu kopma sonucu agrega, harçtan kolaylıkla ayrılabilir. Taze betonda agreganın su emme kapasitesinin yüksek olması, film tabakasının oluşumunu zorlaştırır ve hasarın derecesini düşürür. Bu tarz agregalara örnek hafif betonlarda kullanılan agregalar olabilir [11].

Agreganın özgül ağırlığına ilave olarak, betondaki çimento harcının hidratasyonunun ekzotermik olması da kütle transferinin bir başka nedenidir ve bu da suyun normal donmasını engeler. -5°C de bile beton suyunun %8 inin donmamasına sebep olur ve aynı sebepten -45°C de bile suyun %4 ü donamaz. Bu yüzden sıvı şeklinde kalan su, çimento ile reaksiyona girer ve ekzotermik bir reaksiyon neticesinde ve bağıl sıcaklık farkından, su daha soğuk bölgelere ve donmuş sulara doğru hareket ederek, orada donar ve buz kütlesini daha da büyütür.

Beton kütlesinin iç bölgelerinin, dışarıdaki soğuk hava ile direkt temasta olan yüzeyden daha sıcak olması nedeniyle su içeriden yüzeye doğru akar ve bu sular dış bölgelere ulaştıklarında donarak, betonun yüzey bölgesinde yeni oluşmaya başlayan düzeni bozar.

Dona maruz kalmış taze betonda hidratasyonun ihtiyaç duyduğu su azaldığından, betonun priz hızı düşer, bazen donma olayı hızlı gerçekleştiğinde tamamen hidratasyon durabilir. -12°C altında betonun dayanım kazanmadığı düşünülmektedir. Bu derece bazı araştırmacılar tarafından -10°C olarak ta verilmektedir [11].

Havanın sıcaklığı yükseldiğinde dona maruz kalmış taze betondaki buzların çözülmesi ile birlikte, bu buzların hapsoldüğü boşluklar ortaya çıkar ve hidrate olmuş çimento jelleri bu boşlukları dolduramadığından, bol boşluklu ve homojenliği, agrega-harç aderansı bozulmuş bir beton olur. Beton ancak, buzun oluşturduğu genişlemeye karşı koyabilecek yeterli dayanıma ulaştıktan sonra ilk donma periyodunu zararsız atlatabilir.

Baradan ve arkadaşları (2002), bu basınç dayanımının yeterli değerini 5 ile 14 MPa olarak belirtmiştir. Donun taze betona zarar vermemesi için gereken süre Tablo 6.1 da verilmiştir.

Tablo 6.1. Donun taze betona zarar vermemesi için gerekli beton yaşı

Çimento Tipi	Su/Çimento	Kür sıcaklığına bağlı olarak taze betonun don etkisinden zarar görmemesi için gerekli süre (saat)			
		5°C	10°C	15°C	20°C
Normal Portland	0,4	35	25	15	12
	0,5	50	35	25	17
	0,6	70	45	35	25
Hızlı Dayanım Kazanan	0,4	20	15	10	7
	0,5	30	20	15	10
	0,6	40	30	20	15

Taza betonun dona maruz kalmasını önlemek için aşağıdaki öneriler verilmektedir:

- Betonun üretimi sırasında kullanılan araçlar ve gereçlerin oldukça sıcak tutulması.
- Taze betonun döküm sırasında ve sonrasında yaklaşık 15°C altında düşmesine izin vermemek [11].
- Donma-Çözünme dayanıklılığını yükselten katkı maddeleri, hava sürükleyici, priz hızlandırıcı ve suyun donma derecesini düşüren katkıların kullanılması (katkı maddelerinde hava sürükleyiciler genellikle 0°C ye ve akışkanlaştırıcılar -10°C ye kadar dona karşı dayanıklıdır [82].)
- Betonun, havanın en sıcak olabileceği zaman dökülmesi.
- Beton karışım maddelerinin uygun seçilmesi (Çimento, Agregat,...)

6.3. Sertleşmiş Betonda Donma-Çözülme

Sertleşmiş bir beton suya doygun ise, boşluklardaki su soğuk havada donmaya başlar ve boşluklardaki su donarken genişir. Bu genişmeden ince bir çatlak oluşur ve eğer buz çözülüp tekrar donarsa bir önceki donmadan doğan çatlak daha da genişleyip büyüyür ve donmanın etkisi daha da artar. Bu yüzden uzun süreli tek bir donma olayı, peş peşe donup

    lmeye g  re daha zararsızdır. Bu olayın sonunda oluşan gerilmeler betonun çekme dayanımını a arsa, betonda hasara yol açar.

Beton içindeki suyun donması aniden gerçekleşen bir olay değil, aksine çok yavaş ilerleyen bir süreçtir ve üretilen betonun ısı transfer hızı ile birlikte donmamı  su içindeki eriyik konsantrasyonun miktarı ve donma noktasındaki boşluk çaplarının değişimi de etkiler. K  k  cisimlerdeki yüzey gerilimlerinin fazla olmasından dolayı donma genelde nispeten b  k  boşluklardan ba lar ve k  k klere doğru ilerler [11].

6.4. Sertle mi  Betonda Donma Teorileri

6.4.1. Mikroskopik Buz-Lenz B  yme Teorisi

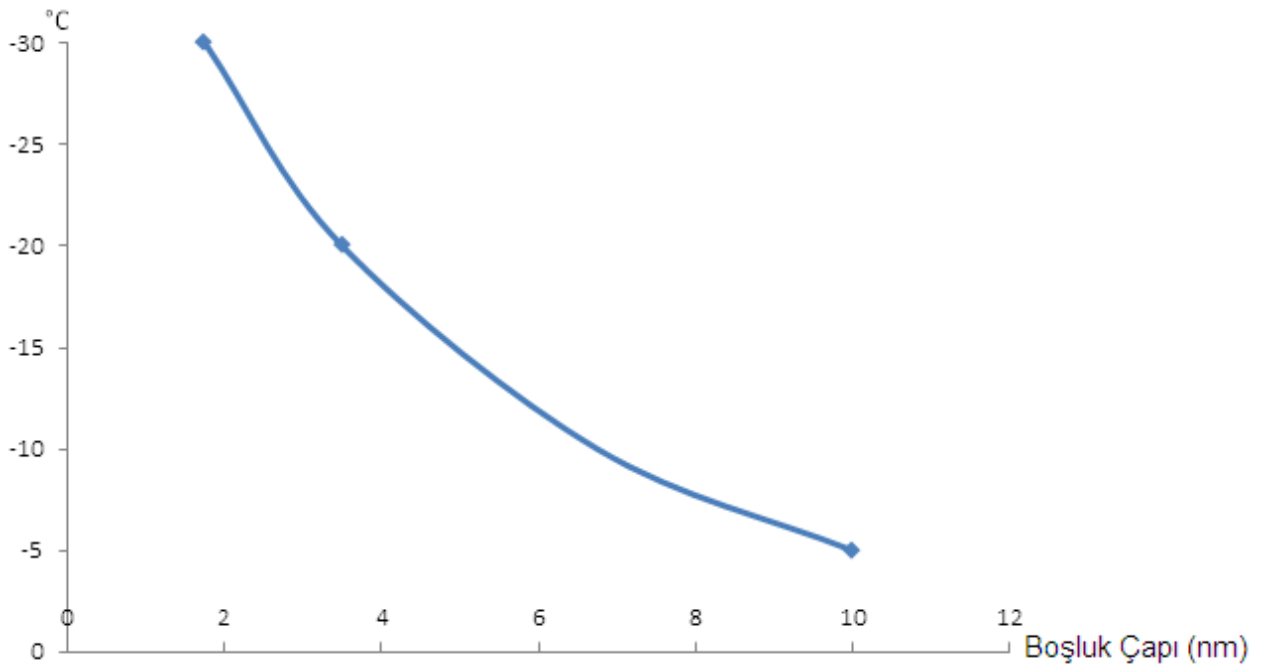
Bu teori 1953 yılında Power ve Helmuth tarafından ortaya konulmuştur. 2002 yılında Setzer bu teoriyi daha da genişletmeye çalışmıştır. Bu teori esasında beton pastası 0 C altına d  erse boşluktaki sular, jel bo luklarındaki su ile termodinamik dengede sayılırlar. Sıcaklık düştükçe, bir takım buz kristalleri oluşur ve bu buzların sıvı sulardan potansiyel enerjilerinin d    k olması, termodinamik dengeyi bozar. Jel bo luklarındaki su kapiler bo luklardaki buza doğru hareket etmeye ba lar ve oraya vardığında buza d  n  erek mevcut buzun b   mesine sebep olar. Bu buz b   d k e, betona karşı basıncı artırır ve nihayet bu basınç betonun dayanımını a arsa, hasar olu u kaçınılmaz olur. Zira beton içindeki boşlukların geni me kabiliyetleri fazla değildir. Powers ve Helmuth ’un 1953 yılındaki “mikroskopik buz lens b  yme teorisi” betonun içindeki bo luklardaki suyu saf su olarak kabul etmiştir.

6.4.2. Osmotik Basıncı Teorisi

Powers ve Helmuth, kendi taraflarından ortaya atılan mikroskopik buz lens b  yme teorisini modifiye ederek, orada dikkate alınmayan karışımları, dikkate alıp, “osmotik basınç teorisini” sundular. Bu teoride su içindeki   z ltilerin suyun donma noktasını d   rd   , önceki teoriye g  re en önemli farktır.     lebilirli i çok olan bir suyun donma derecesi d   er ve sıfır altında sıvı su oluşumuna sebep olur ve bu da bu suyun daha b   k h  celere difüze olmasına sebep olur ve b  ylece buz b   r.

6.4.3. Donma Teorisi

Bu teoriye göre beton donarken değil, çözülürken hasara uğrar, Zira büyük boşluklardaki su daha küçük boşluklardaki suyu kendine doğru çeker, daha sonra hava sıcaklaştığında buz genişler ve 15°C yükseldiğinde suyun oluşturduğu çekme dayanımı 360 KN/mm^2 ulaşır ve bu değer normal betonun çekme dayanımını aşar [23], Şekil 6.1 boşluk çapı ile suyun donma derecesinin oranını göstermektedir [49].



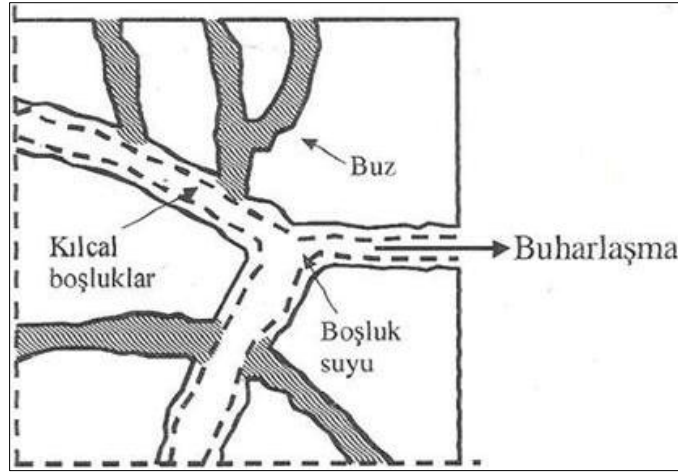
Şekil 6.1. Boşluk çapına göre suyun donma derecesi

Boşluk çaplarının değişimine göre, donma suyunun üçte biri -30°C 'de donar, üçte ikisi eksi altmış derecede donar ve hatta suyun hepsi donduktan sonra bir sıvı su filmi boşluklarda mevcut olur.

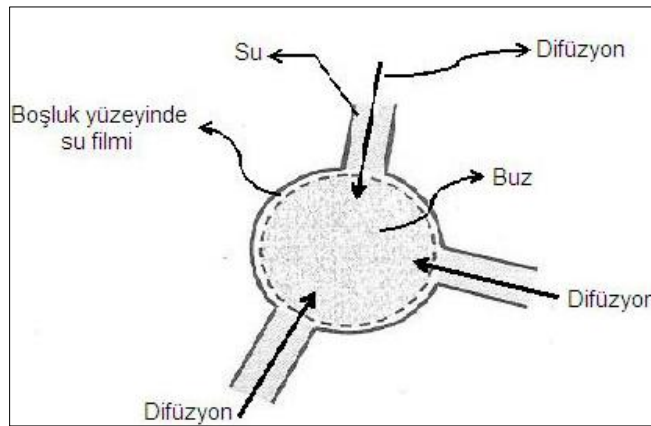
Su sıvı şeklinden katı şekline geçtiği süre içinde, yani donarken, hava nemi ve betonun doygunluğuna bağlı bir oranda buharlaşarak azalır fakat suya doygun bir betonda veya yüksek bağıl nem durumunda bu olayın gerçekleşmesine pek rastlanmaz.

Suyun kısmen buharlaşması donma suyunu azaltarak donun olumsuz açıdan etkisini azaltmış olur. Küçük boşluklardaki (Jel boşlukları) su boşluğun küçüklüğünden dolayı

-78°C ye kadar donamaz fakat bu soğuk su ile donmuş suyun entropi farkından doğan enerji farkı bu suyu donmuş tarafa difüzyon ettirir (donma teorisi) ve buna ilave donmuş suların bazı çözünabilirleri ayrışıp sıvı suda yoğunluk yaratarak bir osmotik basınca neden olup bu difüzyonu hızlandırmada katkıda bulunurlar. (Osmotik basınç teorisi) Şekil 6.2 donma esnasında suyun kısmen buharlaşmasını, şematik olarak göstermektedir ve Şekil 6.3 küçük boşluklardan soğuk suyun buz oluşan boşluklara difüzyon olmasını şematik olarak göstermektedir:



Şekil 6.2. Donma esnasında suyun kısmen buharlaşma şeması



Şekil 6.3. Küçük boşluklardan soğuk suyun buz oluşan boşluklara difüzyon şeması

6.5. Betonun Dona Karşı Dayanıklılığı

Sert betonda donma esnasında iki sebepten hidrolik basınç meydana gelir:

a. Suyun Donarken Hacim Artışı

Birincisi donan suyun hacim artışından dolayı, donmayan suların dışarıya yönelik çıkış telaşıdır. Bu sebepten oluşan basıncın şiddeti suyun dışarı çıkabilme şartlarına göre değişmektedir. Örneğin betonun geçirimsizliği fazla ise bu su dışarıya doğru kolay akabilir ve basıncın şiddeti azalır veya çıkış yolu kısa ise yani su dış yüzeye yakın ise donmadan ve daha erken betonu terk eder. Beton boşluk çapları da bu şiddetin miktarında etkilidir.

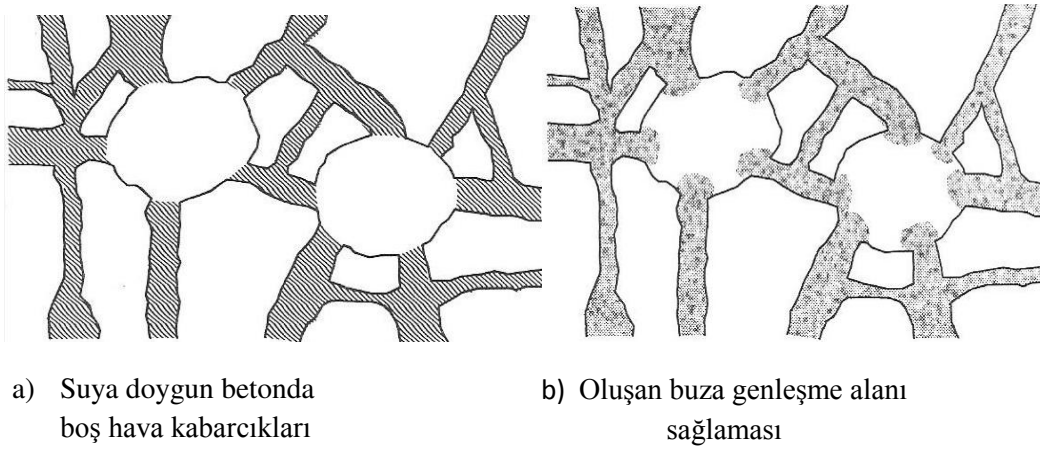
b. Betonda Don Esnasında Su Girişi

İkinci hidrolik basıncın sebebi betona donma süresinde su girme imkanının olmasıdır. Örneğin döşeme betonlarında boşluklardan difüze olan su hemen donmağa başlar ve alt taraftan osmotik basınç nedeniyle su betona doğru hareket eder ve betonun suyu donmadan öncekine göre artar ve bir hidrolik basınca neden olur. Bu olayın hasarı betonun tabakalar halinde parçalanması şeklinde görülür.

Betonun boşluk yapısı ve doygunluk derecesi, donma-çözölmeye karşı dayanımının en önemli iki faktörü sayılır.

Aslında betonun donma-çözölmeye olayında uğradığı hasar betonun içindeki suyun miktarı ile ilgilidir. Kuru bir betonda donma-çözölmeye hasarı söz konusu olamaz ve hatta suya doygun olmadıkçada donma-çözölmeye hasarı gözardı olacak kadar önemsiz olur. Dolayısıyla betonun doygunluk derecesinin donma-çözölmeye karşı dayanımında inanılmaz etkisi vardır ve bu yüzden betonu bu durumdan koruyabilmek, donma-çözölmeye karşı en pratik yöntemdir ve bu isteği gerçekleştirebilmek, soğuk iklimlerde betonun su emmesini önlemek ile elde edebilir. Doygunluk derecesinin yüzdesi saf su ile doldurulmuş bir normal kap için %91,7 olunca kritik düzeye erişilmiş olur yani eğer bir kabın %91,7 si saf su ile dolup dona maruz kalırsa, suyun hacim artışı nedeniyle, buzun hacmi kap hacimini geçer, fakat bu durum sünger gibi olan betonda daha farklıdır. Betonun yapısında bulunan suyun hacim artışı nedeniyle kaptaki gibi kolay taşıp kaçabilmesi, betonun boşluğuna ve homojenliğine bağlı olarak değişir ve daha önce de söylendiği gibi boşluklardan difüze olurken donan sular boşluklardan kaçan suların yolunu tıkatır. Bu

olayı önlemek için hava kabarcıklarının çok önemli rolü vardır zira suyun kaçabileceği bölgeye yakın hava kabarcıkları, betonun içindeki suyun hacim artışına kaçınacak yer oluşturmaktadır. Bu boşlukların oluşturulması için hava sürükleyici katkıları kullanılmaktadır. Bu katkıları betonun içinde çok küçük çapta (genellikle 50µm) boşluklar oluşturur [11]. Bazen bu boşlukların çapı daha da büyük olabilir ve 80 ile 100 µm değerini bulurlar [28]. Bu boşluklar beton suya doygun ise bile su ile dolmazlar ve betonun içindeki su donduğunda oluşan buzun hacim artışına lazım olan hacim ihtiyacını karşılarlar. Şekil 6.4. betonda yapay olarak oluşturulmuş hava kabarcıklarının işlevini göstermektedir.



Şekil 6.4. Betonda yapay olarak oluşturulmuş hava kabarcıklarının işlevi

Hava sürüklenmiş beton kimyasal katkıları eklenerek üretilir. Kimyasal katkı olarak hava sürükleyiciler; sentetik deterjanlar, reçine tuzları, petrol asidi tuzları, proteinli malzeme tuzları veya organik hidrokarbon tuzları gibi kimyasal malzemelerden üretilir [28].

Kimyasal katkı şeklinde kullanılan hava sürükleyiciler genelde sıvı şeklinde tüketiciye sunulur ve kullanım tarzı olarak beton suyuna katılarak, betona taze haldeyken karışım esnasında ilave olunur. Hava sürüklenmesi ardından betonda hacim artışı görülür ve işlenebilirlik artar, terleme ve segregasyon olasılığı da azalır. Hava sürüklenmiş betonda süreksizlik neticesinde dayanım kaybı gözlenir. Dayanım kaybı her %1 kullanılan katkı için %5 düzeyindedir.

ACI 201R şartnamesine göre donma-çözölmeye karşı betonların S/Ç oranının 0,5 'i geçmemesi ve 24 MPa dayanımına erişmeden dona maruz kalmalarına mücade etmemek önerilmektedir [80].

Hava sürükleyicilerin oluşturduğu hava kabarcıkları, donan suyun hacim artışı için gereken hacmi yaratmaktadır fakat suyun akacağı noktadan donmadan bu boşluklara ulaşması, bu boşlukların birbirinden uzaklıklarının kısıtlanmasını gerektirir. ACI 201R şartnamesi, bu mesafeyi 200 ile 250 µm önermektedir.

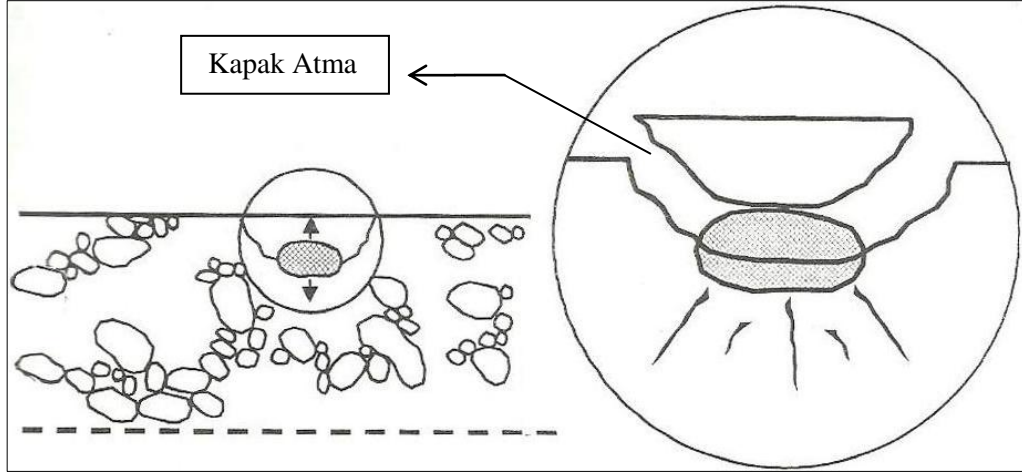
TS EN 206-1 standardı ise, donma-çözölme tehlikesinin bulunduğu ortamda buz çözöcö tuzlara ve deniz dalgalarına maruz betonarme yapılarla kullanılması gerekli en küçük beton dayanım sınıfını C30/37, en büyük S/Ç oranını 0.45, en az çimento dozajını 340 kg/m³ ve en az hava içeriğini %4 ile sınırlamaktadır. Ayrıca agreganın da donma-çözölme dayanıklı olması istenmektedir [71].

6.6. Agreganın Donma-Çözölme Etkisi

Beton bileşenlerinden birisi olan agregaların bu olaya karşı dayanıklılıkları, betonun donma-çözölme dayanımında önemli faktörlerden sayılmaktadır. Bu dayanım agreganın boşluk miktarı, geometrisi, geçirimliliği, basınç dayanımı, doygunluk derecesi, donma hızı ve büyüklüğüne bağlıdır. Agreganın büyüklüğü, içindeki donma suyunun hacim artışı veya osmotik basınç nedeniyle dışarıya sızabilmesi açısından önem taşır ve dolayısıyla agreganın tane boyutunu kısıtlamayı gerektirir. Bu gerekçelerden dolayı betonda kullanılan agreganın maksimum tane büyüklüğüne “Kritik Tane Büyüklüğü” denilir.

Geçirimliliği fazla olan süngertaşı gibi çok gözenekli agregalarda, donmakta olan suyun hareketi kolaylaştığından, agrega donma-çözölmeden zarar görmemekte ancak agregadan çıkan suyun basıncı agrega-çimento arayüzeyini olumsuz etkilemektedir. Orta geçirgenlikte olup kritik tane büyüklüğünden daha iri ve suya doygun bir agreganın don etkisi ile parçalanmasının betonda kapak atma ve dökölmelere yol açması olasıdır [11]. Şekil 6.5 donma-çözölme dayanıksız agreganın betonda kapak atmaya yol açmasını göstermektedir. Kapak atma olayı, genellikle sık donma-çözölme maruz kalan ve hızlı doygun hale gelen betonlarda sık raslanan bir olaydır. Granit, bazalt ve mermer gibi su

emmeleri az ($\leq 0,5$) ve basınç dayanımı 150 Mpa dan çok olan taşlarda, kritik tane büyüklüğü diye sakıncalı bir faktör söz konusu değildir [8].



Şekil 6.5. Donma-çözölmeye dayanıksız agreganın betonda kapak atmaya yol açması

Betonda kullanılan agregaların boşluk oranları genellikle %5 ten fazla olmazlar, bu agregalar betonun içinde bağlayıcılar ile kaplanır ve suyun agregaya içine girmesi daha da zor olur. Bu yüzden pratikte su yapıları gibi, su ile devamlı temasta olan betonlarda agreganın doygunluğu kritik doygunluğa ulaşır ve bunun dışında bu olay pek gerçekleşmez. Buna rağmen agreganın donma-çözölmeye karşı dayanımında bir kuşku varsa, agreganın bu açıdan dayanımını belirlemek için ASTM C666 da üç yöntem önerilir [9].

- I. Agregada suda bekletilir ve daha sonra havada dondurulur ve su içinde bekletilerek çözödürölür. Bu işlem 20 devir tekrarlanır ve en sonda parçalanmış veya ufalanmış agregada miktarı elek analizi ile elde edilir.
- II. İkinci yöntemde suya doygun agregada, su içinde dondurulur ve sonra su içinde çözödürölür. Parçalanmış ve ufalanmış agregalar elek analizi yöntemiyle belirlenir. Agreganın su içinde donması, içinden su çıkışını engelleyerek donun etkisini artırır. Bu yöntem, havada dondurmadan iki kat daha etkilidir ve bu yüzden 20 devir değil, 10 devir uygulanır.
- III. Tuz çözöcölü su, agregaya emdirilip daha sonra agregada kurutulur ve agregada kurduğunda su ile birlikte emilen tuz, kururken kristalleşir ve hacim artışına

uğrar. Bu hacim artışının basıncı suyun buza dönüşürken artan hacim olayına benzer. Fakat su ile yapılan deneye göre zaman kazandırır ve etkisi sudan fazla da olabilir. Agregada Na_2SO_4 veya MgSO_4 çözeltisi suda bekletilir ve etüvde kurutulur. Kristalleşme basıncından dolayı, agregalarda parçalanma ve ufalanma görülür. Parçalanan ve ufalanan agregaları, elek analizi ile belirleyerek, agreganın donma-çözölmeye dayanımı da belli olur.

6.7. Çimentoğun Betonun Donma-Çözölme Dayanımına Etkisi

Çimento tipinin, S/Ç oranının 0,45'ten büyük olduğu betonlarda, donma-çözölme dayanıklılığına etkisi olmadığı kanıtlanmıştır [75]. Ama düşük S/Ç oranında olan betonlarda ince çimentoların (Tip I gibi) kritik hava aralığının genişlemesinden dolayı olumlu etkisi görölmüştür [70].

Çimentonun başka bir etkisi betonun daha erken yaşlarda donma-çözölme maruz kalma olasılığı olan durumlarda erken hidratasyon yaratmasıdır.

Çimentonun dört önemli bileşenlerinden birisi olan trikalsiyum silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) bakımından zengin çimentoların kısa sürede çimentoya mukavemet kazandırmaları donma-çözölme dayanım açısından etkilidir.

6.8. Betonun Donma-Çözölme Dayanıklılığını Ölçmek

Betonun donma-çözölme dayanıklılığını ölçmek için Amerikan şartnamesinde (ASTM C666) [9] iki yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerin birincisinde donma-çözölme su içinde, diğesinde donma havada ve çözölme su içinde gerçekleşir. Su içinde dondurulan numunelerde donma esnasında betonun içinden su çıkışı mümkün olmamakta ve bu yüzden donun etkisi şiddetli olmaktadır.

ASTM yöntemlerinde, donma-çözölme 300 devir tekrarlanır ve sonunda orjinal değere göre kalan değerin yüzdesi “kalıcılık faktörü” olarak alınır. Kalan değer orjinal değerin %40 ına 300 devirden daha önce ulaşırsa, donma-çözölme durdurulur ve o ana kadar yapılan devir sayısı ele alınarak kalıcılık faktörü hesaplanır.

Kalıcılık ise şu şekilde ifade edilir:

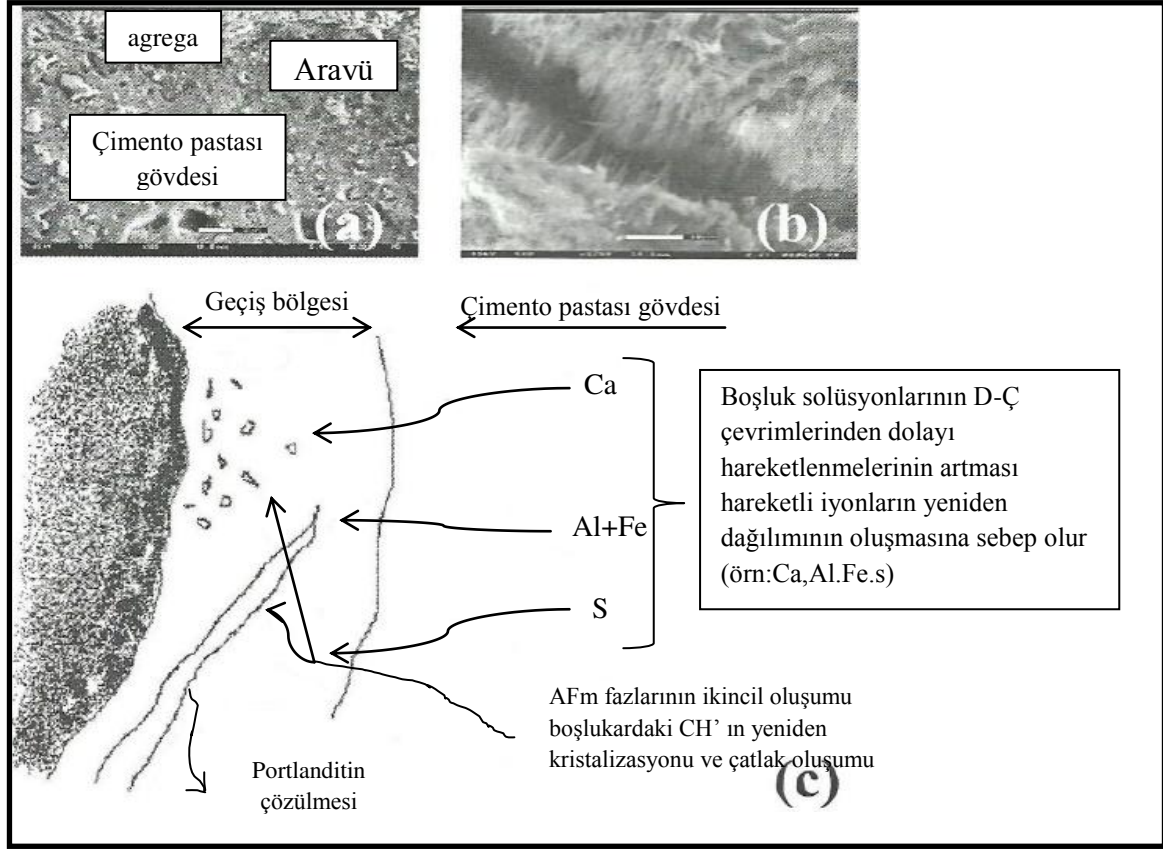
$$K.F = \frac{(\text{Deney sonucu ulaşılan devir sayısı} \times \text{orjinal modülün yüzdesi})}{300}$$

Bir betonun kalıcılık faktörü %40 ın altında ise olumsuz bakılır. %40 ile %60 arasındaysa kuşkulu ve %60'ın üstünde ise olumlu bakılmaktadır.

6.9. Donma-Çözülmenin Betonda İç etkileri

Ağırlık kaybı betonun donma-çözülmeden gördüğü iç hasarı ifade edemediği için yeterli ve pek güvenilir bir yöntem sayılmaz. Gerçi ağırlık kaybına ilave olarak basınç ve eğilime dayanımı değişiklikleri veya boy ölçülerinin değişimi de donma-çözülmenin etkilerini belirleyebilirler. Elektron mikroskobu incelemeleri, civa porozimetresi incelemeleri, termal deneyler gibi yöntemler de geçen yıllarda bu heterojen malzemenin iç hasarını belirlemek için kullanılmışlardır.

Cwirzen vd (2005) [22], çimento pastasının ve agrega yüzeyinin yüksek performanslı silis dumanlı betonun donma dayanıklılığı üzerinde etkisini incelemişlerdir. Çalışmada hava sürüklenmiş sekiz adet (Su/Bağlayıcı oranı 0,3 , 0,35 ve 0,42) değişik oranda silis dumanı içeren betonları test etmişlerdir. Çalışmada ESEM-BSE , ESEM-EDX, civa porozimetresi analizleri yapılmıştır. Sonuçlar ara yüzey bölgesinin donma-çözülme hasar mekanizmasını başlattığı ve boşluk çözeltisinin hareketi ile daha da hızlandığını göstermektedir. Ara yüzey bölgesinde öncelikle etrenjit dolu çatlakların oluştuğu saptanmıştır. İyi donma-çözülme performansı sergileyen betonların, dar bir ara yüzey bölgesine sahip olduğu ve bu bölgedeki Ca/Si atomik oranının çimento pastası gövdesine göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Ortalama miktarda silis dumanının ikamesinin ara yüzey bölgesinin mikro yapısını sıkılaştırdığı görülmüştür. Şekil 6.6 da donma-çözülme çevrimleri önce ve sonrası arayüzey bölgesi SEM görüntüleri ve bölgede oluşan hareketliliğin şeması görülmektedir.



Şekil 6.6. Kapiler porozitenin yüksek olduğu 30 μm genişliğindeki çimento pastası-agrega arayüzeyi (a) , 56 D-Ç çevrimi ve buz çözücü tuzların etkisindeki çatlağın iğnemsî etrenjit yapısıyla dolması (b) geçiş bölgesinde D-Ç süresince oluşan hareketlilik (c) [22]

6.10. Donma-Çözülme Hasarını Önlemek veya Azaltmak İçin Gerekenler

Betonun ideal döküm zamanı, 10 ile 15°C derece sıcaklıktadır. Sıcaklığın -5°C nin altında düştüğünde beton dökümünün durdurulması öneriliyor.

ACI306-88 de, ard arda üç gün içinde, hava sıcaklığının ortalaması 5° C den düşük ve herhangi bir 24 saatlik periyotta en az 12 saat süreyle hava sıcaklığının 10°C ve altında olması, soğuk hava koşullarından olarak ifade edilmiştir .

Beton dökümü sırasında beton karışımları ile birlikte, kullanılan araçlar ve gereçlerin sıcaklığının da belli bir sıcaklık altına düşmemelerini sağlamak ve taze betonun döküm sırasında ve sonrasında belirli derecenin altına düşmesine (15°C) müsaade etmemek gerekir. Taze beton en az 24 saat süre ile dona maruz kalmamalıdır.

Priz hızlandırıcı ve anti friz katkı maddelerinin kullanması da yararlı olur. Potasyum karbonat, kalsiyum ve sodyum nitrit, bu amaçla kullanılır.

Betonu dış ortamdan koruyucu ek tedbirler alınmaması halinde, normal ve sıcak hava şartlarında şiddetle önerilen ıslak kürden korunulmalıdır (betonun doygun hale gelmemesi için)

Önlem olarak tüm beton kütesinin ısıtılması düşünülüyorsa, betonun çok hızlı kuruması ve lokal bazı noktalarda sıcaklığın aşırı yükselmesi ve kapalı ortamlarda kullanılan yakıttan kaynaklanan CO₂ konsantrasyonu önlenmelidir [11].

7. YAYIN TARAMASI

Kendiliğinden yerleşen betonların S/Ç oranları genellikle geleneksel betondan daha düşüktür. Donma- çözülmenin esas hasar sebebi olan suyun azlığı, kendiliğinden yerleşen betonun donma-çözülme dayanımına pozitif etkisini inkar etmek mümkün değildir. Buna ilaveten KYB donma-çözölmeye normal betondan daha dayanıklıdır zira vibrasyon kusurundan doğan boşluklardan eser yoktur. Üstelik iri agreganın sınırlı kullanması, donma sırasında aderans bozulmasını azaltmaktadır ve bunların hepsi donma-çözölme dayanıklılığı açısından avantaj sayılırlar. KYB nin donma çözölme dayanıklılığının belirlenmesi amacıyla birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır.

Baoju, L., vd, (2001) de farklı miktarlarda ince uçucu kül, silis dumanı ve uçucu kül ile birlikte yüksek fırın cürufu ilave ederek, farklı betonlar üretmiş ve üretimlerine 60°C de, 13 saat süreli buhar kürü uygulamıştır. Çalışma sonucu olarak, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun ısıt işlem görmüş betonların basınç dayanımlarında önemli etkili olduklarını gözlemiştir. Silis dumanının erken yaşlarda, basınç dayanımında yüksek dayanıma sebep olmasına rağmen, ileri yaşlarda çok etkisi gözlenmemiştir. Sadece uçucu kül ilave olunan betonlar, ısıt işleminden dolayı çok yüksek dayanım elde etmemişlerdir yani sadece uçucu küllü betonlar ısıt işlem ile çok uyum sağlayamamıştır ama bu problem uçucu kül ile yüksek fırın cürufü birlikte kullanıldığında çözülmüştür [10].

Felekoğlu. B, (2003) aynı çimento dozajında, kireçtaş tozu ve uçucu kül olarak iki farklı mineral katkı ve farklı agrega gradasyonları ile, 4 tane KYB; iri ve ince agregaların oranlarını değiştirerek, iki çeşit VYB (vibre ile yerleşen beton) üretti. Hazırlanan betonların yarısı 28 gün standart su küründe bekletilerek, bir yarısı da 7 gün kürden sonra donma-çözölmeye tabi tutuldular. Donma-çözölme için numuneler 12 saat $-21\pm1^{\circ}\text{C}$ ta, dondurulup ve termik şoku önlemek için 2 saat açıkta tutulup, sonunda 10 saat %20 konsantrasyonlu NaCl çözeltisinde 21 çevrim dondurulup çözüldüler. Aynı karışım oranlarında KYB serilerinde uçucu kül kullanımı ile 28 günlük basınç dayanımında artışlar gördüler fakat gradasyon incelemesine bağlı olarak sabit çimento dozajında uçucu külün miktarı arttıkça, dayanımda düşüşe neden olduğunu fark ettiler.

Aynı dayanım sınıflarındaki taş tozlu KYB serilerinin, VYB lere oranla donma-çözülmede daha az dayanım kaybına uğradıklarını fark ettiler ama öte yandan taş tozlu KYB lerde bu kayıp %20 olduğunda, uçucu küllü KYB lerde bu kaybın %6 olduğunu belirlettiler [33].

Ünal. O., vd, donma-çözülme etkisi altında kalmış betonlarda, uçucu külün dayanım özelliklerindeki etkisini araştırmak amacıyla $S/\bar{C}=0.65$ ve $\bar{C}$ imento=300 kg/m³ ile tasarladıkları karışımda çimentonun %10, %20, %30 ve %40 ı yerine uçucu kül ikame ederek farklı betonlar hazırladılar. Hazırlanan betonların basınç dayanımları değerlendirildikten sonra, 7 ve 28 günden sonra 25 devir hızlı donma-çözülme çevrimlerine tabi tutmuşlardır.

%10 ile %20 uçucu kül 28 günlük basınç dayanımını artırdığı ama bunun üzerindeki miktarların 28 günlük basınç dayanımını düşürdüğü gözlenmiştir. Ünal. O., vd, bunun nedenini $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ miktarının yeterli olmamasına bağlamışlardır. Beton üretiminde çimento yerine ağırlıkça %15 civarında uçucu kül kullanıldığında normal betonlara eşdeğer dayanım özellikleri sağlanmaktadır. Bu çalışmada uçucu kül oranının artması ile donma-çözülme sonunda dayanımda azalma görülmüş ama %10 ile %20 oranında uçucu kül kullanıldığında, donma-çözülme dayanıklılığında olumlu etkisi olacağı söylenmiştir [77].

Kandemir, A (2005) Beton yolları için kendiliğinden yerleşen betonların kalıcılık özelliklerini araştırmak amacıyla agrega olarak kireçtaşı ve bazalt ve toz malzeme olarak, taş tozu ve uçucu kül kullanarak, $D_{max}=16mm$, $S_u/toz=0.31-0.35$ ve $\bar{C}$ imento=350 kg/m³ olarak üretimler yapmış ve numuneleri 14 gün boyunca 15°C sıcaklıkta havada bekletmiştir. Uçucu küllü betonlar tüm yaşlarda, taş tozu içeren numunelerden daha yüksek basınç dayanım değeri vermişlerdir.

Bunun sebebini uçucu külün, taş tozuna göre daha yüksek puzolanik aktiviteye sahip olmasına bağlamıştır. 35 devir -20°C ile +20°C arasında donma-çözülme sonunda uçucu küllü betonların donma-çözölmeye daha dayanımlı oldukları gözlenmiştir [42].

Yıldız.A.R (2006) farklı kür koşulları ve farklı mineral katkıların kendiliğinden yerleşen betonlardaki etkilerini araştırdı. Üretimler Su/toz=0.37 ve 550 kg/m³ bağlayıcı ile tasarlandı. Uçucu külün artmasıyla 28 günlük basınç dayanımlarda bir azalma gözlemlendi. 300 devir donma-çözölmeye tabi tutulduktan sonra, mineral katkı maddesi içeren betonlarda, basınç dayanım kaybının mineral katkı maddesi içermeyen betonlardan daha az olduğu göröldü. Uçucu kül arttıkça 300 devir donma-çözölmeye sonunda, ultrases hızlarında artış göröldü [85].

Mnahončákoná, E.,vd., (2008) toz malzemenin, kendiliğinden yerleşen betonların durabilitesi üzerine etkisini araştırmak amacıyla, kireçtaşı tozu ve uçucu kül kullanarak iki farklı KYB ürettiler. Donma-çözölmeye deneyi, İsveçin 137244 şartnamesine göre 28 gün kürden sonra, %3 tuz çözeltisi suda 56 devir donma-çözölmeye tabi tutuldular ve donma-çözölmeye çevrilerinin sonunda, ağırlık kaybına göre, (metre karedeki kilogram kaybı) değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeler, Tablo 7.1. de verilmiştir.

Tablo 7.1. İsveçin şartnamesine göre D-Ç değerlendirme kriterleri

Donma dayanımı	56 çevrim sonunda ağırlık kaybı(kg/m ²)
Çok iyi	ağırlık kaybı < 0.1
Iyi	0.1 < ağırlık kaybı < 0.5
Geçerli	0.5 < ağırlık kaybı < 1.0
Geçersiz	1.0 < ağırlık kaybı

Mnahončákoná.E.,vd. (2008) nın hazırladığı numuneler, donma-çözölmeye deneyi sonunda, Tablo 7.2 deki değerleri gösterdiler.

Tablo 7.2. Mnahončákoná.E.,vd. nın, D-Ç sonunda elde ettikleri değerler

Çevrim sayısı	7	14	28	42	56
Kireçtaşı tozlu KYB	0.675	3.315	6.315	-	-
Uçucu küllü KYB	0.005	0.009	0.022	0.033	0.045

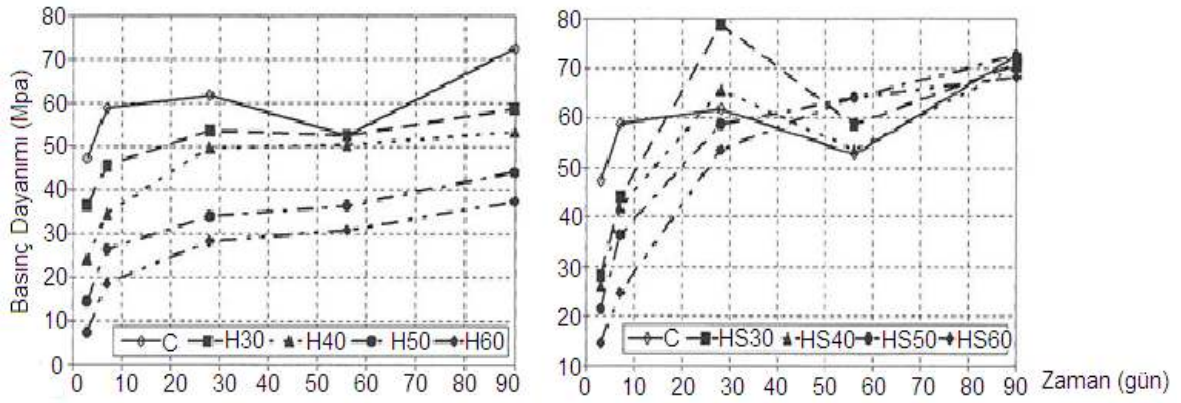
Uçucu küllü KYB, kireçtaş tozu içeren KYB ile kıyaslandığında, donma-çözölmeye daha dayanıklı bir sonuç göstermiştir, üstelik bu üstünlük başka dayanım parametrelerinde de az çok geçerli olmuştur. Fakat uçucu küllü KYB, kireçtaş tozlu KYB ye göre 28 günde düşük bir basınç dayanımı göstermiş ama yaş ilerledikçe, bu fark azalmıştır [51].

Yazıcı,H. (2008) Kendiliğinden yerleşen betonlarda farklı miktarda uçucu kül ve silis dumanının KYB nin mekanik özellikleri, klor geçirimsizliği ve donma-çözölme dayanımındaki etkilerini araştırdı. Deneyler için hazırlanan numunelerin karışımları, Tablo 7.3. te gösterilmiştir.

Tablo 7.3. Yazıcı,H. nin ürettiği KYB lerin karışımı

Malzeme	birim	C	H30	H40	H50	H60	HS30	HS40	HS50	HS60
Uçucu kül	(%)	0	30	40	50	60	30	40	50	60
Çimento	kg/m ³	600	420	360	300	240	360	300	240	180
Uçucu kül	kg/m ³	0	180	240	300	360	180	240	300	360
Silis dumanı	kg/m ³	0	0	0	0	0	60	60	60	60
Su/Bağlayıcı	-	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
İnce agrega	kg/m ³	880	847	837	825	815	835	825	813	804
İri agrega,5-15mm	kg/m ³	780	746	735	723	712	734	723	712	701
Superakışkanlaştırıcı	L/m ³	7.98	13.02	19.98	20.40	22.02	22.02	21.00	19.98	18.00

Numunelerin 1., 7., 28., 56. ve 90. günlerdeki basınç dayanımları değerlendirildi. Değerlerden elde olunanlara göre, uçucu küllü KYB ler, tüm yaşlarda uçucu külün ikame oranı arttıkça basınç dayanımında düşüşe uğramışlar fakat %10 silis dumanı ikame olduğunda bu olumsuz düşüş gözlenmemiştir. Şekil 7.1. Yazıcı,H. nin bu çalışma için ürettiği numunelerin basınç dayanımını göstermektedir.



Şekil 7.1. Yazıcı.H, (2008), ürettiği KYB'lerin basınç dayanımlarının grafiği

Üretilen betonlar 28 gün boyunca standart kürde bekletildikten sonra 90 devir -25°C ta, 24 saat dondurulup 24 saat boyunca %10 çözücü tuz (NaCl) içeren su içinde, 20°C ta çözülmüşler ve 208 günlük yaşlarında basınç dayanımı ve eğilme-çekme dayanım deneylerine tabi tutulmuşlar. Yazıcı.H, tüm uçucu kül ve uçucu kül+silis dumanı içeren karışımlarda, donma-çözülmeden sonra basınç dayanım kayıp oranlarının, mineral katkısız KYB den daha az olduğunu görmüştür. Üstelik uçucu kül+silis dumanlı KYB lerde, geçirimsizlik artmıştır. Sonuç olarak, yüksek performanslı KYB yüksek miktarda uçucu kül ikamesi ile elde edilmiş fakat uçucu kül ile birlikte %10 silis dumanı kullandığında, uçucu külün tek başına sebebiyet verdiği olumsuz yan etkileri ortadan kaldırmak mümkün olmuştur [84].

Yalçinkaya, Ç., (2009) Kendiliğinden yerleşen çelik lifli betonlarda (KYÇLB) donma çözülme etkisini araştırmak için, $S_u/toz=0.43$, $D_{max}=16\text{mm}$ ve $Toz=518\text{ kg/m}^3$ olarak tasarladığı hava sürüklenmiş ve sürüklenmemiş çimentolu, hava sürüklenmiş ve sürüklenmemiş %50 çimento + %50 yüksek fırın cürufu dört seri kendiliğinden yerleşen beton üretti. Çalışmada YFC nin, KYB taze haldeyken ve ilerleyen yaşlarda performansını artırdığı görüldü. 300 devir donma-çözülme sonucu, hava sürükleyici katkıların etkileri gözükmemiştir ve yüksek fırın cürufu numunelerde çok düşük seviyede basınç ve eğilme dayanım kaybı görülmüştür. KYÇLB lerin KYB lere göre 300 devir donma-çözülme sonunda, kırılma enerjisi noktasında daha çok zarar gördükleri görülmüştür ve onun sebebini çelik lif ve matris fazı arasındaki termik genleşme-büzülme farkına bağlamıştır. Donma-çözülme hasarının kırılma enerjisine etkileri, dayanım kayıplarından daha fazla ve farklı olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin iç yapı incelemelerinde cüruf tanelerinin

büyük miktarda hidrate olmadıkları fark edilmiş ve buna çözüm olarak cürufun daha ince öğütülmesi önerilmiştir. Genellikle mineral katkı KYB ler, donma-çözülme çevrimlerinden önemli bir hasar görmemişlerdir [82].

Acay. E., (2010), yüksek sıcaklığın farklı miktarda uçucu kül içeren kendiliğinden yerleşen betonlardaki etkisini araştırmak amacıyla, $S/\bar{C}=0.39$, $D_{\max}=22\text{mm}$ ve $\bar{C}\text{imento}=450\text{ kg/m}^3$ olarak tasarladığı ve ürettiği betonları 28, 56 ve 90 günlük standart kürün ardından 3 saat boyunca 20°C , 100°C , 400°C , 700°C ve 900°C sıcaklığa tabi tuttu ve KYB nin uçucu kül miktarının artmasıyla birim ağırlığının azaldığını gözledi ve taze haldeyken, akışkanlık ve geçiş yeteneği ile ayrışma direncinin artmasında etkili olduğu sonucuna vardı. Bu çalışmada KYB de uçucu kül miktarının artması genel olarak basınç dayanımını düşürmüştü ama KYB nin taze haldeki özelliklerine ilave olarak, yüksek sıcaklık etkisi altında iken, basınç dayanım kayıplarını olumlu yönde etkilemiştir. Kendiliğinden yerleşen betonların karışımlarında %20 uçucu kül ikamesi %4 basınç dayanımı kaybına yol açarken, %40 uçucu kül ikame olduğunda dayanım kaybı %10 u bulmuştur. Genellikle %20 ye kadar uçucu kül kullanmanın kendiliğinden yerleşen betonlarda olumlu olacağı iddia olunmuştur [1].

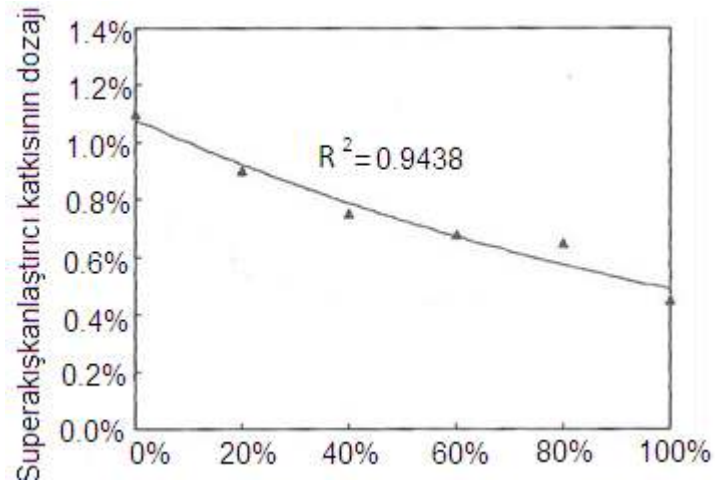
Naderi. A., (2010), donma-çözölmeye maruz kalan kendiliğinden yerleşen betonlarda, agrega türünün etkisini araştırma amacıyla 9 çeşit agrega ile 9 üretim hazırladı. Tüm üretimlerde $S/\text{toz}=0.4$ ve $\bar{C}\text{imento}=450\text{ kg/m}^3$ olarak sabit tutulmuş ve mineral katkı olarak 150 kg/m^3 uçucu kül ikame edilmiştir. Beton numuneler 14 gün standart kür edildikten sonra 21 devir donma-çözölmeye tabi tutulmuşlardır. Çevirimler ASTM de belirlenen B yöntemine göre gerçekleşmişlerdir. En sonda farklı yaşlarda betonların basınç dayanımları değerlendirilerek, su emme kapasitesi yüksek olan agregaları içeren betonlarda, donma-çözölmeye karşı basınç dayanım kaybının daha fazla olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla, donma-çözölmeye maruz kalabilecek KYB lerde, su emme kapasitesi düşük olan agregalar kullanıldığında, dayanıklılığın artacağı iddia olunmuştur [52].

Lio. M.,(2010) KYB de %80 gibi yüksek oranda uçucu kül kullandığında KYB nin taze hal ve sertleşmiş halindeki değişimleri araştırdı. Lio,M., uçucu külü %20 kademe ile KYB karışımlarına ekleyerek, toplam 6 seri KYB üretti. Bu karışımların, malzeme miktarları Tablo 7.4 te görölmektedir.

Tablo 7.4. Lio. M., KYB karışımları

Seri numaraları	F0	F20	F40	F60	F80	F10
Karışım malzemeleri						
Uçucu kül%	0	20	40	60	80	90
S/toz	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.36
Çimento(kg/m ³)	539	437	333	225	115	0
Uçucu kül(kg/m ³)	0	80	162	247	336	439
İnce agrega(kg/m ³)	743	743	743	743	743	743
İri agrega(kg/m ³)	924	924	924	924	924	924
Superakışkanlaştırıcı (kg/m ³)	5.93	4.65	3.71	3.21	2.93	1.98

Lio. M, uçucu külün artışına rağmen, akışkanlığın ve viskozitenin sabit kalması için S/toz miktarını artırıp süperakışkanlaştırıcı katkıyı azalttı. Lio. M, uçucu kül ile süper akışkanlaştırıcının orantısını Şekil 7.2 deki gibi gösterdi.



Şekil 7.2. Uçucu kül oranı

Sonuçlara göre %20 uçucu külün sertleşmiş beton üzerinde pek değişim yaratmadığı fakat bu değer % 40'ı geçtiğinde, uçucu külün olumsuz izlerinin arttığı görüldü. Bu yüzden %40 uçucu kül miktarının KYB karışımı için kritik değer görülmesi mümkün ama bunların hepsine rağmen Lio.M, ye göre uçucu kül arttıkça basınç ve çekme-eğilme dayanımı ve

dinamik elastisite modülü gibi özelliklerde olumsuz değişimler olmasına rağmen yapıların farklı elemanlarında, farklı dayanım ihtiyaçlarına göre, farklı uçucu kül kullanarak, istenilen yapı elemanı üretilir. Üstelik ekonomik açıdan da tasarruf olmuş olur [46].

Siddique. R., (2011), %15 ile %35 arasında %5 kademedeki farklı miktarlarda F sınıfı uçucu kül ekleyerek, beş tane KYB hazırladı. Numuneler 28 günlüklerinde 35 ile 30 MPa dayanım gösterdiler. Yaş ilerledikçe bu değer 90 günde 58.99 ile 40.88 MPa ve 365 günde 61.24 ile 43.73 MPa oldu ve uçucu kül arttıkça basınç dayanımının düştüğü fark edildi. Taze hal özelliklerin sabit gibi kalmaları için, uçucu kül arttıkça, superakışkanlaştırıcı azaltıldı [66].

Jacobs, F., ve Hunkeler, F., Kendiliğinden yerleşen betonların harçları üzerinde yaptıkları çalışmada, donma-çözölmeye dayanıklılık gösteren kendiliğinden yerleşen beton karışımları araştırdılar. Normal D-Ç ve buz çözöcö ile D-Ç etkisine dayanıklı KYB elemanı üretmek amacıyla yapılan araştırma deneyleri için bir fabrikanın tesisinde ($2.0 \times 2.4 \times 0.15 \text{ m}^3$) boyutlarında dört beton eleman KYB ile üretildi. Uçucu kül içeren KYB lerin, erken yaşlarda düşük dayanım verirken, ileri yaşlarda hızlı artış kaydettikleri göröldü. Beton elemanlar suya doygün hale getirildiler ve daha sonra 3 gün içinde 10 kez D-Ç çevrimi (-25°C etilen glikol banyosunda dondurulup suda çözöldüler) uygulandı. Uçucu kül ihtiva eden ve hava süröklenmiş KYB ler, D-Ç ye en iyi dayanımı gösterdiler. Hava sürökleyici katkı kullanılması durumunda ise dayanımların düştüğü gözlendi [39].

8. ÇALIŞMA PROGRAMI

8.1. Çalışmanın Amacı

Son yıllardaki sanayileşme hızına paralel olarak artan endüstriyel yapı ihtiyacının hemen hementümü, artık prefabrikasyon tekniği ile karşılanmaktadır. Önerilmeli köprüükirişleri, bordürler, istinat duvarları, beton borular, menfezler, duvar panelleri, beton traversler gibi birçok eleman prefabrikasyon tekniğiyle üretilmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonlar ise genel olarak sık donatılı yapısal kesitler ile yerleştirme ve sıkılama bakımından engellenmiş girişli elemanların üretiminde kullanılmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonun düşük S/Ç oranı ve boşluksuz yerleşmesi nedeniyle dış etkilere dayanıklı oluşu da tercih nedenlerindendir. Dolayısıyla prefabrikasyon için çok uygun bir beton türüdür. Prefabrikasyonda kullanılan erken dayanım kazandırma yöntemi ise buhar kürüdür. Fakat yüksek sıcaklığın priz hızlandırıcı etkisinden yararlanılan betonlarda, beton türü ve bileşenlerine bağlı olarak ileri yaşta betonun bazı zararlar gördüğü, bu zararların da betonu dış etkilere dayanıksız hale getirebileceği bilinmektedir. Yapılan yayın taramasında, uçucu kül kullanılan KYB lerin donma-çözülme dayanıklılığının yüksek olduğu görülmüş fakat buhar kürü uygulamasının bu dayanıklılığı nasıl değiştirdiği ile ilgili bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada uçucu kül kullanılarak üretilen ve buhar kürü uygulanarak sertleştirilen kendiliğinden yerleşen betonların donma çözülme etkilerine dayanıklılığının araştırılması amaçlanmıştır.

8.2. Deney Programı

Deneyisel çalışmalar için 500 kg/m^3 , 550 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 ile üç farklı toz miktarı için S/toz oranı 0.35 değerinde sabit tutuldu. Her toz miktarı için, uçucu külsüz ve çimento ağırlığının %20, %30, %40 ve %50 si uçucu kül ile ikame edilerek toplam 15 üretim gerçekleştirildi. Deneyler için 15 cm küp numuneler üretildi.

Her üretimde üretilen numunelerin 6 tanesine buhar kürü, 4 tanesine standart kür uygulandı. 1 günlük buhar kürü görmüş ve görmemiş numunelere 100 donma çözülme çevrimi uygulandı. Buhar kürü uygulanmış ve uygulanmamış numunelere standart kürün ardından 28. günde donma-çözülme çevrimleri uygulanmaya başlandı ve 100 çevrim uygulandı. Bu uygulamalar için şahit numuneler de standart kürde bekletildi. Tablo 8.1 deney programını göstermektedir.

Tablo 8.1. Deney programı

No	Kür metodu	Numuneye uygulanan işlem
1	Buhar kürü	1 günlük basınç dayanımı belirlendi
2	Buhar kürü	Buhar kürü çevriminden hemen sonra (1 günlük) D-Ç makinesine yerleştirildi ve 100 çevrim D-Ç den sonra basınç dayanım deneyinde kırıldı
3	Buhar kürü	2 no lu numune için şahit numune olarak standart kürde bekledi
4	Buhar kürü	28 gün standart kürden sonra basınç dayanımı belirlendi
5	Buhar kürü	28 gün standart kürden sonra 100 çevrim D-Ç uygulandı ve basınç dayanımı belirlendi
6	Buhar kürü	5 nolu numune için şahit numune olarak standart kürde bekledi
7	Standart kür	1 günlük basınç dayanımı belirlendi
8	Standart kür	28 günlük basınç dayanımı belirlendi
9	Standart kür	28 gün standart kürden sonra 100 çevrim D-Ç uygulandı ve basınç dayanımı belirlendi
10	Standart kür	9 nolu numune için şahit numune olarak standart kürde bekledi

8.3. Kullanılan Malzemeler ve Ekipman

8.3.1. Malzemeler

8.3.1.1. Agregalar

Deneylerde kullanılan agregalar doğal kum ve kırma agregadır. Kullanılan doğal kumun en büyük tane boyutu 8 mm dir. Kullandığımız doğal agreganın elek analizi sonuçları, TS 3526 Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini [73] standardına göre gerçekleştirildi.

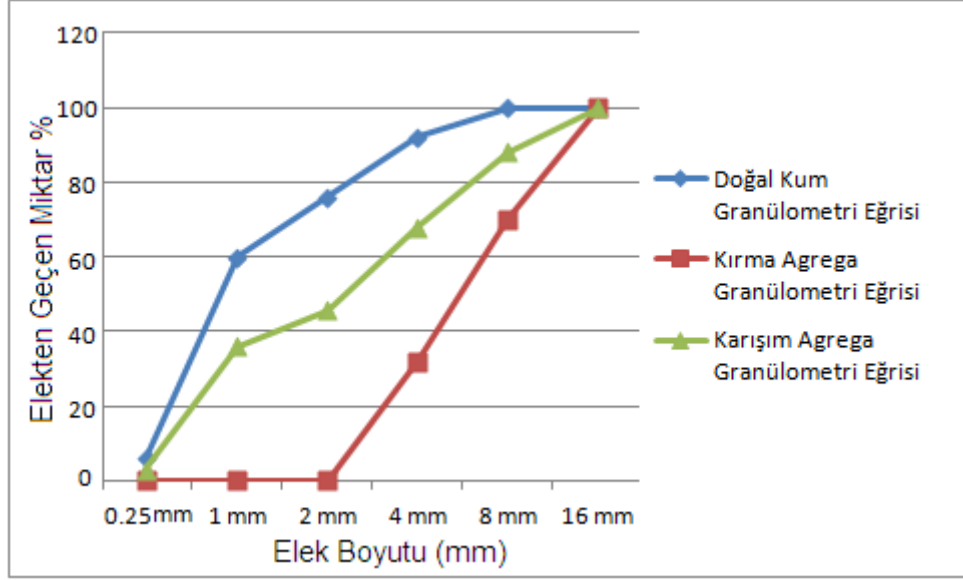
Doğal agregalar, KYB lerimizdeki ağırlık olarak toplam agreganın %60 miktarını oluşturmaktadır .

Deneylerde kullanılan kırma agreganın en büyük tane boyutlu 16 mm dir. Kullanılan kırma agreganın elek analizi, TS 3526 Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini [73] standardına göre gerçekleştirilmiş. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 8.2’de verilmiştir.

Tablo 8.2. Kumun elek analizi, su emme ve özgül ağırlık değerleri

Elek Açıklığı	Elek Analizi						Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (%)
	0.25 mm	1 Mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm		
Doğal Ağrega	6	60	76	92	100	100	2.6	1.2
Kırma Ağrega	0	0	0	32	70	100	2.6	2
Karışım Ağrega	3.6	36	45.6	68	88	100	2.6	-

Şekil 8.1 kullanılan doğal kum, kırma agrega ve toplam agreganın granülometri eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Kullanılan agreganın granülometri eğrisi

8.3.1.2. Çimento

KYB lerimizin üretimi için AŞKALE çimento fabrikası üretimi CEM I 42,5R tipi çimentosu kullanıldı. Çimento TS EN 197-1 standartına göre üretilmiş ve fiziksel, mekanik ve kimyasal analizleri Tablo 8.3 gösterilmektedir.

Tablo 8.3. Kullandığımız çimentonun fiziksel, mekaniksel ve kimyasal analizlerinin sonuçları

kimyasal analiz %		Fiziksel ve mekanik analiz	
CaO	64,33	45 μ m eleğin üstünde kalan yüzde (incelik)	7,84
SiO ₂	18,62		
Al ₂ O ₃	4,51		
Fe ₂ O ₃	2,95	Özgöl ağırlık (gr/cm ³)	3,13
MgO	2,09	Özgöl yüzey (cm ² /gr)	3616
SO ₃	2,77	Priz başı (saat-dk)	2sa-23dk
Na ₂ O	0,25	Priz sonu (saat-dk)	3sa-02dk
K ₂ O	0,62	Hacim genleşmesi (mm)	1
(Na ₂ O): Na ₂ O.0658K ₂ O	0,66		
Cl (Klor)	0,0191		
Ölçülemeyen	0,38	Basınç dayanımı (MPa) 2.gün	25,1 MPa
Toplam	100		
Serbest CaO	0,62	Basınç dayanımı (MPa) 28.gün	52,8 MPa
Çözülmeyen kalıntı	0,7		
Kızdırma kaybı	3,46	Su ihtiyacı %	28,8

8.3.1.3. Uçucu kül

KYB lerin üretiminde kullanılan uçucu külü F sınıfı , Sugözü termik santralından elde edilen uçucu külüydü ve TS EN 450-1, TS EN 196-2 ve TS EN 196-6 standartlarındaki değerleri sağlamaktadır. Tablo 8.4 uçucu külün fiziksel ve kimyasal özelliklerini göstermektedir.

Tablo 8.4. Kullandığımız uçucu külün fiziksel ve kimyasal analizlerinin sonuçları

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂ (Silisyum dioksit %)	58,75	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,32
R ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃) %	29,17		
S+A+F %	87,92		
CaO (Kalsiyum Oksit %)	3,36	Özgül yüzey (cm ² /gr)	3050
MgO (Magnezyum Oksit %)	1,45		
Cl ⁻ (Klorür %)	0,002	45µm eleğin üstünde kalan yüzde (incelik)	16,1
SO ₃ (Kükürt Trioksit %)	0,15		
Kızdırma kaybı %	1,37		
Çözünmeyen kalıntı %	87,56		

8.3.1.4. Superakışkanlaştırıcı

Kullandığımız katkı, GLENİUM C 303 BASF Kimyasal firmasının ürünüdür. Yeni nesil superakışkanlaştırıcı katkı GLENİUM C 303 bir polikarboksilik eter içeren ve yüksek derecede su azaltıcı bir katkıdır. Bu katkı hazır beton sanayisinde yüksek dayanım ve durabilite ihtiyacını karşılamak amacıyla geliştirilmiştir ve TS EN 206-1 (ts es 934-2) ve ASTM C 494 şartnamelerinin standartlarına uyumludur [71]. Tablo 8.5 katkının 20°C Sıcaklıkta ve %50 bağıl nem ortamındaki özelliklerini göstermektedir.

Tablo 8.5. Superakışkanlaştırıcının teknik verileri

Katkının malzeme yapısı	Polikerbosilikat
Renk	Açık Yeşil
Birim ağırlığı	1.023 ~1.063
Klor içeriği%	<0.1
Alkalı içeriği%	<3

Katkının Özel Avantajları:

- GLIENUM C 303, eski akışkanlaştırıcılarla (NSF vea MSF) kıyaslandığında, daha erken dayanım ve yüksek nihai dayanım elde ettirir, iyi su azaltabilir ve iyi aderans sağlar.
- Betonun karbonatlaşma, agresif kimyasallara karşı veya klor iyonlarının saldırısına karşı dayanım, büzülme ve sürünme gibi mekanik özelliklerini de geliştirebilir.
- Düşük S/Ç oranına olanak sağlar ve ayrışma tehlikesini azaltır.
- Betonun kalıpta mükemmel yerleşmesini sağlar.
- Tüm çimento tipleri ile uyum gösterir.
- GLENIUM C 303 klor içermiyor.

GLENIUM C 303 ün uygulanma prosedürü:

Bağlayıcı (Çimento-Silis dumanı-Uçucu kül) ve agrega, homojen bir hale gelinceye kadar karıştırılmalıdır. Daha sonra karışım suyunun %50-%70 eklendikten sonra, kalan su ile GLENUM C 303 birlikte betona ilave olmalıdır ve beton homojen bir difüzyona gelinceye kadar karıştırılmalıdır.

Dozaj:

GLENIUM C 303, üretim firması tarafından toz miktarının %1- %2 si kadar önerilmiştir. Katkı Şekil 8.2’de görülmektedir.



Şekil 8.2. Üretimlerimizde kullanılan GLENIUM C 303 superakışkanlaştırıcı

8.3.1.5. Su

Karışımlarda kullandığımız su, Trabzonun şehir suyundan temin olundu.

8.3.2. Kullanılan Araçlar ve Makineler

8.3.2.1. Etüv

Agregaların su emme yüzdelerini değerlendirmek amacıyla, agregaları kuruttuğumuz etüv Şekil 8.3 gösterilen GENIAR markalı etüvdür.



Şekil 8.3. Deneylerde kullanılan etüv

8.3.2.2. Terazı

KYB lerin üretimi için kullanılan uçucu kül, çimento ve agregaların ve beton numunelerin tartımları Şekil 8.4’de gösterilen, maksimum kapasitesi 30 kg olan 1g hassasiyetli METTLER markalı terazı ile yapıldı. Süperakışkanlaştırıcı ve numunelerin tartımlarında 10 kg kapasiteli ve 0.1 g hassasiyetli Radway markalı terazı kullanıldı. Şekil 8.5 Radway markalı terazini göstermektedir.



Şekil 8.4. METTLER marka terazı



Şekil 8.5. RADWAY marka terazı

8.3.2.3. Betoniyer

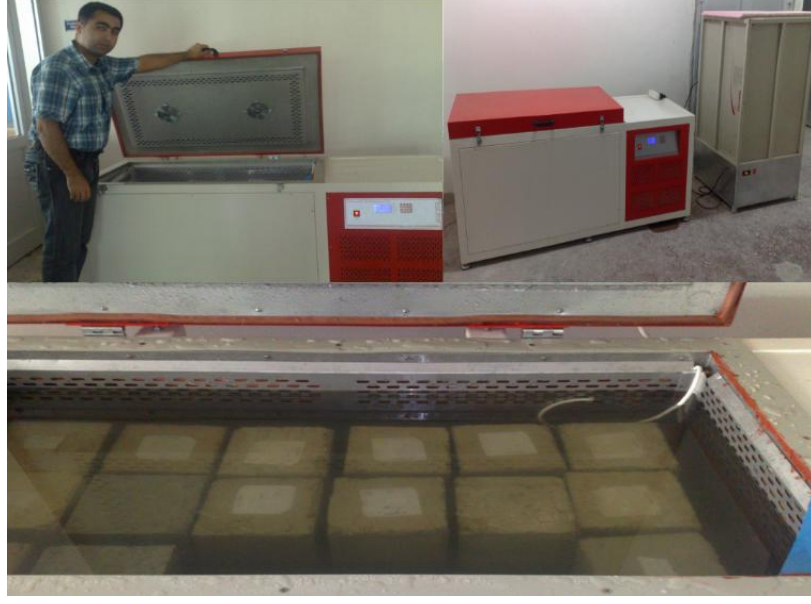
KYB lerin üretiminde 60 lt kapasiteli, eğik eksenli NACE markalı betoniyer kullanıldı. Betoniyerimiz Şekil 8.6’da gösterilmiştir.



Şekil 8.6. KTÜ Yapı ve Yapı malzemesi laboratuvarında var olan NACE markalı eğik eksenli betoniyer

8.3.2.4. Donma-Çözülme Cihazı

Beton numuneleri donma-çözölmeye tabi tutabilmek amacıyla YÜKSEL KAYA MAKİNE imalatı donma-çözölme makinesi kullanıldı. Makine soğutma dolabı ve su tankı olarak iki parçadan oluşmaktadır. Numuneler soğutma dolabına yerleştirilmekte ve makine istenilen sıcaklık derecesi ile istenilen süreye ayarlanmakta ve bu süre sona erdiğinde, otomatik olarak sıcak su tankından, soğutma dolabının içine su alınmaktadır. Su ayarlanan sensöre kadar yükseldiğinde, su alma kesilmekte ve numunelerin çözölmeleri amacıyla su içinde bekletilmeleri için ayarlanan süre sona erdiğinde makine tekrar suyu soğutma dolabından, su tankına boşaltıp ve yeni donma-çözölme çevirimini baştan başlatmaktadır. Çevrimler ayarlanan devir sayısı kadar otomatik olarak tekrarlanabilmektedir. Şekil 8.7’de donma-çözölme makinesinin fotoğrafı görölmektedir.



Şekil 8.7. KTÜ Yapı ve Yapı Malzeme laboratuvarında var olan donma-çözülme makinesi

8.3.2.5. Buhar Kürü Tankı

Buhar kürü için ÜNAL MÜHENDİSLİK ve MAKİNE SANAYİ tarafından üretilmiş olan ve Şekil 8.8’de görülmekte olan buhar tankı kullanıldı.



Şekil 8.8. Buhar tankı

8.3.2.6. Ultrases Ölçme Aparatı

Numunelerimizi donma-çözölmeye tabi tutulmadan önce ve her 25 çevrimden sonra, iç hasarını algılayabilmek amacıyla, MATEST marka ultrases cihazı, kullanıldı. Kullanılan MATEST marka ultrases cihaz Şekil 8.9’de görölmektedir.



Şekil 8.9. Ultrases cihazı

8.2.7. Beton Test Presi

Numunelerin basınç dayanımlarını belirlemek için, 300 ton kapasiteli DİNÇ marka beton test presi kullanılmıştır. Şekil 8.10’de söz konusu beton test presi görölmektedir.



Şekil 8.10. Beton test presi

8.4. Üretilen Betonların Bileşimleri

Tablo 8.6, Tablo 8.7 ve Tablo 8.8. sırasıyla toplam toz miktarının 500 kg/m^3 , 550 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 olan betonların bileşimlerini göstermektedir.

T ϕ A= Toz malzemesi ϕ gr ve uçucu kül kullanılmamış KYB

T ϕ B= Toz malzemesi ϕ gr ve %20 uçucu kül kullanılmış KYB

T ϕ C= Toz malzemesi ϕ gr ve %30 uçucu kül kullanılmış KYB

T ϕ D= Toz malzemesi ϕ gr ve %40 uçucu kül kullanılmış KYB

T ϕ E= Toz malzemesi ϕ gr ve %50 uçucu kül kullanılmış KYB

Tablo 8.6. Toz malzemesi 500 kg/m^3 olan karışım oranları

Malzeme		T500A	T500B	T500C	T500D	T500E
Çimento(kg/m^3)		500	400	350	300	250
Uçucu kül(kg/m^3)		0	100	150	200	250
Su (kg/m^3)		175	175	175	175	175
S/toz		0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
S/Ç		0.35	0.44	0.50	0.58	0.70
Doyma suyu(kg/m^3)		22.240	21.760	21.536	21.310	21.067
Doğal kum(kg/m^3)		988.00	967.96	957.524	947.240	936.665
Kırma agrega (kg/m^3)	A 8-16mm	196.00	191.95	189.88	187.27	185.74
	A 4-8mm	248.00	243.13	240.51	238.18	235.27
	A 2-4mm	210.00	204.74	202.54	200.00	198.13

Tablo 8.7. Toplam toz malzemesi 550 kg/m^3 olan betonların karışım oranları

Malzeme		T550A	T550B	T550C	T550D	T550E
Çimento(kg/m^3)		550	440	385	330	275
Uçucu kül(kg/m^3)		0	110	165	220	275

"Tablo 8.7'nin devamı "

Su (kg/m ³)		192.5	192.5	192.5	192.5	192.5
S/toz		0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
S/Ç		0.35	0.44	0.50	0.58	0.70
Doyma suyu(kg/m ³)		21.07	21.55	20.30	20.04	19.79
Doğal kum(kg/m ³)		937.10	914.17	902.69	891.21	879.75
Kırma	A 8-16 mm	185.83	180.99	179.00	176.72	174.46
agrega	A 4-8 mm	235.38	229.25	226.74	223.85	220.98
(kg/m ³)	A 2-4 mm	198.22	193.05	190.95	188.51	186.09

Tablo 8.8. Toplam toz malzemesi 600 kg/m³ olan betonların karışım oranları

Malzeme		T600A	T600B	T600C	T600D	T600E
Çimento(kg/m ³)		600	480	420	360	300
Uçucu kül(kg/m ³)		0	120	180	240	300
Su (kg/m ³)		210	210	210	210	210
S/toz		0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
S/Ç		0.35	0.44	0.50	0.58	0.70
Doyma suyu(kg/m ³)		19.91	19.35	19.07	18.79	18.51
Doğal kum(kg/m ³)		885.42	860.38	847.86	835.35	823.21
Kırma	A 8-16mm	175.58	170.56	168.13	165.65	163.172
agrega	A 4-8mm	222.40	216.11	212.97	209.83	206.67
(kg/m ³)	A 2-4mm	187.29	181.99	179.34	176.70	174.04

8.5. Donma-Çözülme Deneyi

Bu deney, TS 3449 Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini [72] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir fakat D-Ç 100 devir olarak, değiştirilmiştir. Numunelerin her üretimden sonra, zamanı geldikçe D-Ç makinesine yerleştirildiğinde, soğutma hızının değişmemesi için makineye başlangıçta 36

tane $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ beton numune yerleştirildi ve deney için hazırlanan her bir numune makineye yerleştirildiğinde önceden yerleştirilen betonlardan birisi çıkarıldı.

8.6. Deney Programının Gerçekleştirilmesi ve Uygulanan Deneyler

Üretimlerde, agregalar betonyere yerleştirildikten sonra, doyma suyu eklenerek, 1-2 dakika karıştırıldıktan sonra, çimento ve uçucu kül de betonyere ilave edildi ve karışım homojen hale gelene kadar karıştırıldılar. Sonra karışım suyunun %75 i ilave edildi; karıştırma devam ederken karışım suyunun kalan %25 miktarı ile karıştırılmış katkı ilave edildi ve homojen hale gelene kadar karıştırıldı. Taze beton deneylerinden T50, Abrams huni deneyi (çökme deneyi) ve V hunisi deneyleri yapıldı. Şekil 8.11 taze hal deneylerine aittir.



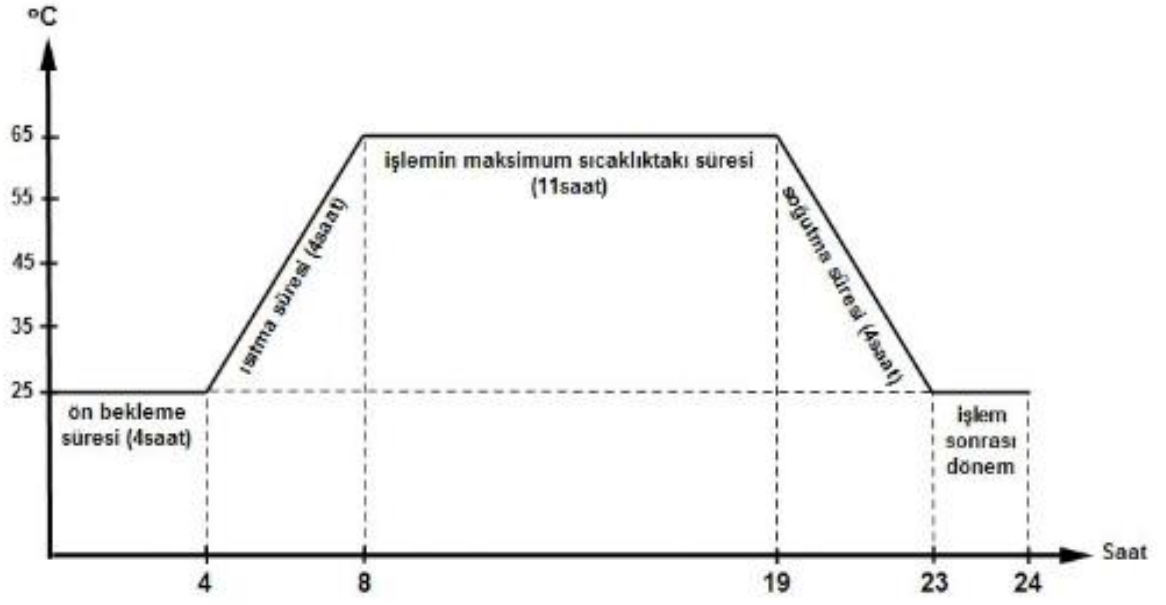
Şekil 8.11. Üretilen KYB lerin taze hal deneyleri

Hazırlanan KYB ler $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ boyutlarında plastik kalıplara yerleştirildi. Şekil 8.12 KYB lerin yerleştirileceği kalıpların yağlaması ve KYB lerin yerleştirilmesini göstermektedir.



Şekil 8.12. Hazırlanan KYB lerin kalıplara yerleştirilmesi

KYB nin taze birim ağırlığı belirlendi ve kalıplar $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ de laboratuvar koşullarında bekletildiler. Kalıplardan 6 tanesi 4 saat ön beklemeden sonra buhar kürü tankına yerleştirildiler. Buhar kürü tankının saatte sıcaklığı 10°C artarak, KYB leri içine yerleştirdikten 4 saat sonra 65°C ye ulaşıyordu ve numuneler bu sıcaklıkta 11 saat kür gördükten sonra 10°C /Saat hızda soğutuldular. 24 saatin sonunda kalıplar tanktan çıkarılıp bir saat laboratuvar ortamında bekletildiler. Bu işlem yumuşak ısıtma işlemi çevrime uygun olarak ayarlandı. Şekil 8.13’de, uygulanan ısıtma işlemi çevrimi görülmektedir ve Şekil 8.14 buhar kürü tankını, numuneleri yerleştirirken, göstermektedir.



Şekil 8.13. Uygulanan ısıl işlem çevrimi



Şekil 8.14. Buhar kürü tankına numune yerleştirme

KYB lerin üretiminden 24 saat sonra,buhar kürü görmüş 6 numune ile, dışarıda tamamen laboatuvar ortamında bekletilen geri kalan 4 numune, kalıptan çıkartılıp, havada ve suda tartıldılar. Şekil 8.15 kompresör ile, KYB numuneleri kalıptan çıkartarken ve Şekil 8.16. numuneleri tartarken çekilmiş fotoğraflarıdır .



Şekil 8.15. Numunelerin hava püskürterek kalıptan çıkarması



Şekil 8.16. Numunelerin tartılması

Buhar kürü uygulanmış ve uygulanmamış birer numunenin 24 saat sonunda basınç dayanımı belirlendi. Buhar kürü uygulanan numunelerin birisi 24 saat sonunda Donma-

Çözülme makinesine yerleştirip ve 8 saat içinde $-18\pm 1^{\circ}\text{C}$ kadar soğutularak, donma maruz bırakıldı, daha sonra $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ta 4 saat boyunca suda çözüldürüldü. Bu numunenin donma-çözülme çevrimleri 100 e eriştiğinde, her 25 çevrimde bir yapılan ultrases hız deneyinden sonra basınç dayanımı belirlendi. Bunlarla birlikte, buhar kürü uygulanan ve suda şahit numune olarak saklanmış numunenin de basınç dayanımı belirlendi. Şekil 8.17 basınç dayanımının belirlenmesini göstermektedir.



Şekil 8.17. Basınç dayanımının uygulamasının belirlenmesi

Standart kür uygulaması Karadeniz Teknik Üniversitesinin Yapı ve Malzeme Laboratuvarının kür odasında gerçekleştirildi. Şekil 8.18 KTÜ, Yapı ve Malzeme Laboratuvarındaki kür havuzuna aittir.



Şekil 8.18. KTÜ, Yapı ve Yapı malzemesi laboratuvarının kür havuzuna, deneyler için hazırlanan KYB lerin yerleştirilmesi

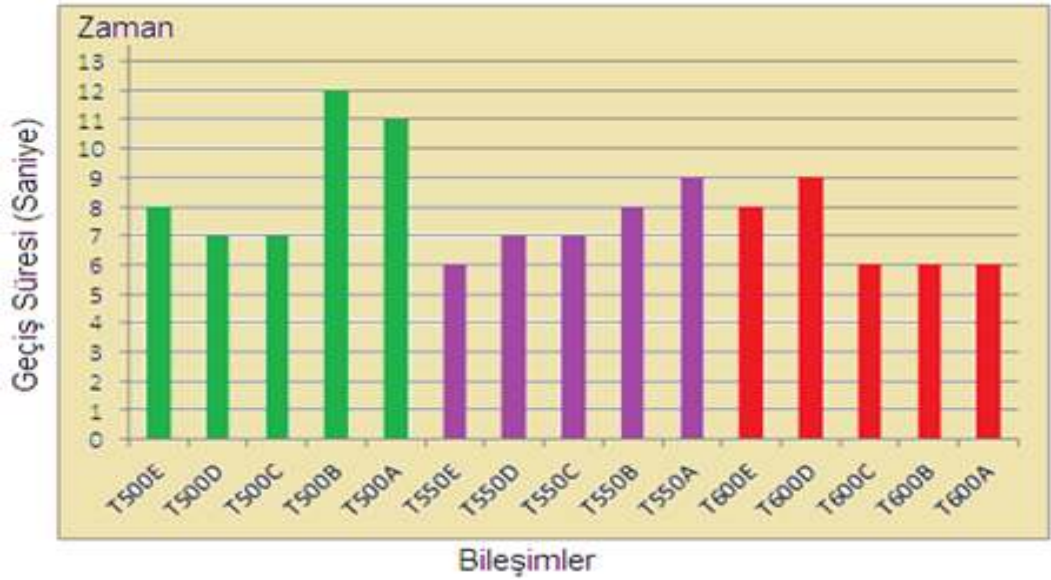
Üretimlerin 28. günlerinde buhar kürü uygulanmış ve buhar kürü uygulanmamış numunelerden birer tanesinin de basınç dayanımı belirlendi.

Geri kalan numunelerden yine buhar kürü uygulananlardan ve uygulanmayanlardan birer tane seçip, birim ağırlıkları ve ultrases hızları belirlendikten sonra, donma-çözülme makinesine yerleştirildi ve her birine 100 devir donma çözülme uygulandı. Her 25 donma-çözülme çevriminden sonra numunelerin birim ağırlıkları ve ultrases hızları belirlendi. 100. Çevrimin sonunda basınç dayanımları belirlendi. Tüm deneyler, şahit numuneler üzerinde de uygulandı.

9. BULGULAR VE İRDEME

9.1. Taze Hal Deneyleri (İşlenebilirlik Deneyleri):

Şekil 9.1. üretilen betonların taze haldeyken, V hunisi deney aparatından geçiş süresindeki değişimi göstermektedir. Toz malzemesi, arttıkça, geçiş süresinin azaldığı görülmektedir. Yani toz malzeme miktarının artışı, viskoziteyi azaltmıştır.

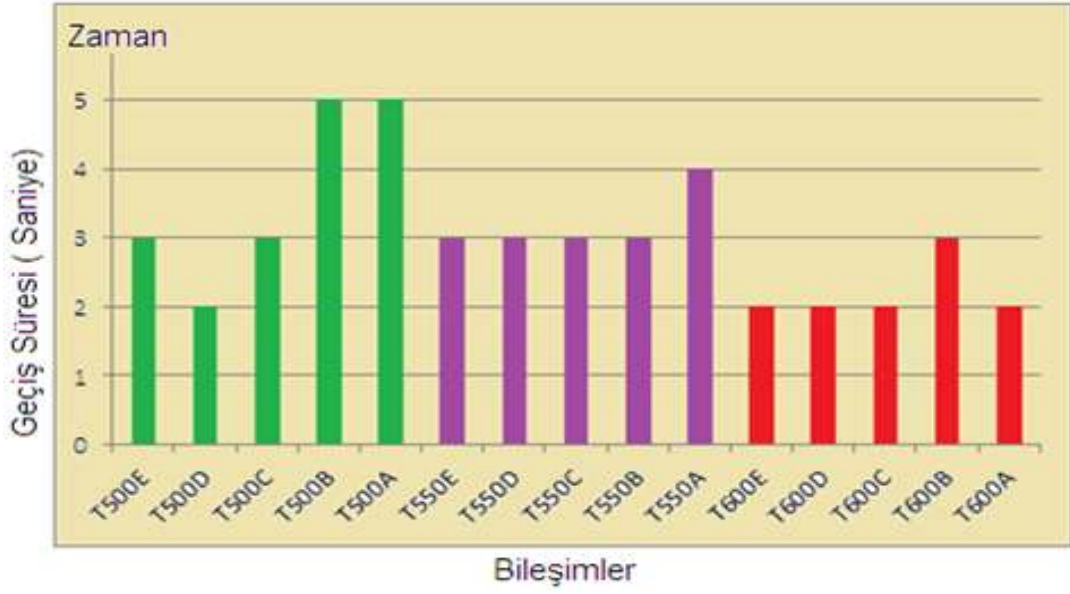


Şekil 9.1. Üretilen betonların V hunisinden geçiş sürelerinin değişimi

Şekil 9.2 üretilen betonların yayılma çaplarını, Şekil 9.3 ise T50 sürelerini göstermektedir. Yapılan çalışmada, çökme yayılma değeri 600 ile 780 mm arasında değişmiştir. Uçucu kül ikamesi arttıkça, yayılma değerinde artış görülmüş ve bu da uçucu külün akışkanlığı artırdığını göstermektedir. Yayılma, toplam toz malzeme arttıkça da artış göstermiştir. Bu fark uçucu külün ikamesi ile daha da belirgin olmuştur. Uçucu külün ikame miktarı arttıkça, karışıma katılan superakışkanlaştırıcı miktarı azaltılmıştır. Fakat bu durum, yayılma süresinde belirgin bir değişim oluşturmamıştır.



Şekil 9.2. Üretilen betonların çökme yayılma değerlerinin değişimi



Şekil 9.3. Üretilen betonların T50 deneyinde,geçen sürelerinin değişimi

9.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

9.2.1. Basınç Dayanımı

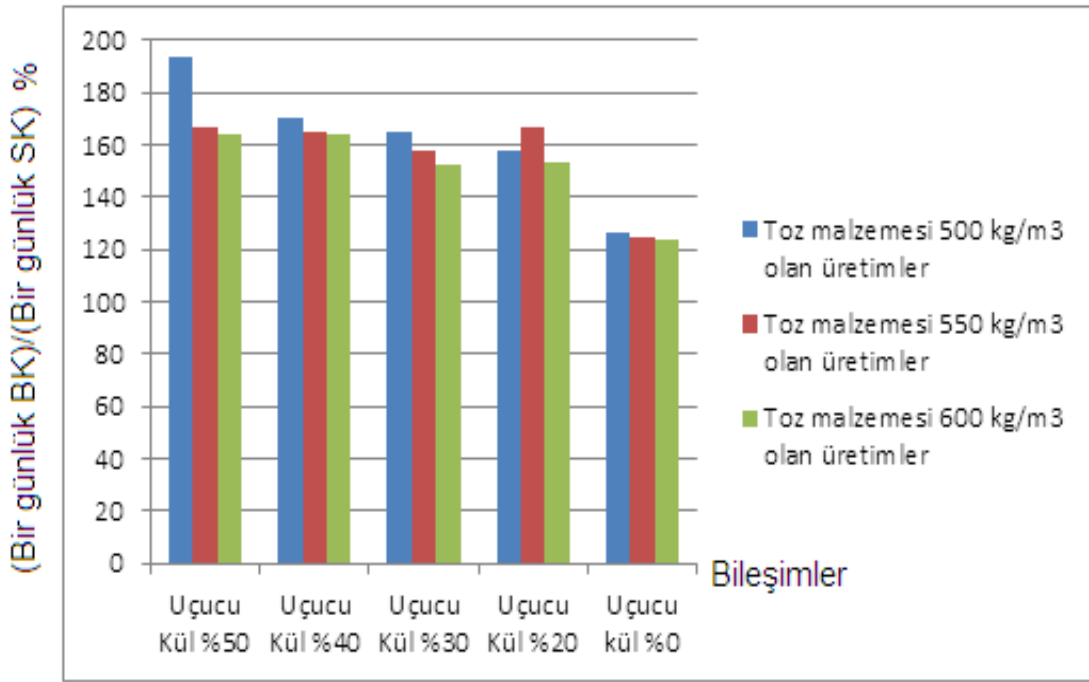
Tablo 9.1. Üretilen betonların basınç dayanımlarını göstermektedir.

Tablo 9.1. Üretimlerin buhar kürü görmüş ve standart kür görmüş numunelerinin 1 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları ve oranları

Numune	1 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)		R_{B1}/R_{H1} %	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)		R_{B28}/R_{S28} %	R_{B1}/R_{S28} %	R_{H1}/R_{S28} %
	R_{B1}	R_{H1}		R_{B28}	R_{S28}			
T500A	35,52	28,14	126,22	47,78	50,35	94,89	70,54	55,88
T500B	30,7	19,45	157,84	46,24	52,05	88,83	58,98	37,36
T500C	22,81	13,86	164,57	43,36	47,68	90,93	47,83	29,06
T500D	20,11	11,80	170,42	36,97	41,13	89,88	48,89	28,68
T500E	16,01	8,29	193,12	35,36	37,7	93,79	42,46	21,98
T550A	36,49	29,34	124,37	48,68	56,34	86,40	64,76	52,07
T550B	32,66	19,64	166,29	46,24	52,81	87,56	61,84	37,18
T550C	23,45	14,87	157,70	43,13	49,72	86,74	47,16	29,90
T550D	22,41	13,62	164,53	37,9	42,11	90,00	53,21	32,34
T550E	17,8	10,68	166,67	35,9	39,4	91,12	45,17	27,10
T600A	37,59	30,43	123,53	53,33	58,32	91,44	64,45	52,17
T600B	33,12	21,63	153,12	47,75	54,28	87,97	61,01	39,84
T600C	28,26	18,57	152,18	44,9	51,22	87,66	55,17	36,25
T600D	23,88	14,53	164,35	38,14	42,35	90,05	56,38	34,31
T600E	18,84	11,46	164,40	37,81	41,79	90,47	45,08	27,42

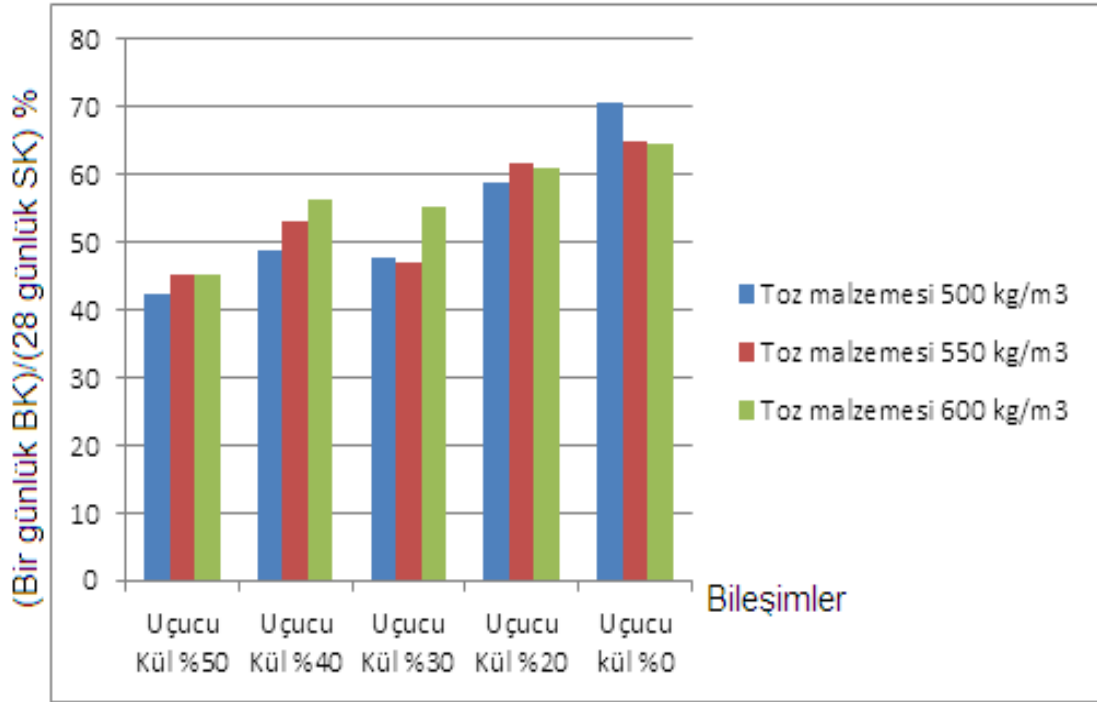
Şekil 9.4'te buhar kürü uygulanan numunelerin bir günlük basınç dayanımlarının laboratuvar ortamında bekleyen numunelerin 1 günlük basınç dayanımlarına oranı verilmektedir. Grafikten görüldüğü gibi buhar kürü uygulanan numunelerin basınç dayanımlarında belirgin bir artış oluşmaktadır. Buhar kürünün erken dayanımdaki olumlu

etkisi kendiliğinden yerleşen uçucu küllü betonlarda da gerçekleşmiştir. Grafikte, uçucu kül ikamesinin her üç toz malzeme miktarı için de, dayanım oranlarını arttırdığı görülmektedir. Uçucu külü bulunmayan betonlarda dayanım oranı % 20 düzeyinde iken uçucu küllü betonlarda bu oran % 60 lar mertebesinde. Bu durum, buhar kürünün uçucu külün normalde yavaş gelişen dayanım artışını hızlandırdığının göstergesidir. Bu bulgu, puzolanik katkıların ısıtılma işlemlere yatkın olduğu görüşünü doğrular niteliktedir [59].

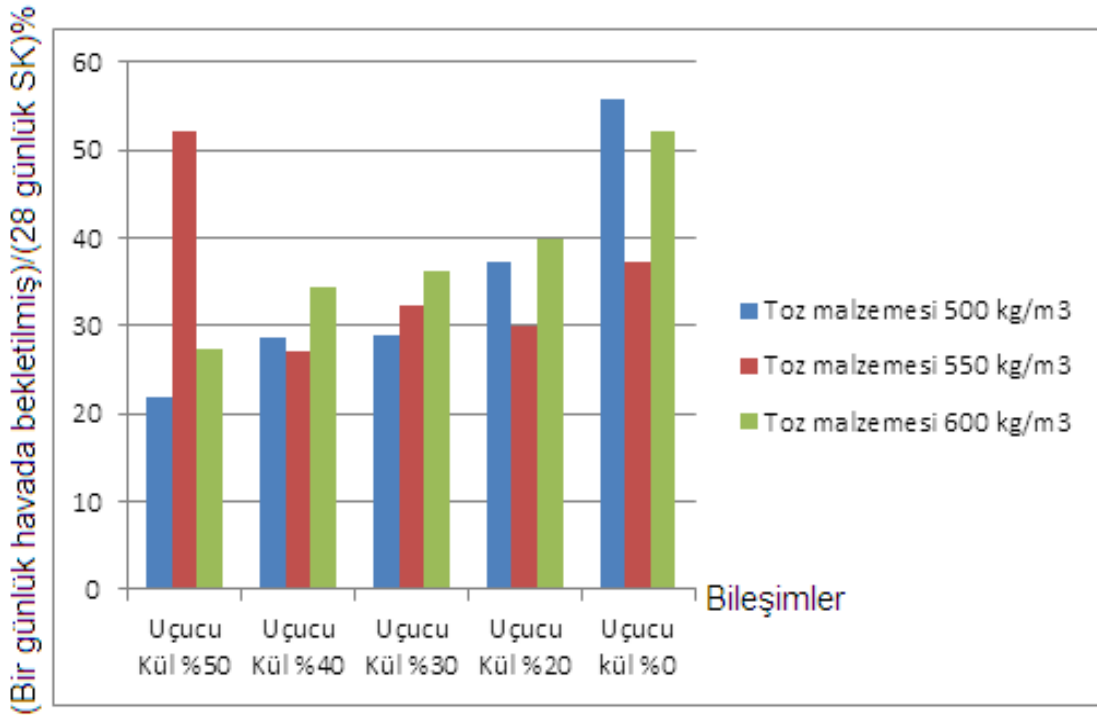


Şekil 9.4. Buhar kürü görmüş ve görmemiş bir günlük numunelerin basınç dayanımları oranı

Şekil 9.5 ve Şekil 9.6 buhar kürü görmüş ve görmemiş numunelerin, bir günlük basınç dayanımının 28 günlük standart su kürü görmüş numunelerin basınç dayanımına oranını göstermektedir. Şekil 9.5'ten, 28 günlük dayanımlarla kıyaslandığında, uçucu külsüz betonların 1 günde en yüksek dayanım kazancını sağladığı, kül miktarı arttıkça kazancın azaldığı görülmektedir. Fakat en az kazancın sağlandığı % 50 uçucu kül içeren betonlarda dahi 1 günde 28 günlük dayanımın % 40 ına ulaşıldığı görülmektedir. Aynı eğilim buhar kürü görmeyen numunelerde de mevcuttur. İki grafik birlikte değerlendirildiğinde, buhar kürünün bir günde %20-30 arasında ek kazanç sağladığı görülmektedir.



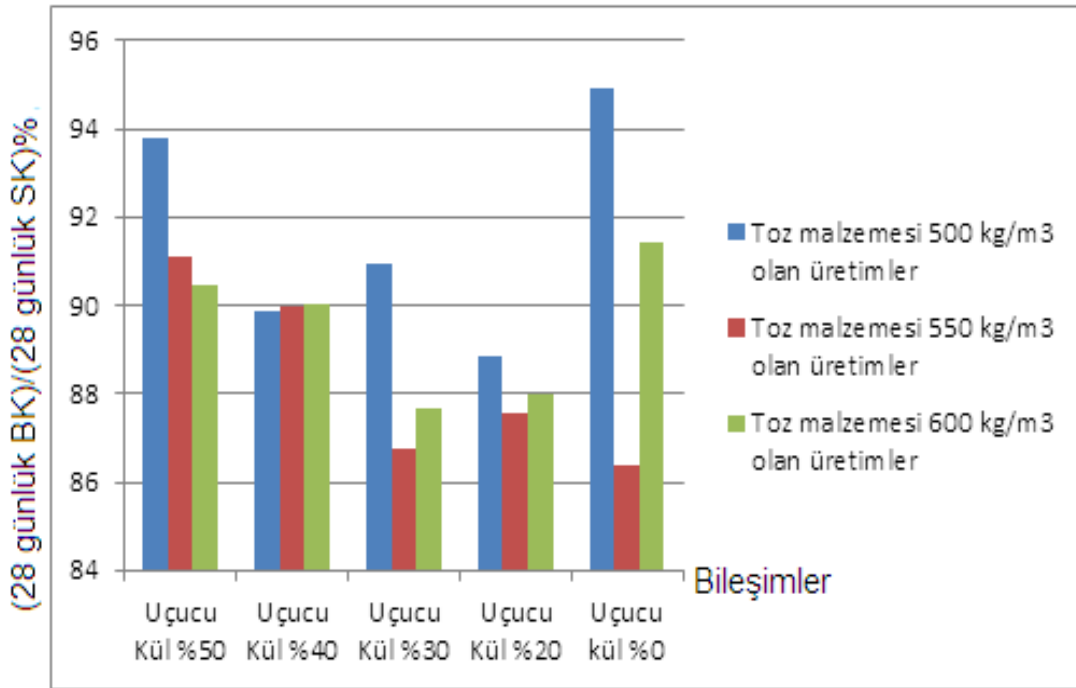
şekil 9.5. Buhar kürü görmüş numunelerin, bir günlük basınc dayanamının 28 günlük standart su kürü görmüş numunelerin basınc dayanamına oranı



şekil 9.6. Havada bekletilmiş numunelerin, bir günlük basınc dayanamının 28 gün standart su kürü görmüş numunelerin basınc dayanamına oranını

Buhar kürü uygulanan ve uygulanmayan tüm numuneler 27 gün su içinde bekletilmişler ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Dayanım değerleri Tablo 9.1’de görülmektedir.

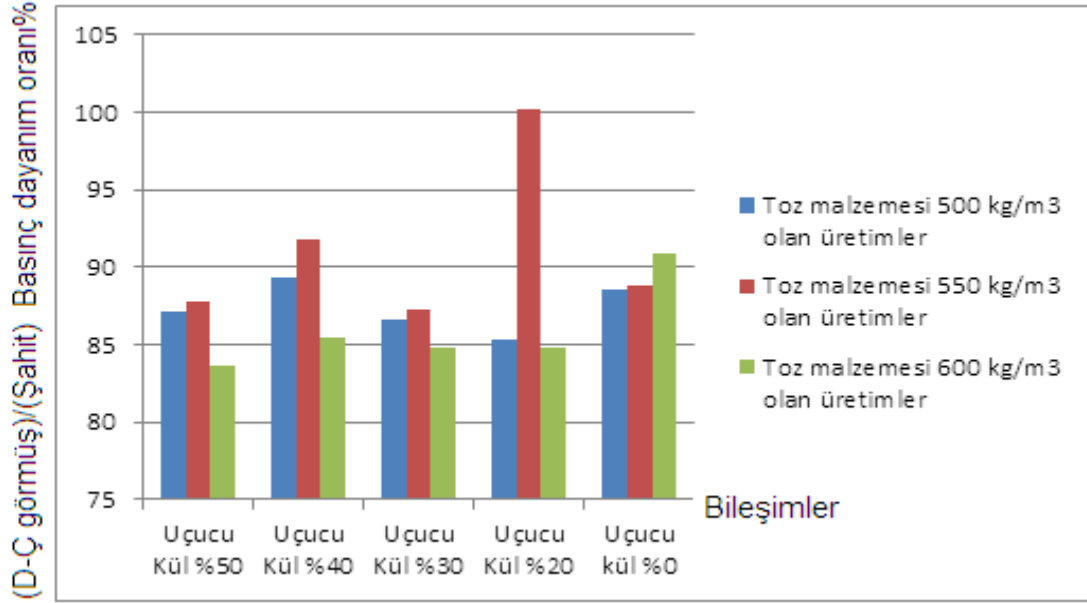
Şekil 9.7 buhar kürü gören numunelerin 28 günlük dayanımları ile standart kür gören numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının oranını göstermektedir. Buhar kürü etkisinden dolayı, tüm numunelerin nihai basınç dayanımında bir düşüş görülmektedir. Bu durum, buhar kürünün betonun iç yapısında oluşturduğu kalıcı şekil değiştirmelerin beklenen bir sonucudur. Bazı deneysel sapmalar olsa da, uçucu kül miktarı arttıkça, buhar küründen görülen zarar daha az gerçekleşmiş ve en yüksek dayanım oranları toplam toz miktarı 500 kg/m^3 olan betonlarda gerçekleşmiştir.



Şekil 9.7. Buhar kürü numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının standart kürü 28 günlük dayanımlara oranı

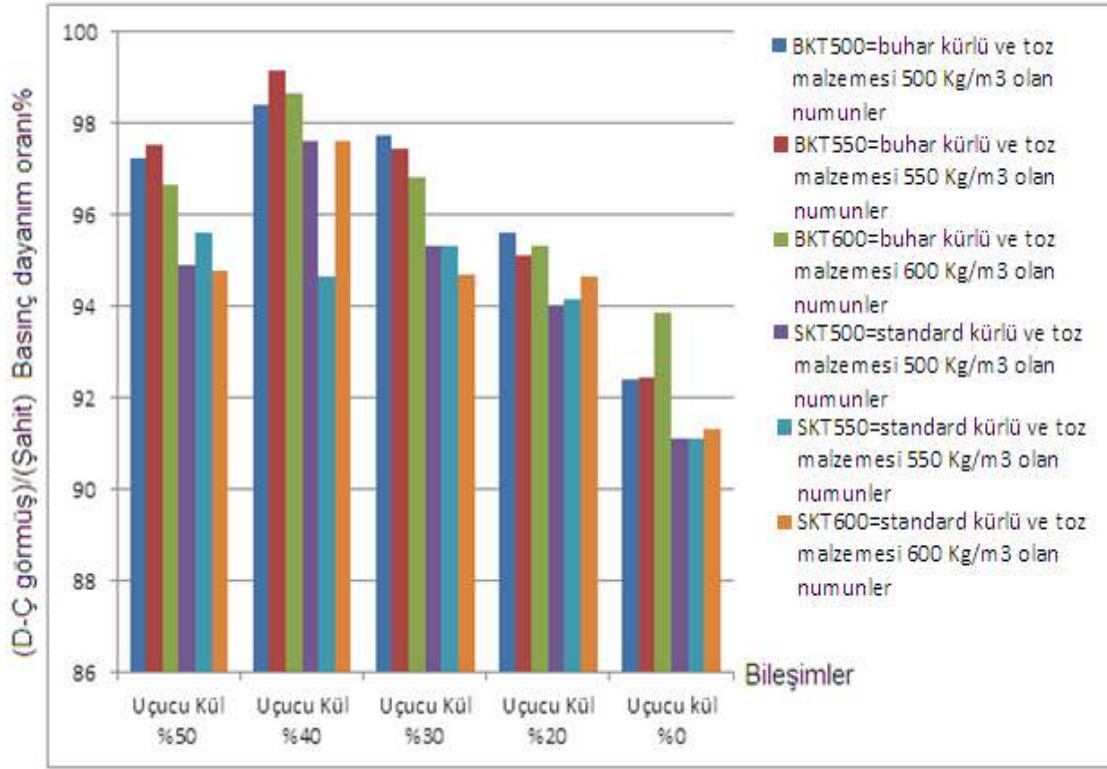
Şekil 10.8 buhar kürü uygulamasının hemen ardından uygulanan 100 çevrim D-Ç sonundaki basınç dayanımlarının, şahit numunelerin basınç dayanımlarına oranını göstermektedir. Toz miktarı 550 kg/m^3 ve %20 uçucu kül ikame olunan karışımın hiç bir hasar görmemesi deneysel bir sapma sayılırsa, 100 çevrim sonunda tüm numunelerdeki

hasarın %10-15 mertebesinde olduğu ve en yüksek oranların %40 uçucu kül ikamesinde sağlandığı gözlenmektedir.



Şekil 9.8. Buhar kürü uygulamasının ardından uygulanan 100 çevrim D-Ç sonundaki basınç dayanımlarının, şahit numunelerin basınç dayanımlarına oranı

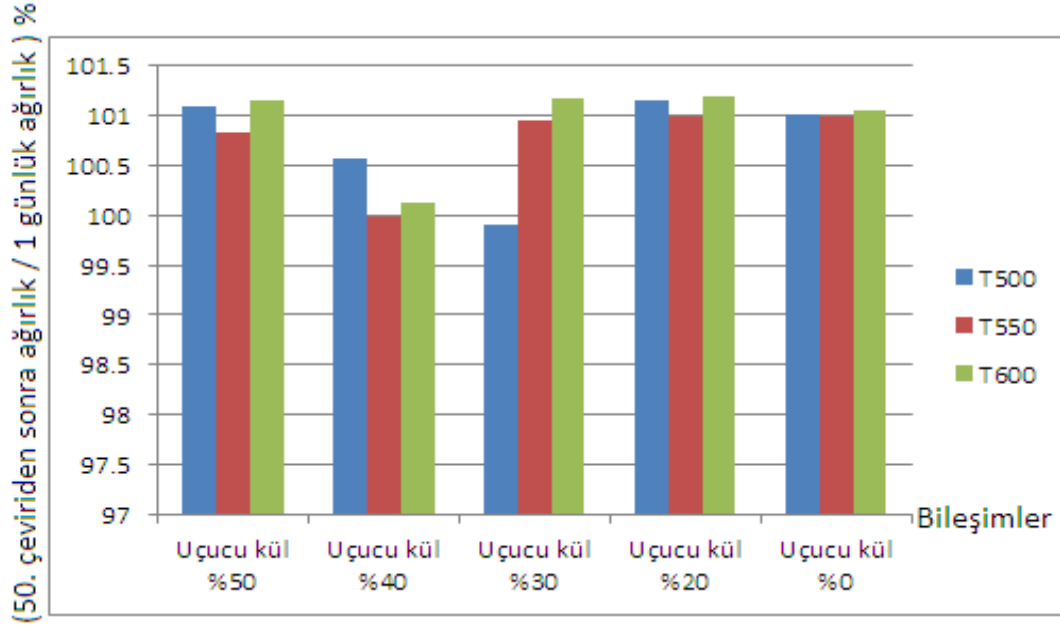
Üretimlerde buhar kürü görmüş ve görmemiş numunelerden birer tanesi, 27 gün standart kür uygulamasının ardından 28. günde D-Ç çevrimine tabi tutuldu ve 100 devir D-Ç sonunda, su içinde bekletilmiş şahit numuneler ile birlikte basınç dayanımları belirlendi. Şekil 9.9 bu numunelerin, 100 devir D-Ç sonundaki basınç dayanımlarının, şahitlerinin basınç dayanımlarına oranlarını göstermektedir. Grafikten, buhar kürü görmüş numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonunda standart kür görmüş numunelere oranla daha az hasar gördüğü görülmektedir. Bu eğilim, tüm uçucu kül ikame oranları için değişmemiştir. Toplam toz malzeme oranları açısından ise belirgin bir fark gözlenmemiştir. D-Ç çevrimleri sonunda en az hasar ise %40 uçucu kül ikame edilen karışımlarda olmuştur. Uçucu kül bu miktardan fazla olduğu zaman, erken basınç dayanımının düşük olmasından dolayı, buhar kürü hasarının arttığı ve bunun da dayanım kaybını arttırdığı düşünülmektedir.



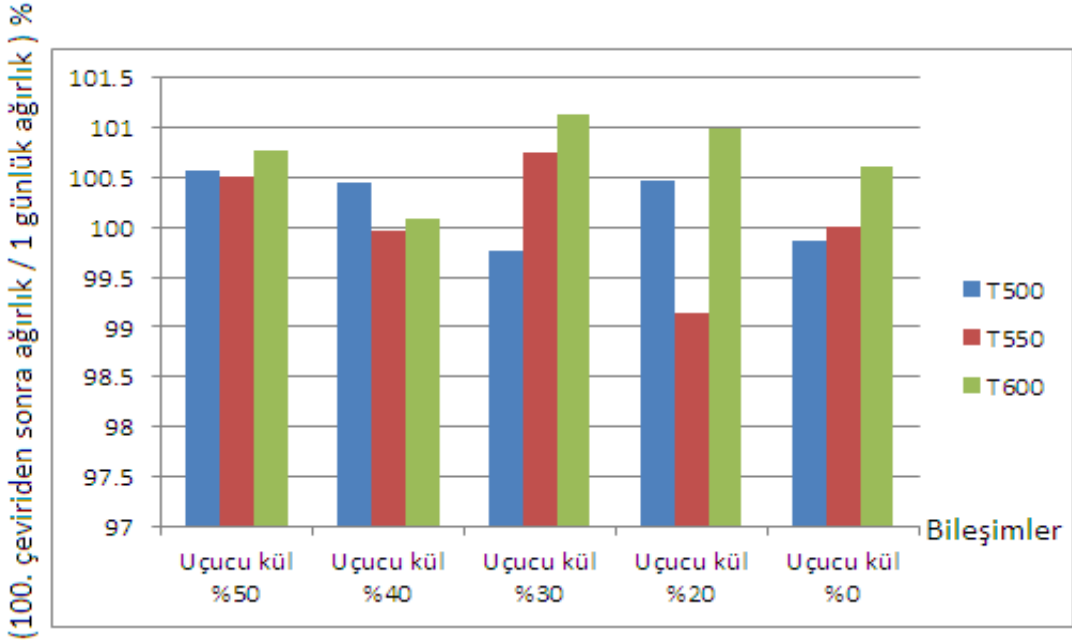
Şekil 9.9. 27 gün standart kürden sonra 100 devir D-Ç çevrimi uygulanan numunelerin basınç dayanımlarının şahit numunelerin dayanımlarına oranları.

9.2.2. Ağırlık Değişimi

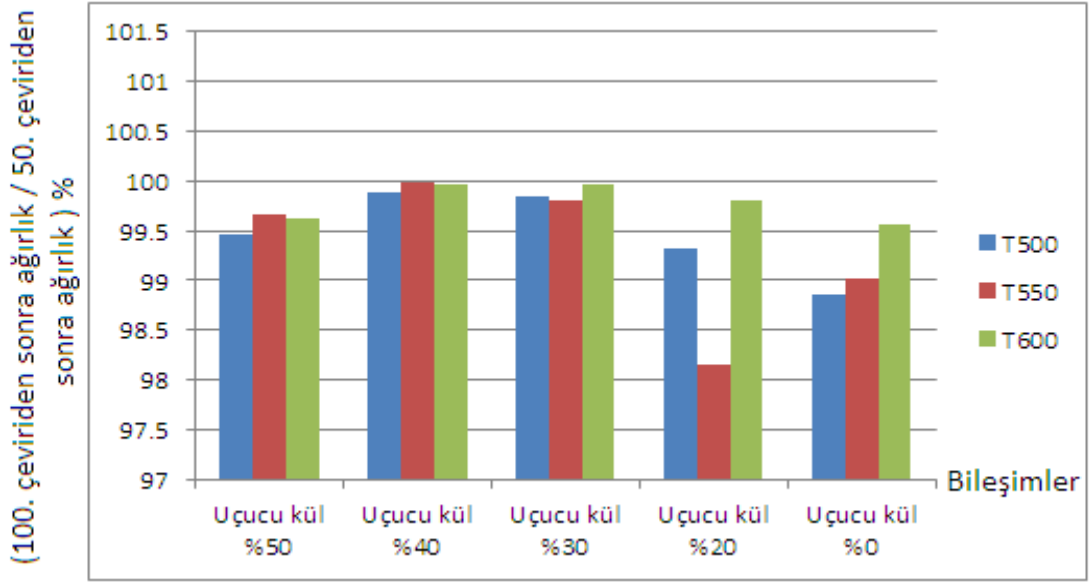
Buhar kürü uygulamasından hemen sonra yani 1. günde D-Ç çevrimine tabi tutulan numunelerin 1 günlük ağırlıkları ile 50 çevrim ve 100 çevrim D-Ç sonundaki ağırlıkları belirlenerek oluşan değişimler gözlemlendi. Şekil 9.10, 50. çevrim sonundaki ağırlık ile bir günlük ağırlığın oranını, Şekil 9.11, 100. Çevrim sonundaki ağırlık ile bir günlük ağırlığın oranını göstermektedir. Şekil 9.12, 100. ve 50. çevrim sonundaki ağırlıkların birbirine oranını göstermektedir. 50. çevrimde ağırlıkta artış görülmesinin sebebi, numunelerin su emmeleridir. Şekil 9.11 ve Şekil 9.12'den 100 çevrim sonunda %40 uçucu kül ikame olunan numune ağırlıklarının hiç bir değişikliğe uğramadıkları net olarak görülmektedir. Bu oranda uçucu kül ikame olduğu zaman, su emmenin minimum olduğu, bu nedenle D-Ç çevrimleri ilerledikçe, ağırlık değişimi olmadığı ve D-Ç karşı dayanıklılığın yüksek olduğu anlamına gelir.



Şekil 9.10. Bir günlük donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerde 50 çevrim sonunda numune ağırlık oranlarındaki değişim

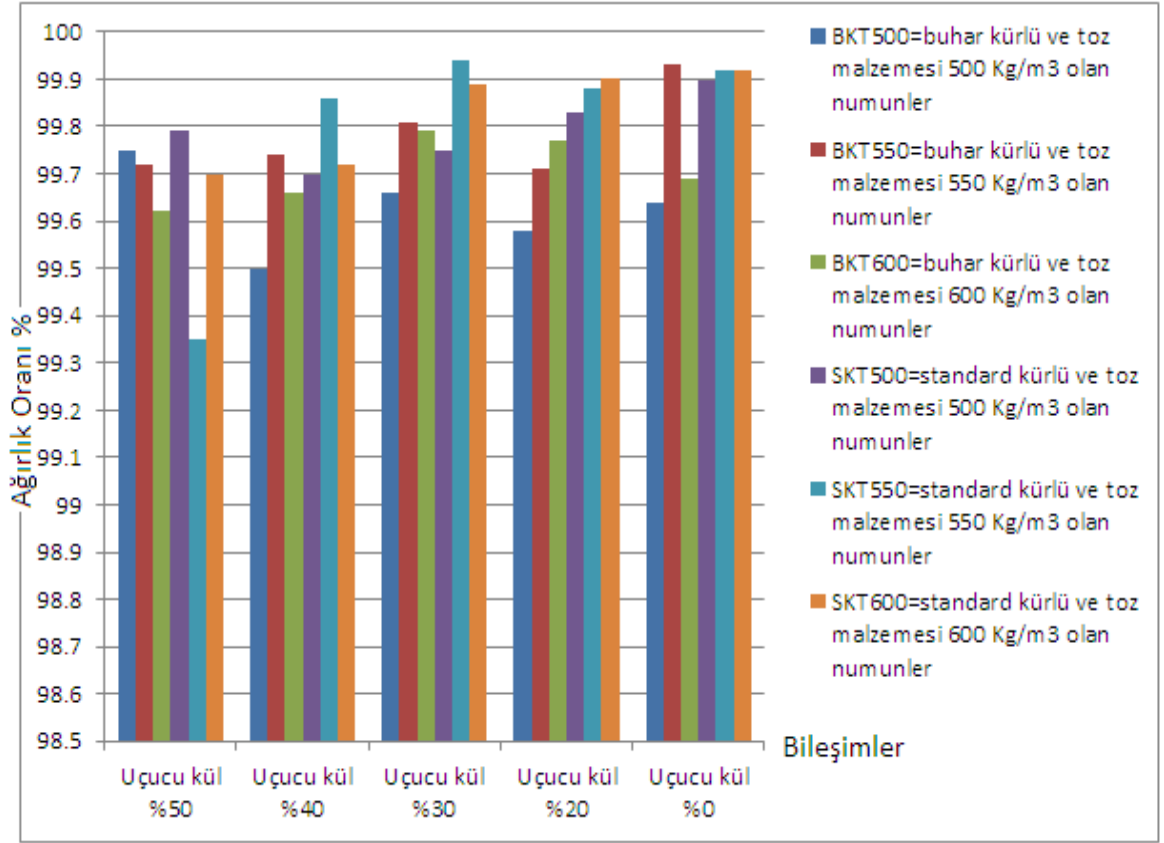


Şekil 9.11. Bir günlük donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerde 100 çevrim donma çözölme sonrasında numune ağırlık oranlarındaki değişim

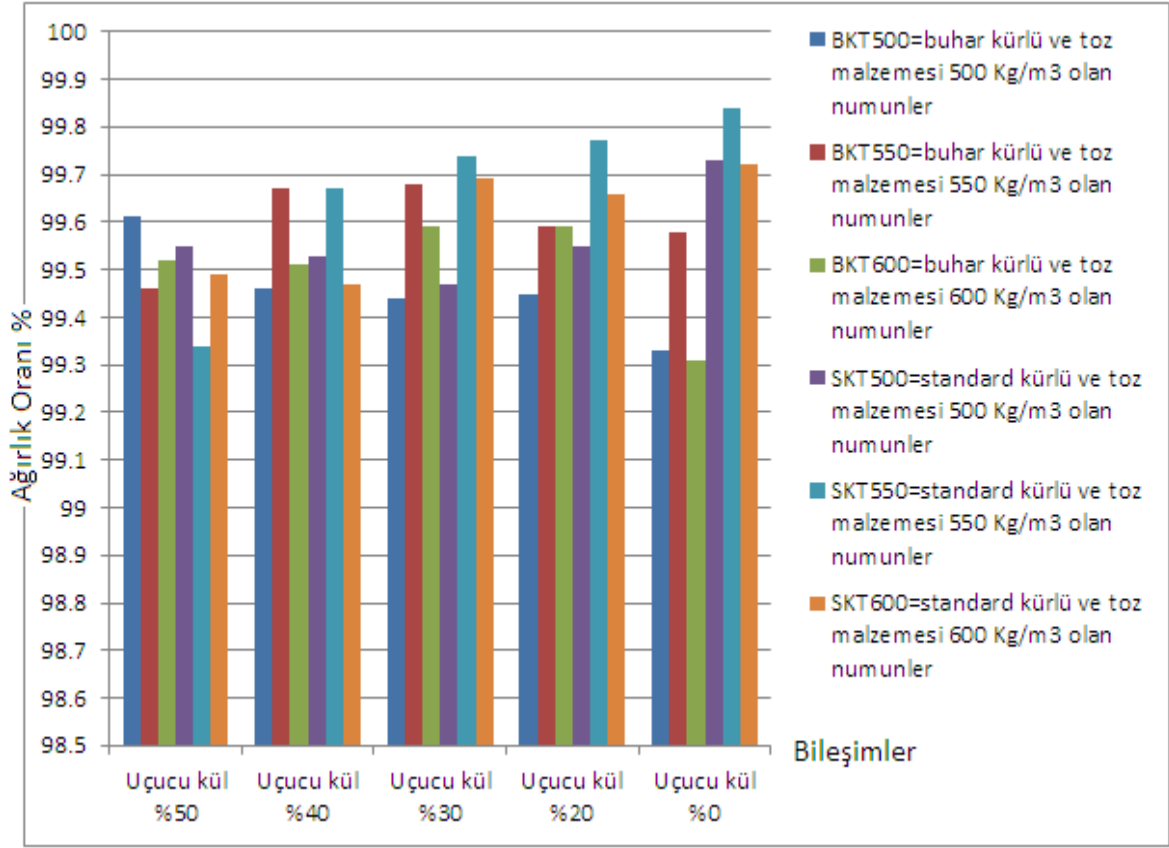


Şekil 9.12. Bir günlük donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerde 100.çevrim ağırlığı/50. çevrim ağırlığı

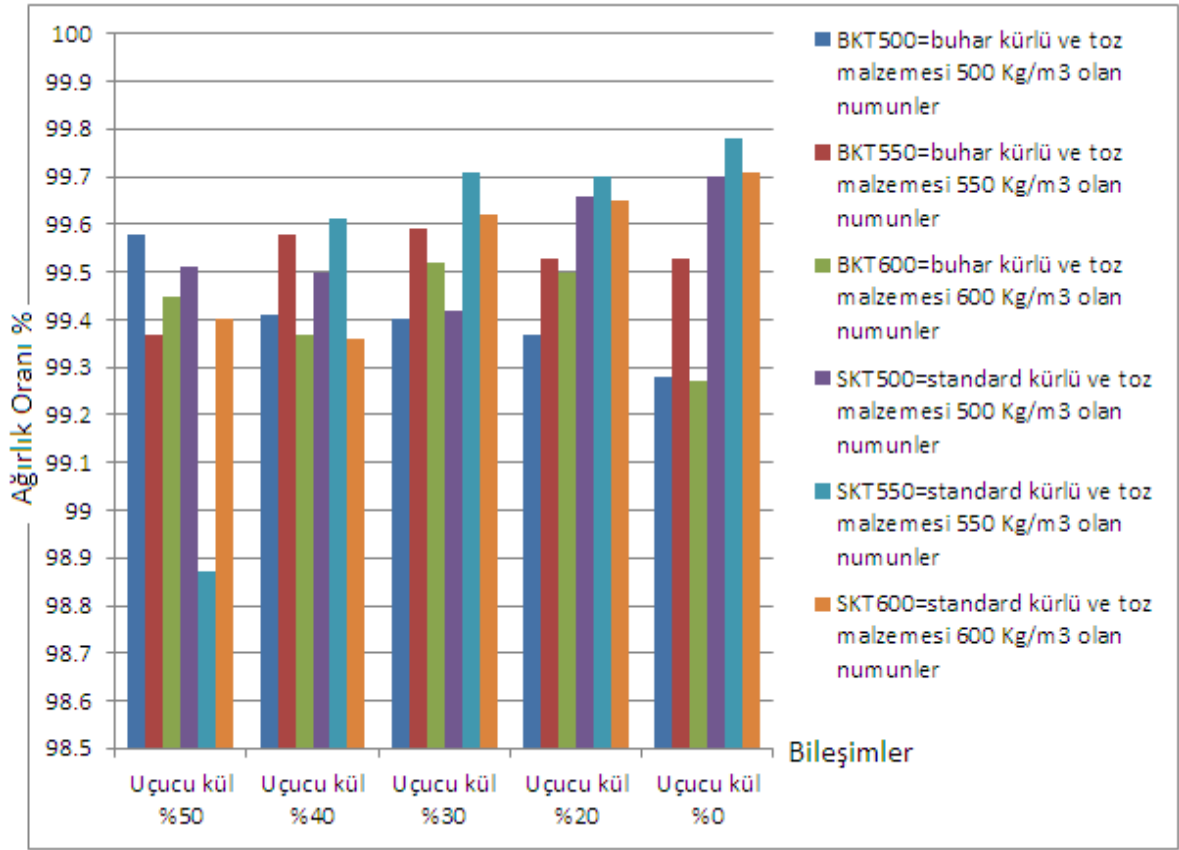
Şekil 9.13, Şekil 9.14 ve Şekil 9.15, 28 gün kür edildikten sonra donma çözölmeye maruz bırakılan numunelerin sırasıyla 25, 50 ve 100 çevrim sonundaki ağırlıklarının, 28 günlük ağırlıklarına oranını göstermektedir. Donma çözölmeye oluşturduğu hasarın ölçüm yöntemlerinden biri olan ağırlık kaybı açısından, betonlar arasında çok belirgin bir fark olmadığı görölmektedir. Genellikle en az ağırlık kaybı, toz malzemesi 550 kg/m³ olan betonlarda gerçekleşmiştir. Çevrim sayısı ilerledikçe buhar kuru görmüş betonların ağırlık kaybının daha fazla olduğu görölmüştür.



Şekil 9.13. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 25 çevrim sonundaki ağırlığının 28 günlük ağırlığa oranı



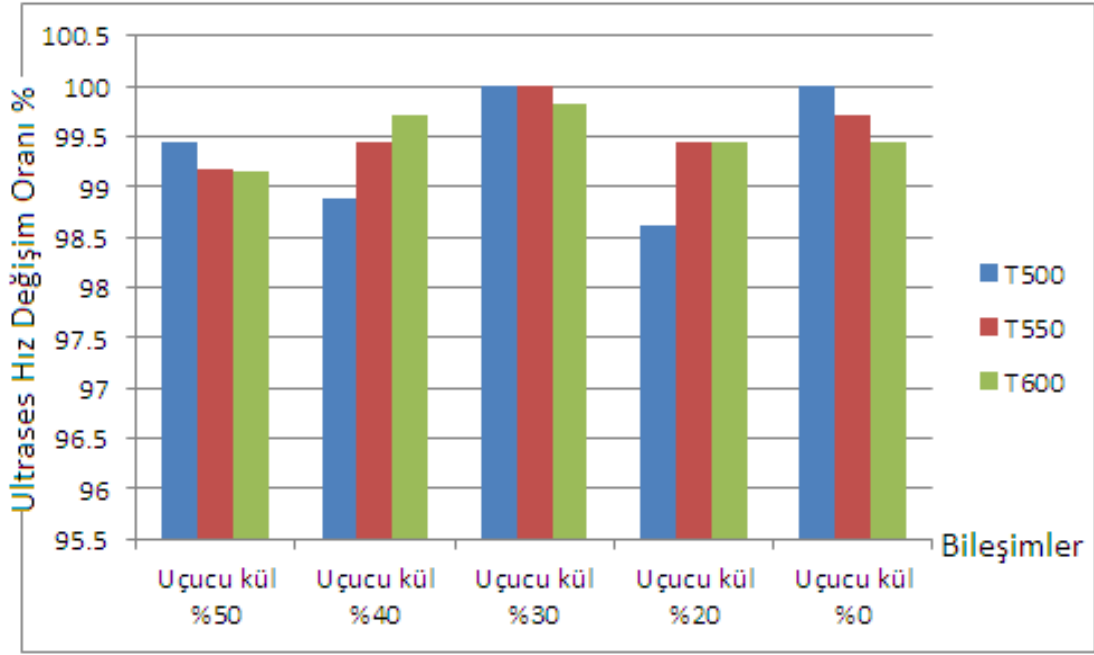
Şekil 9.14. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 50 çevrim sonundaki ağırlığının 28 günlük ağırlığa oranı



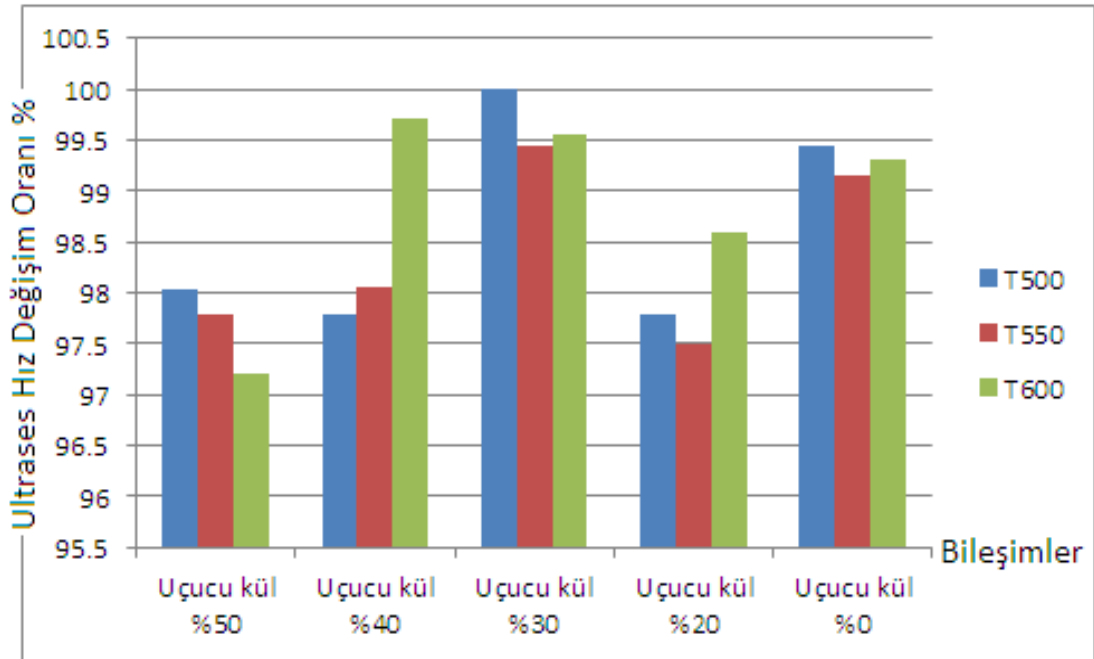
Şekil 9.15. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 100 çevrim sonundaki ağırlığının 28 günlük ağırlığa oranı

9.2.3. Ultrases Hızı

Şekil 9.16 ve Şekil 9.17 buhar kürü uygulandıktan hemen sonra yani bir günlük iken D-Ç maruz bırakılan numunelerin, ultrases hızı değişimlerini göstermektedir. Sonuçlara göre 100 çevrim donma-çözülme sonunda ultrases hızı değişimi en çok % 3 olmuştur. Yani buhar kürü uygulanmış numuneler ilk günde D-Ç ile karşılaşsalar da önemli bir hasar görmeden dayanıklılıklarını sürdürebilmişlerdir. Uçucu külün varlığı, toz malzeme dozajı gibi parametreler açısından belirgin bir fark görülmemektedir.



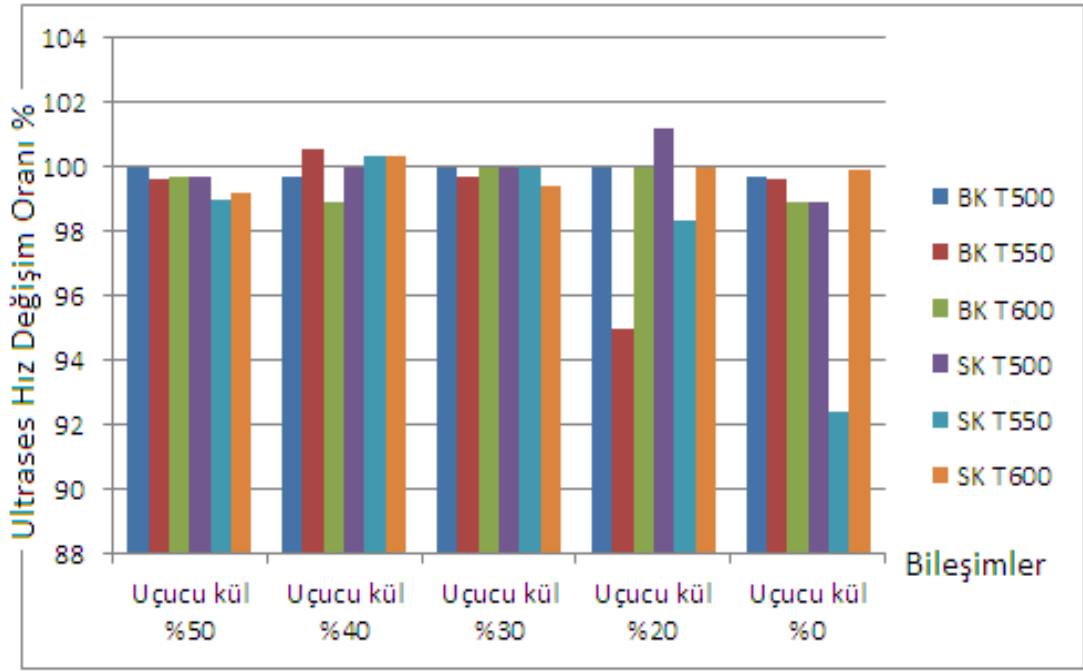
Şekil 9.16. Bir günlük donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerde 50 ve 25 çevrim sonundaki ultrases hızları oranı



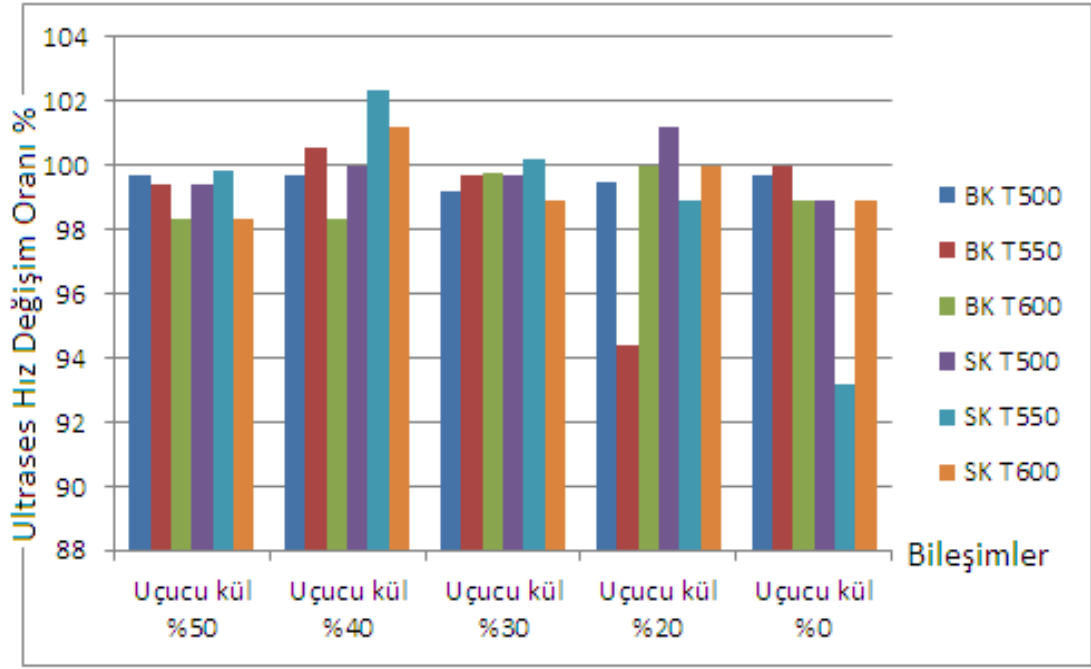
Şekil 9.17. Bir günlük donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerde 100 ve 25 çevrim sonundaki ultrases hızları oranı

Şekil 9.18, Şekil 9.19 ve Şekil 9.20, 28 günlük iken D-Ç maruz bırakılan numunelerin sırasıyla 25, 50 ve 100 çevrim sonundaki ultrases hızlarının 28. gündeki

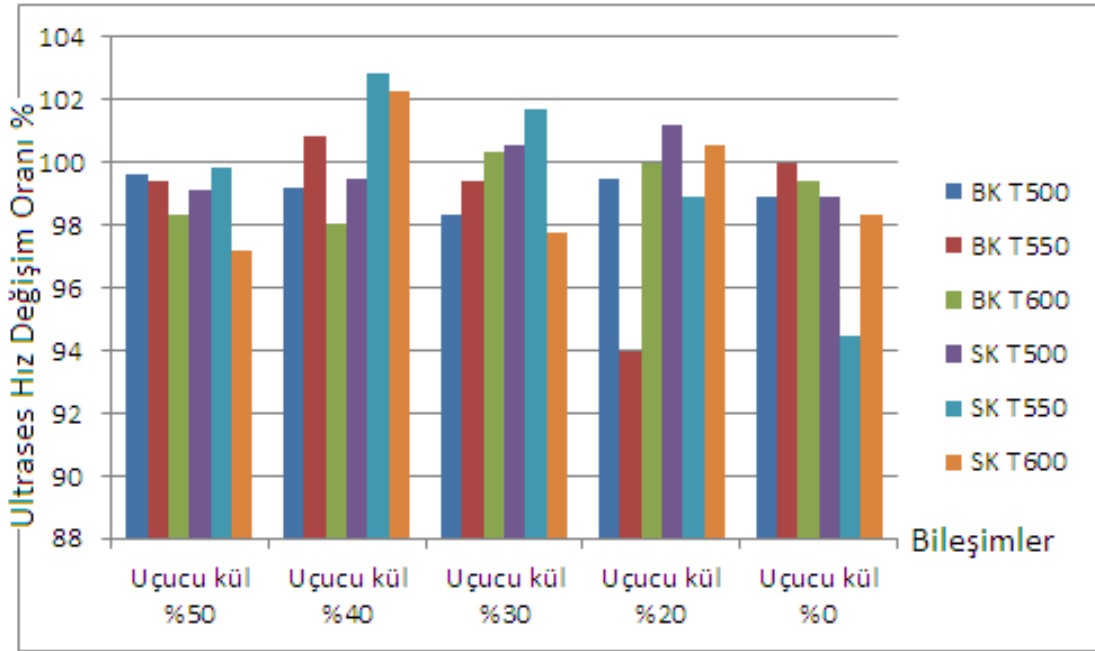
ultrases hızlarına oranını göstermektedir. Grafiklerden, 100 çevrim donma-çözülmenin sonunda bile ultrases hızlarında önemli bir değişim olmadığı, hatta bazı numunelerde hız artışı olduğu bile görülmektedir. Oluşan kayıplar, ortalama %2-3 düzeyindedir. Numunelerin buhar kürlü olup olmaması, toz malzeme miktarı ve uçucu kül ikame miktarı da ultrases hız değişiminde belirleyici bir etken olmamıştır. Üretilen numunelerin geçirimsiz yapısı nedeniyle numuneler donma-çözülme etkisinden hasar görmemişlerdir.



Şekil 9.18. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 25. çevrimdeki ultrases hızlarının 28. gündeki ultrases hızlarına oranı



Şekil 9.19. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 50. çevirimdeki ultras es hızlarının 28. günde ki ultras es hızlarına oranı



Şekil 9.20. 28 gün kür ardından D-Ç tabi tutulan numunelerin 100. çevirimdeki ultras es hızlarının 28. günde ki ultras es hızlarına oranı

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10.1. Sonuçlar

Bu çalışmada buhar kürü uygulanmış uçucu küllü kendiliğinden yerleşen betonların 100 donma-çözülme çevrimi sonundaki bazı mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Donma-çözülme çevrimleri bir günlük buhar küründen hemen sonra, buhar kürünün ardından 27 gün standart kürden sonra ve buhar kürü uygulanmamış 28 günlük standart kürden sonra uygulanmıştır. Mineral katkı olarak uçucu kül kullanılmış, üç farklı toz miktarında toplam 15 üretim yapılmıştır. D-Ç çevrimleri sonunda, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve ağırlık değişiklikleri belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, aşağıda özetlenmiştir:

- 1- Kendiliğinden yerleşen betonlar, buhar kürü uygulaması sonucu 1 günde 28 günlük dayanımın yaklaşık %40-60'ı arasında dayanım kazancı sağlamıştır.
- 2- Kür koşullarından bağımsız olarak, uçucu kül miktarı arttıkça numunelerin erken dayanımları düşük olmakta ama zaman ilerledikçe bu fark azalmaktadır.
- 3- Buhar kürü uygulanmış KYB ler, erken dayanım elde etseler de, toplam toz miktarından bağımsız olarak 28 günde standart kür gören betonlardan daha az basınç dayanımı göstermişlerdir.
- 4- Uçucu kül miktarı arttıkça buhar kürlü betonların 28 gündeki dayanım kayıpları azalmıştır. En az dayanım kaybı toz malzeme miktarı 500 kg/m^3 olan betonlarda gerçekleşmiştir.
- 5- Buhar kürü görmüş KYB ler, hemen D-Ç etkisine maruz kaldıklarında 100 çevrim sonunda en çok % 15 dayanım kaybına uğramışlardır. Ultrases hızında ise en çok % 3 lük bir kayıp gözlenmiştir.
- 6- Bu çalışma koşullarında buhar kürlü KYB lerde 100 çevrim D-Ç sonunda en az dayanım kaybı uçucu kül ikame miktarı toplam tozun %40'ı olduğunda gerçekleşmiştir. Toplam toz malzeme miktarındaki değişim açısından belirgin bir fark gözlenmemiştir.
- 7- Tüm betonlarda donma çözülme ardından önemli bir ağırlık kaybı ve ultrases hızı değişimi gözlenmemiştir.

- 8- KYB lerde, uçucu kül kullansın veya kullanmasın, buhar kürü uygulansın veya uygulanmasın düşük S/Ç oranı ve yüksek toz malzeme varlığından dolayı betonun geçirimsiz oluşu nedeniyle D-Ç betonun içine pek zarar verememektedir.
- 9- İster buhar kürü uygulansın ya uygulanmasın, KYB lerde D-Ç ye dayanımlı bir KYB üretebilmek için, uçucu kül ikame miktarı %40 olarak sınırlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Acay, E., Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonda Yüksek Sıcaklık Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 2010.
2. ACI Committee 226, Use of Fly Ash in concrete, ACI Materials Journal, 84, 5 (1987) 381-409.
3. ACI Committee 517, Low Pressure Steam Curing, JACI, Agustos, (1963).
4. ACI 308-92, 'Standart Practice for Curing Concrete " ACI Manual of Concrete Practice, 2 (1994) 308,1-11.
5. ASTM C 618. "Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete," American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, 4, 2, West Conshohocken, Pennsylvania, 1994.
6. Agamoglanov, On Problem of heat treatment of concrete items in oil medium, RILEM, Moskova, 1964.
7. Aggoun, S., Kheirbek, A., Kadri, E.H ve Duval, R., Study of the Flow of Self Compacting Concretes, First North American Conference on the Design and Use of Self –Consolidating Concrete, 2002.
8. Akman, M.S., Influence de la Fraction Volumetrique et de la Qualite du Gravier sur l' Inelasticite du Beton, Materials und Technik, Zürich, 2 (1977) 83-92.
9. ASTM C666 / C666M , Cement Standards and Concrete Standards
10. Baoju, L., Youjun, X., Shiqiong, Z. and Jian, L., Some Factors Attecting early Compressive Strength of Steam-Curing Concrete with Ultrafine Fly Ash, Cement and Research, 31 (2001) 1455-1458.
11. Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Yayın No 298, D.E.Ü.Müh.Fak Yayını, İzmir, 2002.
12. Berry, E.E ve Malhotra, V.M., Fly Ash for Use in Concrete a Cirtical Review, American Concrete Institute, 3-4, 1980, 59-73.
13. Boy. M., Contribution à l'étude des traitements thermiques des bétons, Cahiers du CSTB, Aralık 1961.
14. Brolich. N., Le durcissement accélère du béton par traitement thermique, Betonwerk und Fertigteil-Technik, Çeviri: CERİB, şubat.Mart.Nisan 1973.

15. Bury, M.A. and Christensen, B.J., The role of Innovative Chemical Admixtures in Producing Self-Consolidating Concrete, First North American Conference on the Design and use of Self-Consolidating Concrete, (2002) 141-146.
16. Chaize.A., Contribution à l'étude des méthodes d'accélération du durcissement des béton par la chaleur, Le traitement par rayonnement infrarouge, Cahiers du CSTB, 7-8 (1970).
17. Collepardi, M.A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC). Unpublished data, 10 , 2001.
18. Collepardi, M., Collepardi, S., Skarp, U. ve Troli, R., Optimization of Silica Fume , Fly ash and Amorphous Nano-Silica in Supeplasticized High performorce Concrete, <http://www.encosrl.it/enco%20srl%20ITA/servizi/pdf/aggiunte/21.pdf> ,08.10.2010.
19. Cook, JE., 'Fly Ash in concrete-Technical considerations", Concrete international, ACI, 51-59, Eylul.1983.
20. Copelandkantro and Verbeck, Chemistry of hydration of Portland cement ICCI, Washington, 1960.
21. Corinaldesi, V. ve Moriconi, G., Durable fiber reinforced self-compacting concrete, Department of Materials and Environment Engineering and Physics, Marche Polytechnical University, Via Brece Bianche. Italy, Cement and concrete research, 34 (2004) 249-254.
22. Cwirzen, A. and Pentalla, V., Aggregate-Cement pasta transition zone properties affecting the salt-frost damage of high-performance concrete, Cement and Concrete Research, 35 (2005) 671-679.
23. Çopuroğlu, O., The Characterisation, improvement and modelling aspect of Frost Salt Scaling of Cement-Based Materials with a High Slag Content.PH.D Tezi, Delft University of Technology, Delft, 182, 2006.
24. Duyar,O., Degussa Yapı Kimyasalları San.A.Ş., Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deney Metotları ve Mühendislik Özellikleri, Hazır beton dergisi,(2002) 46-52.
25. EFNARC, Spesifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, 2002.
26. EFNARC, Specifications and Guidelined for Self Compacting Concrete Specification, production and use, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems ,Farnham, UK, 2005, 68.
27. Enders, M., The CaO Distribution to Mineral Phases in a High Calcium Fly Ash from Eastern Germany, Cement and Concrete Research, 26,2 (1996) 243-250.

28. Erdoğan, T.Y., Admixtures for Concrete.METU Press, Ankara, 1997.
29. Erdoğan.T.Y, Beton, Üçüncü baskı, 1-8, 188-195, 377-381, 397-399, ODTÜ Yayıncılık, 2010.
30. Erdoğan, T.Y., High-Lime Fly Ash Concretes, Proceedings, Cairo First International Conference on Concrete Structures, 1, 1 (1996), 1-9.
31. Fang, W., Jianxiong, C. ve Changhui, Y. Studies on Self Compacting High Performance Concrete with High Volume Mineral Additives, Proceedings of the First International RILEM Symposium, 1999.
32. Felekoğlu, B., Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Aaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.İzmir, 2003.
33. Felekoğlu. B, Yücel yardımcı. M ve Baradan. B., Kendiliğinden Yerleşen Betonların Aşınma ve Donma-Çözülme Direnci,Beton dayanıklılığı (Durabilite), 5.Ulusal Beton Kongresi ,Ekim 2003, İstanbul.
34. Gürol, G., Ekonomik Beton İçin Beton Bileşenleri Çimento/Su/İnce ve Kaba Agregat/Kimyasal ve Mineral Katkılar, Dizayn ve Konstrüksiyon Dergisi, 164 (1999).
35. Hewlett, P.C, Lea ' s chemistry of Cement and concrete, Fourth Edition, Arnold, 1998.
36. Hughes, D.G., Knight, G.F ve Mansky, E.F. , Self Compacting Concrete Case Studies Show Benefits to Precast Concrete Producers, First North American Conference on the design and use of Self-Consolidating Concrete, (2002), 405-412.
37. Hulusi Özkul, M., Anıl doğan, Ü., Işık.İ.E., Sağlam, A.R. ve Parlak, N., Kendiliğinden Yerleşen Beton: Temel İlkeler ve Özellikler, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş., İ.T.Ü.İnşaat Fakültesi, Hazır Beton dergisi, 3-4 (2005) 54-61.
38. Hutin. G., Application de l'accélération du durcissement du béton par la chaleur dans les usines de préfabrication, Annales, şubat, 1973.
39. Jacobs, F. ve Hunkeler.F, TFB Technical Research and Consulting on Cement and Concrete, Switzerland-Yüksek Beton Yapılar için Kendiliğinden Sıkışan Beton Karışımı,
http://www.soylubeton.com/gerecler/kendiliginden_yerlesen_sikisan_performans_beton.pdf . 22.Ekim.2011 .
40. Jarocki, J. ve Talbierski, J., Steam consumption for steam curing process of concrete elements at temperature below 100 °C (bu using box forms), RILEM, Moskova, 1964.

41. Kadri, E.H., Aggoum, S., Duval, R. ve Petruk, M.P., Influence of C_3A on physico-chemical and mechanical properties of high performance concretes, Second International Symposium on Cement and Conc. Tech., (2000), 31-39.
 42. Kandemir, A., Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kalıcılık Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2005.
 43. Khayat, K.H. ve Yahio, A., Effect of Welan Gum-High-Range Water Reducer Combinations on Rheology of Cement Grout, 9-10. 1997. ACI Materials J., 5, 365-372.
 44. Khurana, R. ve Topçu, İ.B., Role of Superplasticizerz in the Development of Self Compacting Concrete, Second International Sysposium on Cement and Concrete Tech, İstanbul, 2000.
 45. Lane, R.O. ve Best J.F., 'Properties and use of Fly ash in portland cement concrete,' Concrete international, ACI, Temmuz, 1982, 81-92.
 46. Lio, M., Self Compacting Concrete With Different Levels of Pulverized Fuel Ash, Department of civil, Environment and Geomatic Engineering, University College London, Construction and Building Materials, 24 (2010) 1245-1252.
 47. Mamillan, Recherches expérimentales sur l'accélération du durcissement du béton par le chauffage, Annales, Mart-Nistan, 1970.
 48. Mindess, S. ve Young, J.F., Concrete, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1981.
 49. Mindess, S., Young, J.F. ve Darwin, D., Concrete. 2nd Edition, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2002, 583-598.
 50. Mironov. S.M., Le chauffage électrique dans le bétonnage en hiver, Annales, Eylül, 1966.
 51. Mnahončáková, E., Pavlíková, M., Grzeszczyk, S., Rovnaníková ve Černý, R., Hydric, thermal and mechanical properties of self-compacting concrete containing different fillers, Construction and Building Materials, 22 (2008) 1594-1600.
 52. Naderi, A ve Rashvand aveh, A., Donma-Çözölmeye Maruz Kalan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Agregat Türünün Etkisi, Güçlendirme ve Kentsel Yönetim Ulusal Konferansı, Mayıs, 2010.
- (محمود نادری، ابوالفضل رشوند آوه، تاثیر نوع سنگدانه بر دوام بتن های خود متراکم در معرض سیکل انجماد و ذوب، همایش ملی مقوم سازی و مدیریت شهری، اردیبهشت 1389 هجری-خورشیدی، ایران)
53. Neumann Venevere. P., Durcissement accélère de panneaux en béton par chauffage aux infrarouges, Betonstein Zeitung, Ocak-Şubat, 1971.
 54. Neville, A.M. ve Brooks, J.J., Concrete Technology, Longman Scientific & Technical, John Wiley & Sons. Inc, New York, 1987.

55. Neville, A.M., Properties of Concrete, Longman Scientific and Technical, England, 1981.
56. Okamura.H. and Ouchi, M, 1999. Self Compacting Concrete Development Present Use and Future, Proceeding of the First International RILEM Symposium, Stockholm, Sweden, 1999, 3-14.
57. Özkul, M.H., Beton teknolojisinde bir devrim:kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, Hazır Beton Dergisi, 7-8, (2002), 64-71.
58. Öztekin, E., Beton Sertleşmesinin Hızlandırılmasında Kulloanılan Isıl İşlemler-Eğilme Dayanımına Etkileri, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 1983.
59. Öztekin, E., Isıl İşlenecek Betonlar İçin Çimento Seçimi, Araştırma Raporu, K.T.Ü., Trabzon, 1982.
60. Papadakis, L étuvage des produits en béton, Revue Bétons Industriels, 17-18, 1967.
61. Perez, N., Hermida, G., Romero, H. ve Cuellar G., Self – Compacting Concrete on the Search and Finding of an Optimized Design, First North American Conference on the Design and use of Self –Compacting Concrete, 2002.
62. Roy, D.M., Luke, K. and Diamond, S., Characterization of Flu Ash and its Reaction Society, Pittsburg, 1984.
63. Sari, M., Part, E. and Labastire, J.F., High Strength self-compacting concrete Orginal solutions associating organic and inorganic admixtures, Cem. Concr.Res., 29 (1999) 813-818.
64. Schulson, E.M., Ice damage to concrete, CRREL special report,98-6, 1998.
65. Schumacher ve Chaize, Contribution à l'étude des méthodes d'accélération du durcissement des bétons par la chaleur, Le traitement en moule chauffant, Cahiers du CSTB, Nisan, 1969.
66. Siddique, R., Properties of Self-Compacting Concrete Containing Class F Fly Ash, Department of civil engineering, Thapar university, Patiala, Punjab, India, Materials and Design, 32 (2011) 1501-1507.
67. Su, N., Hsu, K.-C. ve Chai, H.-W., A simple mix design of Self-Compacting Concrete, Cement.Concrete.Res., 31, 2001.
68. Tandırılı, E., Akalın, Ö. ve Arca, E., The effect of Melamine Based Supeplasticizers on the Properties of Concrete, Second International Symposium on Cement and Concrete, Technical, 2000, 1, İstanbul, Turkey, 453-462.
69. Topçi, İ.B. ve Uygunoğlu, T., Kendiliğinden Yerleşen Betonda Pomza hafif Agreganın Kullanımının Araştırılması, Beton Prefabrikasyo Yıl 22, 1 (2008) 5-14, 85.

70. TS EN 12620 Agregastandartı, TSE, Ankara, 1980.
71. TS EN 206-1, Beton-Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Ankara, Mart 2002.
72. TS EN 3449, Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini, TSE, Ankara, Birinci Baskı, Mart 1981
73. TS 3526 Beton Agregalarında Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TSE, Ankara, Birinci Baskı, Aralık 1980.
74. Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A., Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Ankara, 2007.
75. Tyler, I.Z., Verbeik, G.J. ve Powers, T.C., Report of the Portland Cement Association, 1951.
76. Uygunoğlu, T., Hafif Ağregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üni, Fen Bilimler Enstitüsü, İsparta, 2008.
77. Ünal, O. ve Uygunoğlu, T., Uçucu Küllü Betonların Donma-Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, www.dogateknik.com.tr/Teknik-Belgeler/Ucucu-kullu-betonların-donma-cozulmeye-karsi-dayanikliginin-arastirilmesi.pdf, 23 Ekim 2011.
78. Vassaux, Les procédés modernes de thermomaturation du béton, Construction, Mart-Ekim, 1973.
79. www.basf-yks.com.tr/EN/produkte/AdmixtureSystems/ConcreteAdmixtures/gleniumc303/Documents/GleniumC303.pdf, 21 Ekim 2011.
80. www.concrete.org/BookstoreNet/ProductDetail.aspx?ItemID=201208, 26.10.2011.
81. Yahia, A., Tanimura, M ve Shimoyoma, Y., Evaluation of Deformability of Different Types of Self-Consolidating Concrete, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 2002, 303-310.
82. Yalçınkaya, Ç., Mineral katkılı Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2009.
83. Yamada, K., Takahashi, T., Hanehara, S. ve Matsuhisa, M., Effect of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer, Cem.Concr. Res., 30 (2000).
84. Yazıcı, H., The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze-thaw resistance of self-compacting concrete, Construction and Building Materials, 22 (2008) 456-462.

85. Yıldız, A.R., Donma-Çözölmenin Keniliğinden Yerleşen Betonların Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon, 2006.

EKLER

Tablo Ek.1. Üretilen KYB lerin taze haldeneylerinin sonuçları

Numune	Çökme (cm)	T50 DeneyDeğerleri (Saniye)	V Huni Deney Değerleri (Saniye)
T500A	60	5	11
T500B	65	5	12
T500C	67	3	7
T500D	68	2	7
T500E	78	3	8
T550A	65	3	9
T550B	67	3	8
T550C	68	3	7
T550D	68	3	7
T550E	70	3	6
T600A	68	2	6
T600B	67	3	6
T600C	69	2	6
T600D	78	2	9
T600E	74	2	8

Tablo Ek.2. Buhar kürü uygulandıktan sonra, 100 çeviri D-Ç tabi tutulan numunelerin ve su içinde bekletilmiş buhar kürlü şahit numunelerin, basınç dayanımları

Numune	$R'_{1BK}(100)$ (MPa)	$R_{\text{ş}}$ (MPa)	$R'_{1BK}(100)/ R_{\text{ş}}$ %
BKT500A	44,78	50,59	88,51
BKT500B	41,28	48,39	85,30
BKT500C	37,56	43,38	86,58
BKT500D	33,90	37,92	89,40
BKT500E	31,53	36,18	87,14
BKT550A	46,73	52,62	88,80
BKT550B	43,24	43,12	100,2
BKT550C	39,98	45,81	87,27
BKT550D	35,73	38,90	91,85
BKT550E	32,49	37,01	87,78
BKT600A	48,17	53,38	90,84
BKT600B	43,75	51,62	84,75
BKT600C	40,52	47,81	84,75
BKT600D	34,89	40,80	85,51
BKT600E	31,79	38,00	83,65

Tablo Ek.3. 28 günde D-Ç tabi tutulan numunelerin 100 çevrim sonunda basınç dayanımları

Numune	BK		$R'_{BK}(\alpha)/R_{\text{Ş}}$ %	SK		$R'_{SK}(\alpha)/R_{\text{Ş}}$ %
	$R'_{BK}(\alpha)$	$R_{\text{Ş}}$		$R'_{SK}(\alpha)$	$R_{\text{Ş}}$	
T500A	59,85	64,77	92,40	61,77	67,78	91,13
T500B	54,6	57,1	95,62	58,7	62,41	94,05
T500C	48,11	49,22	97,74	53,89	56,54	95,31
T500D	44,29	45,01	98,40	47,57	48,72	97,63
T500E	39,31	40,43	97,23	43,05	45,35	94,92
T550A	61,48	66,51	92,43	63,58	69,86	91,10
T550B	56,67	59,57	95,13	60,68	64,47	94,14
T550C	50,15	51,47	97,43	55,10	57,81	95,31
T550D	47,24	47,64	99,16	50,55	51,76	97,66
T550E	41,91	42,96	97,55	47,48	49,65	95,62
T600A	66,17	70,49	93,87	68,52	75,03	91,32
T600B	59,11	62,00	95,34	63,37	66,95	94,65
T600C	41,73	43,09	96,84	46,34	48,94	94,68
T600D	48,72	49,38	98,66	52,87	54,16	97,61
T600E	42,9	44,38	96,66	49,25	51,96	94,78

Tablo Ek.4. Bir günde D-Ç tabi tutulan buhar kürlü numunelerin ağırlık değişiklikleri

Numune	$M_{BK}(1)$ (gr)	$M'_{1BK}(50)$ (gr)	$M'_{1BK}(100)$ (gr)	$\frac{M'_{BK}(50)}{M_{BK}(1)}$ %	$\frac{M'_{BK}(100)}{M_{BK}(1)}$ %	$\frac{M'_{BK}(100)}{M_{BK}(50)}$ %
BKT500A	7805	7885	7795	101,02	99,87	98,85
BKT500B	7750	7839	7787	101,15	100,47	99,33
BKT500C	7761	7755	7743	99,90	99,77	99,84
BKT500D	7680	7724	7715	100,57	100,45	99,88
BKT500E	7699	7783	7742	101,09	100,56	99,47
BKT550A	7763	7840	7763	100,99	100,00	99,01
BKT550B	7789	7867	7722	101,00	99,14	98,15
BKT550C	7683	7756	7741	100,95	100,75	99,80
BKT550D	7672	7671	7670	99,98	99,97	99,98
BKT550E	7728	7793	7767	100,84	100,50	99,66
BKT600A	7846	7929	7894	101,06	100,61	99,56
BKT600B	7545	7635	7621	101,19	101,00	99,81
BKT600C	7485	7573	7571	101,17	101,14	99,97
BKT600D	7481	7490	7488	100,12	100,09	99,97
BKT600E	7545	7633	7604	101,16	100,78	99,62

Tablo Ek.5. Buhar kürü görmüş ve 28 günde, D-Ç maruz bırakılan numunelerin, D-Ç çevrimleri esnasındaki ağırlık değişiklikleri

Bk								
Numune	$M_{BK(1)}$ (gr)	$M_{BK(28)}$ (gr)	$M'_{BK(25)}$ (gr)	$\frac{M'_{BK(25)}}{M_{BK(28)}}$ %	$M'_{BK(50)}$ (gr)	$\frac{M'_{BK(50)}}{M_{BK(28)}}$ %	$M'_{BK(100)}$ (gr)	$\frac{M'_{BK(100)}}{M_{BK(28)}}$ %
BKT500A	7781	7861	7833	99,64	7809	99,33	7805	99,28
BKT500B	7775	7861	7828	99,58	7818	99,45	7812	99,37
BKT500C	7593	7699	7673	99,66	7656	99,44	7653	99,40
BKT500D	7737	7830	7791	99,50	7788	99,46	7784	99,41
BKT500E	7478	7553	7534	99,75	7524	99,61	7522	99,58
BKT550A	7604	7660	7655	99,93	7628	99,58	7624	99,53
BKT550B	7628	7709	7687	99,71	7678	99,59	7673	99,53
BKT550C	7591	7664	7650	99,81	7640	99,68	7633	99,59
BKT550D	7612	7654	7634	99,74	7629	99,67	7622	99,58
BKT550E	7634	7688	7667	99,72	7647	99,46	7640	99,37
BKT600A	7759	7826	7802	99,69	7772	99,31	7769	99,27
BKT600B	7591	7660	7643	99,77	7629	99,59	7622	99,50
BKT600C	7558	7654	7638	99,79	7623	99,59	7618	99,52
BKT600D	7465	7552	7527	99,66	7515	99,51	7505	99,37
BKT600E	7478	7566	7538	99,62	7530	99,52	7525	99,45

Tablo Ek.6. 28 gün standart su kürü görmüş numunelerin donma-çözülme çevrimleri esnasındaki ağırlık değişiklikleri

Sk								
Numune	M _{SK} (1) (gr)	M _{SK} (28) (gr)	M' _{SK} (25) (gr)	$\frac{M'_{SK}(25)}{M_{SK}(28)}$ %	M' _{SK} (50) (gr)	$\frac{M'_{SK}(50)}{M_{SK}(28)}$ %	M' _{SK} (100) (gr)	$\frac{M'_{SK}(100)}{M_{SK}(28)}$ %
SKT500A	7840	7927	7919	99,899	7906	99,73	7904	99,7
SKT500B	7806	7897	7884	99,83	7862	99,55	7870	99,66
SKT500C	7561	7654	7635	99,75	7614	99,47	7610	99,42
SKT500D	7618	7716	7693	99,7	7680	99,53	7678	99,50
SKT500E	7505	7602	7586	99,79	7568	99,55	7565	99,51
SKT550A	7481	7560	7554	99,92	7548	99,84	7544	99,78
SKT550B	7714	7814	7805	99,88	7796	99,77	7791	99,70
SKT550C	7558	7661	7657	99,94	7641	99,74	7639	99,71
SKT550D	7464	7565	7555	99,86	7540	99,67	7536	99,61
SKT550E	7651	7742	7692	99,35	7691	99,34	7655	98,87
SKT600A	7674	7765	7759	99,92	7744	99,72	7743	99,71
SKT600B	7636	7731	7726	99,9	7705	99,66	7704	99,65
SKT600C	7554	7646	7638	99,89	7623	99,69	7617	99,62
SKT600D	7475	7578	7557	99,72	7538	99,47	7530	99,36
SKT600E	7441	7535	7515	99,7	7497	99,49	7490	99,40

Tablo Ek.7. Buhar kürü görmüş KYB lerin D-Ç esnasında birim ağırlık değerleri

BK							
Numune	$\rho(28)$ gr/cm ³	$\rho'(25)$ gr/cm ³	$\rho'(25)/\rho(28)$ %	$\rho'(50)$ gr/cm ³	$\rho'(50)/\rho(28)$ %	$\rho'(100)$ gr/cm ³	$\rho'(100)/\rho(28)$ %
BKT500A	2,345	2,337	99,65	2,330	99,36	2,329	99,35
BKT500B	2,388	2,328	97,48	2,325	97,36	2,325	97,36
BKT500C	2,306	2,298	99,65	2,295	99,52	2,294	99,48
BKT500D	2,341	2,329	99,48	2,332	99,61	2,334	99,70
BKT500E	2,263	2,257	99,73	2,255	99,64	2,254	99,60
BKT550A	2,298	2,297	99,95	2,291	99,69	2,295	99,87
BKT550B	2,311	2,305	99,74	2,303	99,65	2,303	99,65
BKT550C	2,294	2,290	99,82	2,287	99,69	2,287	99,69
BKT550D	2,280	2,274	99,73	2,275	99,78	2,274	99,73
BKT550E	2,299	2,293	99,74	2,290	99,60	2,289	99,56
BKT600A	2,355	2,347	99,66	2,342	99,44	2,341	99,40
BKT600B	2,289	2,285	99,82	2,281	99,65	2,279	99,56
BKT600C	2,282	2,277	99,78	2,274	99,64	2,274	99,64
BKT600D	2,257	2,250	99,69	2,248	99,60	2,255	99,91
BKT600E	2,263	2,254	99,60	2,254	99,60	2,253	99,56

Tablo Ek.8. Standart su kürü görmüş KYB lerin D-Ç esnasında birim ağırlık değerleri

SK							
Numune	$\rho(28)$ gr/cm ³	$\rho'(25)$ gr/cm ³	$\rho'(25)/\rho(28)$ %	$\rho'(50)$ gr/cm ³	$\rho'(50)/\rho(28)$ %	$\rho'(100)$ gr/cm ³	$\rho'(100)/\rho(28)$ %
SKT500A	2,344	2,342	99,91	2,337	99,7	2,334	99,57
SKT500B	2,339	2,335	99,83	2,334	99,78	2,329	99,60
SKT500C	2,299	2,293	99,74	2,288	99,52	2,286	99,43
SKT500D	2,308	2,302	99,74	2,296	99,48	2,293	99,35
SKT500E	2,268	2,264	99,82	2,259	99,60	2,255	99,42
SKT550A	2,284	2,282	99,91	2,280	99,82	2,276	99,65
SKT550B	2,350	2,347	99,87	2,346	99,82	2,341	99,61
SKT550C	2,290	2,289	99,95	2,287	99,87	2,283	99,70
SKT550D	2,276	2,273	99,87	2,270	99,73	2,268	99,65
SKT550E	2,316	2,302	99,39	2,276	98,27	2,262	97,67
SKT600A	2,342	2,340	99,91	2,339	99,87	2,334	99,65
SKT600B	2,309	2,308	99,95	2,304	99,78	2,299	99,56
SKT600C	2,307	2,305	99,91	2,298	99,61	2,296	99,52
SKT600D	2,261	2,255	99,73	2,250	99,51	2,249	99,47
SKT600E	2,260	2,262	100,08	2,258	99,91	2,257	103,89

Tablo Ek.9. Bir gün D-Ç tabi tutulan buhar kürlü numunelerin birim ağırlık değişimleri

BK					
Numune	$\rho(1)$ gr/cm ³	$\rho'(50)$ gr/cm ³	$\rho'(50) / \rho(1)$ %	$\rho'(100)$ gr/cm ³	$\rho'(100) / \rho(1)$ %
BKT500A	2,327	2,354	101,16	2,328	100,00
BKT500B	2,326	2,353	101,16	2,339	100,50
BKT500C	2,333	2,332	99,95	2,331	99,91
BKT500D	2,348	2,326	99,06	2,312	98,46
BKT500E	2,278	2,303	101,09	2,294	100,70
BKT550A	2,303	2,322	100,80	2,299	99,82
BKT550B	2,275	2,369	104,13	2,314	101,71
BKT550C	2,269	2,291	100,97	2,285	100,70
BKT550D	2,256	2,255	99,95	2,254	99,91
BKT550E	2,291	2,308	100,74	2,299	100,34
BKT600A	2,339	2,357	100,76	2,347	100,34
BKT600B	2,265	2,286	100,92	2,282	100,75
BKT600C	2,263	2,276	100,57	2,275	100,53
BKT600D	2,228	2,243	100,67	2,238	100,44
BKT600E	2,241	2,264	101,02	2,256	100,67

Tablo Ek.10. Bir günlük D-Ç tabi tutulan buhar kürlü numunelerin ultrases hız değişiklikleri

B1D-Ç numunelerin ultrases hızları ve hız değişim oranları					
Numune	25. Ç v (km/sn)	50. Ç v (km/sn)	100. Ç v (km/sn)	$\left(50. \text{Ç v} / 25. \text{Ç v}\right) \%$	$\left(100. \text{Ç v} / 25. \text{Ç v}\right)$
BKT500A	3,57	3,57	3,55	100,00	99,44
BKT500B	3,63	3,58	3,55	98,62	97,80
BKT500C	3,57	3,57	3,57	100,00	100,00
BKT500D	3,62	3,58	3,54	98,89	97,79
BKT500E	3,57	3,55	3,50	99,44	98,04
BKT550A	3,57	3,56	3,54	99,72	99,16
BKT550B	3,60	3,58	3,51	99,44	97,50
BKT550C	3,57	3,57	3,55	100,00	99,44
BKT550D	3,57	3,55	3,50	99,44	98,04
BKT550E	3,63	3,60	3,55	99,17	97,79
BKT600A	3,57	3,55	3,546	99,44	99,32
BKT600B	3,57	3,55	3,52	99,44	98,60
BKT600C	3,546	3,54	3,53	99,83	99,55
BKT600D	3,61	3,60	3,60	99,72	99,72
BKT600E	3,58	3,55	3,48	99,16	97,20

Tablo Ek.11. 28 günlükte D-Ç tabi tutulan, buhar kürlü numunelerin 100 evrim D-Ç sonunda ultrases hız değişiklikleri

BK							
Numune	28gn v (km/sn)	25.Ç v (km/sn)	$\frac{25.Ç v}{28gn v} \%$	50.Çv (km/sn)	$\frac{50.Ç v}{28gn v} \%$	100.Çv (km/sn)	$\frac{100.Ç v}{28gn v} \%$
BKT500A	3,610	3,600	99,72	3,600	99,72	3,570	98,89
BKT500B	3,588	3,588	100,00	3,570	99,49	3,570	99,49
BKT500C	3,570	3,570	100,00	3,540	99,16	3,510	98,32
BKT500D	3,600	3,588	99,66	3,588	99,66	3,570	99,16
BKT500E	3,550	3,550	100,00	3,540	99,72	3,537	99,63
BKT550A	3,500	3,488	99,65	3,500	100,00	3,500	100,00
BKT550B	3,800	3,610	95,00	3,588	94,42	3,570	93,95
BKT550C	3,510	3,500	99,71	3,500	99,71	3,488	99,37
BKT550D	3,470	3,488	100,52	3,488	100,52	3,500	100,86
BKT550E	3,550	3,537	99,63	3,529	99,41	3,529	99,41
BKT600A	3,590	3,550	98,88	3,550	98,88	3,570	99,44
BKT600B	3,570	3,570	100,00	3,570	100,00	3,570	100,00
BKT600C	3,529	3,529	100,00	3,520	99,74	3,540	100,31
BKT600D	3,570	3,530	98,88	3,510	98,31	3,500	98,04
BKT600E	3,560	3,550	99,72	3,500	98,31	3,500	98,31

Tablo Ek.12. 28 günlük D-Ç tabi tutulan, standard su kürü görmüş numunelerin 100 çevrim D-Ç sonunda, ultrases hız değişiklikleri

SK							
Numune	28 gün v (km/sn)	25.Ç v (km/sn)	$\frac{25.Ç v}{28gün v} \%$	50.Çv (km/sn)	$\frac{50.Ç v}{28gün v} \%$	100.Ç v (km/sn)	$\frac{100.Ç v}{28gün v} \%$
SKT500A	3,630	3,590	98,89	3,590	98,89	3,590	98,89
SKT500B	3,588	3,630	101,17	3,630	101,17	3,630	101,17
SKT500C	3,550	3,550	100,00	3,540	99,72	3,570	100,56
SKT500D	3,588	3,588	100,00	3,588	100,00	3,570	99,49
SKT500E	3,560	3,550	99,72	3,540	99,44	3,529	99,13
SKT550A	3,800	3,510	92,37	3,540	93,15	3,590	94,47
SKT550B	3,630	3,570	98,34	3,590	98,89	3,590	98,89
SKT550C	3,529	3,529	100,00	3,570	100,16	3,590	101,72
SKT550D	3,488	3,500	100,34	3,570	102,35	3,588	102,87
SKT550E	3,537	3,500	98,95	3,530	99,80	3,530	99,80
SKT600A	3,590	3,588	99,94	3,550	98,88	3,529	98,30
SKT600B	3,570	3,570	100,00	3,570	100,00	3,590	100,56
SKT600C	3,610	3,590	99,44	3,570	98,89	3,529	97,75
SKT600D	3,529	3,540	100,31	3,570	101,16	3,610	102,29
SKT600E	3,570	3,540	99,16	3,510	98,32	3,470	97,20

ÖZGEÇMİŞ

22.03.1983 tarihinde İRAN 'nın Tebriz şehrinde doğdu. İlk, orta ve liseyi Tebrizde tamamladı ve 2001-2002 Eğitim-Öğretim yılında girmiş olduğu İRAN'ın sanjeş kurumunun (Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Kurumu) sınavından İslami Azad Üniversitesinde İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 11.Mart.2006 tarihinde İslami Azad Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden, İnşaat Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2009 Yılında KTÜ Fen Bilimler Enstitüsünün yabancılar için açtığı kontenjandan, girdiği Ales sınavı ile Yüksek lisans öğrenimine başladı.

Evli olup Türkçe, İngilizce, Farsca, Azerice bilmektedir.