

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF
BETONLARA ÇİMENTO TİPİ VE
ATMOSFERİK BUHAR KÜRÜ
ÇEVİRİMLERİNİN ETKİSİ**

Muhammed Said GÜL

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN
2011**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF BETONLARA
ÇİMENTO TİPİ VE ATMOSFERİK BUHAR KÜRÜ
ÇEVİRİMLERİNİN ETKİSİ**

Muhammed Said GÜL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2011**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARA ÇİMENTO TİPİ VE ATMOSFERİK BUHAR KÜRÜ ÇEVİRİMLERİNİN ETKİSİ

Yrd. Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN danışmanlığında, Muhammed Said GÜL tarafından hazırlanan bu çalışma 26/08/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oy birliği (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Ensar OĞUZ

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL

İmza :

Prof. Dr. Ömer AKBULUT
Yukarıdaki sonucu onaylıyorum
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2008/154

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF BETONLARA ÇİMENTO TİPİ VE ATMOSFERİK BUHAR KÜRÜ ÇEVİRİMLERİNİN ETKİSİ

Muhammed Said GÜL

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Buhar kürü teknolojisinin bir sonucu olarak, prefabrikasyon teknolojisinde hızlı kür tekniklerinin bir etkili yolu olarak kendiliğinden yerleşen betonların çeşitli tiplerinin mekanik özelliklerine atmosferik buhar kürünün etkisi araştırıldı. Hafif betonların ve kendiliğinden yerleşen betonların özelliklerinin birleştirilmesi ile dayanım ve dayanıklılığı yüksek, işlenebilirliği ve uygulaması kolay hafif betonların üretilmesi çok önemli mühendislik uygulama sentezini teşkil etmektedir. İki farklı çimento tipi (CEM I 42.5 ve CEM II 32.5) ve üç farklı agrega (normal, perlit ve pomza) üç farklı buhar kürünü içeren çalışmanın parametreleridir. Üretilen beton numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımının yanı sıra yarmada çekme dayanımları da test edildi. Taze ve sertleşmiş betonların birim ağırlık, boyut ölçümleri ve ultrason hız değerleri 108 numunenin tamamı üzerinde gözlemlendi. Betonların dozajı 400 kg/m^3 ve Schmidt çekiç değerleri araştırmada gözlemlenen diğer bir parametrelerdir. Üç farklı sıcaklıkta buhar kürü çevrimi (65°C, 70°C ve 75°C) yaklaşık 36 saat olarak uygulanmıştır. Bu buhar kür çevrimi ön tasarım testleri ve literatüre göre dizayn edilmiştir.

Sonuç olarak, buhar kürü yöntemi üzerine çimento tipi ve agrega etkisi gözlenmiştir. Kendiliğinden yerleşen pomza agregalı betonların genişleme özelliğinin atmosferik buhar kürüyle ortaya çıktığı görülmüştür. Dayanım değerleri üzerinde CEM II 32,5'in olumsuz etkisi ve kür sıcaklığının artmasıyla hafif pomza betonlarının basınç dayanımlarının azalması test sonuçlarının diğer çarpıcı sonucu olarak gözlemlenmiştir.

2011, 104 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yerleşen hafif beton, buhar kürü, pomza, perlit, basınç dayanımı

ABSTRACT

MS. Thesis

THE EFFECT OF CEMENT TYPE on THE PROPERTIES of HARDENED HOT WATER CURED SELF COMPACTING LIGHTWEIGHT CONCRATE

Muhammed Said GÜL

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

As a result of the steam curing technology, an effective way of fast curing technique in prefabrication technology; the effect of atmospheric steam curing on the mechanical properties of variable types of self-compacting concretes; the combination of the properties of (semilightweight-self compacting concrete is an important engineering approaching with the particular consideration of the getting production of workable and lightweight concrete which are easy to apply, are observed. The cement type (CEM I 42.5 and CEM II 32.5) and three types of aggregates (normal, pumice and raw perlite) were the parameters of the study including three types of steam curing cycle. The manufactured concrete samples were not only tested for compressive strength and bending, but also for splitting tensile strength. The fresh and hardened unit weight, dimension check and ultrasonic velocity observations were also obtained for whole of the 108 concrete samples. The dosages of the samples were 400 kg/m^3 and the Schmidt values were another obtained property of the research. The three steam curing cycles were about 36 hours for 65, 70 and 75°C. These steam curing cycles were designed according to pre-design tests and literature.

As a result, the cement type and aggregate effect on the steam curing regimes were obtained. The expanding property of self-compacting pumice aggregate concrete was one of the striking for the atmospheric steam curing. The decrease in the compressive strength of lightweight pumice concretes by the curing temperature rise and the negative effect of CEM II 32.5 on the strength values were the other striking results of the tests.

2011, 104 pages

Keywords: Self-compacting lightweight concrete, steam curing, pumice, perlite, compressive strength

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin her aŐamasında çalıŐmalarına tecrübeleri ile yön veren, bilgisini, teşvik ve desteğini esirgemeyen danışman Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN'a teşekkürü borç bilirim.

Deneysel alıŐma esnasında büyük yardım ve desteklerini gördüğüm Sayın Öğr. Gör. Ali ÖZ'e, Sayın ArŐ. Gör. Rıza POLAT'a, Sayın ArŐ. Gör. Mustafa PEKDEMİR'e teşekkür ederim. Ayrıca çalışmada emeği geçen ismini saymadığım herkese teşekkür ederim.

Muhammed Said GÜL

Ağustos 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar.....	5
2.1.1. Giriş.....	5
2.1.2. Kendiliğinden yerleşen betonun gelişimi.....	5
2.1.3. Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliği.....	8
2.1.4. Kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliği.....	10
2.1.4.a. Doldurma yeteneği.....	10
2.1.4.b. Ayrışmaya karşı direnç.....	11
2.1.4.c. Geçiş yeteneği.....	12
2.1.5. Kendiliğinden yerleşen betonun bileşenleri.....	12
2.1.5.a. Çimento seçimi.....	12
2.1.5.b. Agrega seçimi.....	13
2.1.5.c. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı seçimi.....	14
2.1.5.d. Viskozite artırıcı kimyasal katkı seçimi.....	16
2.1.6. Kendiliğinden yerleşen betonun karışım tasarımı.....	17
2.1.6.a. Toz tipi metot.....	18
2.1.6.b. Stabilizatör tipi metot.....	19
2.1.6.c. Kombinasyon metodu.....	19
2.1.7. Atmosferik buhar kuru.....	20
2.1.7.a. Buhar kuru çevrimleri ve süreçleri.....	21
2.1.7.b. Beton bileşiminin buhar kuru etkisi.....	26
2.1.7.c. Çimento tipi ve bileşiminin buhar kuru etkisi.....	26

2.1.7.d. Agreganın buhar k�r�ne etkisi	28
2.1.7.e. Buhar kürü altında imento hamuru ve betonun davranışı.....	28
2.1.7.f. Buhar k�r�n�n betonun fiziksel özelliklerine etkisi	30
2.2. Hafif Betonlar	32
2.2.1. Giriş.....	32
2.2.2. Hafif betonun sınıflandırması	33
2.2.3. Pomza.....	34
2.2.4. Perlit	35
2.3. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton.....	38
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	40
3.1. Materyal	40
3.1.1. Kullanılan Malzemeler.....	40
3.1.1.a. Çimento	40
3.1.1.b. Pomza.....	42
3.1.1.c. Perlit	43
3.1.1.d. Normal Agregas.....	44
3.1.1.e. Silis Dumanı	45
3.1.1.f. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı.....	45
3.1.1.g. Karma Suyu.....	46
3.1.2. Kullanılan aygıtlar.....	46
3.1.2.a. Elekler	46
3.1.2.b. Betonyer	46
3.1.2.c. Kalıplar	47
3.1.2.d. Pres.....	48
3.1.2.e. Ultrasonik hız ölçüm cihazı.....	48
3.1.2.f. Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğini ölçen cihazlar	49
3.1.2.g. Diğere alet ve gereçler	49
3.2. Yöntem.....	50
3.2.1. Deney programı.....	50
3.2.2. Agregas deneylerinde uygulanan yöntemler	51
3.2.3. Beton karışım hesapları.....	52

3.2.4. Beton üretimi.....	54
3.2.5. Numunelere buhar kürü uygulanması	55
3.2.6. Taze beton deneyleri	56
3.2.6.a. Yayılma deneyi ve T50 süresi	56
3.2.6.b. V-hunisi akış süresi deneyi	59
3.2.6.c. L-kutusu deneyi	60
3.2.6.d. J -halkası deneyi.....	61
3.2.6.e. Diğer taze beton deneyleri.....	62
3.2.7. Sertleşmiş beton deneyleri	63
3.2.7.a. Serbest basınç deney yöntemi	63
3.2.7.b. Yarmada çekme dayanımı yöntemi	63
3.2.7.c. Eğilme dayanımı yöntemi	64
3.2.7.d. Kuru birim ağırlık tayini yöntemi	64
3.2.7.e. Schmidt Çekici ile beton kalitesinin tayini yöntemi	65
3.2.7.f. Ultrases (UPV) ölçüm metodu ile beton kalitesinin tayini yöntemi	65
3.2.8. Bulguların tartışılması ve sonuçların belirlenmesinde kullanılan yöntem	67
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	69
4.1. Taze Beton Deneyler Sonuçları	69
4.1.1. Yaş birim ağırlıkla ilgili sonuçlar	69
4.1.2. Yayılma çapı ve 50 cm çapa yayılma süresi ile ilgili sonuçlar	70
4.1.3. V-hunisi deney sonuçları	71
4.1.4. J-halkası deney sonuçları	72
4.1.5. L-Kutusu Deney Sonuçları.....	72
4.2. Sertleşmiş beton deney sonuçları	73
4.2.1. Kuru birim ağırlıkla ilgili sonuçlar	73
4.2.2. Basınç dayanımı deneyi ile ilgili sonuçlar	75
4.2.3. Yarmada çekme dayanımı ile ilgili sonuçlar.....	80
4.2.4. Ultrases hız ölçüm (upv) deneyi ile ilgili sonuçlar	84
4.2.5. Eğilme dayanımı deneyi ile ilgili sonuçlar.....	85
4.2.6. Schmidt Çekici deneyi ile ilgili sonuçlar	90
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	91

KAYNAKLAR92

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

vii

Şekil 2.1. Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliği	9
Şekil 2.2.a. Akışkanlaştırıcı katkısız çimento hamuru b. akışkanlaştırıcı katkı çimento hamuru	15
Şekil 2.3. Hamur hacminin KYB akıcılığına etkisi	19
Şekil 2.4. Tipik buhar kürü çevrimleri	22
Şekil 2.5. Farklı sıcaklıklarda buhar kürü uygulanmış betonların basınç dayanımları	25
Şekil 2.6. Buhar kürü süreçleri için olgunluk derecesi	31
Şekil 2.7. Pomza ve gözenek yapısı	35
Şekil 3.1. XRF	44
Şekil 3.2. Laboratuvar tipi betonyer	47
Şekil 3.3. Pres	48
Şekil 3.4. Ultrasonik hız ölçme aleti	49
Şekil 3.5. Buhar kürü	50
Şekil 3.6. Beton mikserinden numune alınması ve kalıpların KYHB ile doldurulması	56
Şekil 3.7. Çökme sonrası yayılma deney düzeneği	57
Şekil 3.8. Çökme sonrası yayılma deneyinin yapılması	57
Şekil 3.9. Yayılma çapının ölçülmesi	58
Şekil 3.10. Yayılma deneyinde kullanılan huni, 50 cm'lik çap işaretli tablası	59
Şekil 3.11. Harç için mini – slump aparatı	59
Şekil 3.12. V-hunisi deneyinin yapılışı	60
Şekil 3.13. L-kutusu deneyinin yapılışı	61
Şekil 3.14. J-halkası deney düzeneği	62
Şekil 3.15. J-halkası deneyinin yapılışı	62
Şekil 3.16. Serbest basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri	64
Şekil 3.17. UPV ölçüm şeması	66
Şekil 4.1. Normal agrega-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği ..	77
Şekil 4.2. Normal agrega-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği	77
Şekil 4.3. Perlit agregası-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği	78
Şekil 4.4. Perlit agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği. ...	79

Şekil 4.5. Pomza agregası-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği..	79
Şekil 4.6. Pomza agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği...	79
Şekil 4.7. Normal agrega-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanımı grafiği	81
Şekil 4.8. Normal agrega-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanım grafiği.	81
Şekil 4.9. Perlit agregası-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanım grafiği	82
Şekil 4.10. Perlit agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanım grafiği	82
Şekil 4.11. Pomza agregası-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanım grafiği	83
Şekil 4.12. Pomza agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanım grafiği	83
Şekil 4.13. Normal agrega-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanım grafiği	86
Şekil 4.14. Normal agrega-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanım grafiği	87
Şekil 4.15. Perlit agregası-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanım grafiği.....	87
Şekil 4.16. Perlit agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanım grafiği.	88
Şekil 4.17. Pomza agregası-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanım grafiği.....	88
Şekil 4.18. Pomza agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanım grafiği	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. KYB'un gerekli işlenebilirlik şartları	12
Çizelge 2.2. Geleneksel beton ve KYB (toz tipi) için tipik tasarım parametreleri	18
Çizelge 2.3. Tipik bir perlit mineralini oluşturan bileşikler.....	37
Çizelge 2.4. Ham perlitin fiziksel özellikleri.....	38
Çizelge 2.5. Yapay hafif agregalı KYHB karışım tasarım ve deney sonuçları.....	40
Çizelge 3.1. CEM I 42.5 R çimentosunun özellikleri	41
Çizelge 3.2. CEM II/B-M 32.5 R çimentosunun özellikleri	42
Çizelge 3.3. Pomzanın kimyasal analizi	43
Çizelge 3.4. Perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri.	44
Çizelge 3.5. Silis dumanı karakteristik özellikleri.	45
Çizelge 3.6. Atmosferik buhar küre çevrimleri ve karakteristikleri	51
Çizelge 3.7. Normal agrega kullanılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen beton ön karışım oranları.	53
Çizelge 3.8. Perlit kullanılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen beton ön karışım oranları	53
Çizelge 3.9. Pomza kullanılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen beton ön karışım oranları..	54
Çizelge 3.10. Tavsiye edilen KYB deneyleri ve sınır değerleri.....	67
Çizelge 3.11. Sınır değerlerin üstündeki değerler için sorunun belirlenmesi ve etki takip çizelgesi.....	68
Çizelge 4.1. Ortalama yaş birim ağırlık deney sonuçları (g/cm ³).....	70
Çizelge 4.2. Yayılma çapı ve 50 cm çapa yayılma süresi ile ilgili sonuçlar.....	70
Çizelge 4.3. V-hunisi deney sonuçları.	71
Çizelge 4.4. J-halkası deney sonuçları..	72
Çizelge 4.5. V-kutusu deney sonuçları..	72
Çizelge 4.6. Ortalama kuru birim ağırlık deney sonuçları (g/cm ³)(65°C).	73
Çizelge 4.7. Ortalama kuru birim ağırlık deney sonuçları (g/cm ³)(70°C)	74
Çizelge 4.8. Ortalama kuru birim ağırlık deney sonuçları (g/cm ³)(75°C)	74
Çizelge 4.9. Ortalama Basınç dayanımı deney sonuçları (kgf/cm ²) (65°C)	75
Çizelge 4.10. Ortalama basınç dayanımı deney sonuçları (kgf/cm ²) (70°C)	75

Çizelge 4.11. Ortalama basınç dayanımı deney sonuçları (kgf/cm^2) (75°C)	75
Çizelge 4.12. Ortalama yarmada çekme dayanımı deney sonuçları (65°C)	80
Çizelge 4.13. Ortalama yarmada çekme dayanımı deney sonuçları (70°C)	80
Çizelge 4.14. ortalama yarmada çekme dayanımı deney sonuçları (75°C)	80
Çizelge 4.15. Ultrases hız ölçüm (upv)deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (65°C)	84
Çizelge 4.16. Ultrases hız ölçüm (upv)deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (70°C)	84
Çizelge 4.17. Ultrases hız ölçüm (upv)deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (75°C)	84
Çizelge 4.18. Ortalama eğilme dayanımı değerleri (65°C)	85
Çizelge 4.19. Ortalama eğilme dayanımı değerleri (70°C)	86
Çizelge 4.20. Ortalama eğilme dayanımı değerleri (75°C)	86
Çizelge 4.21. Schmidt Çekici deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (65°C)	90
Çizelge 4.22. Schmidt Çekici deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (70°C)	90
Çizelge 4.23. Schmidt Çekici deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (75°C)	90

1. GİRİŞ

Çimento, agrega ve suyun karışımından meydana gelen kompozit malzemeye beton denmektedir. Bu karışım; hacimce yaklaşık olarak %70 agrega, %20 su %10 çimento içermektedir. Çimento ve sudan meydana gelen hamur agrega parçacıklarının etrafını sarar ve bu parçacıkların arasındaki boşlukları doldurur, Sertleştiğinde ise agrega parçacıklarını birbirine bağlar Su çimento oranı karışımın işlenebilirliğinde ve dayanımında önemli rol oynamaktadır.

Beton teknolojisindeki gelişmeler, Su çimento oranı düşük olduğu halde iyi işlenebilirliğe sahip ve yerine daha kolay yerleşen betonların üretimini daha kolay ve daha ekonomik hale getirmiştir. Yüksek oranda su azaltma yeteneğine sahip akışkanlaştırıcılar aynı zamanda taze betonun işlenebilirliğini de arttırmaktadır. Çok iyi işlenebilen betonların yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip olduğu bilinmektedir. Taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken sıkıştırma işlemini ortadan kaldırmak ve betonda boşluk kalma problemini yok etmek amacıyla bir arayış içine giren araştırmacılar kendiliğinden yerleşen beton kavramını ortaya çıkarmışlardır. Özellikle taze betonun sıkıştırılması için gerekli kalifiye işçi yetersizliği, yerleştirilen betonun kalitesini olumsuz etkilemektedir. Taze betona homojen sıkıştırma enerjisi verilebilmesi, özellikle işlenebilirliğin düşük olması halinde pratikte mümkün değildir. Bu problemi çözmek amacıyla sıkıştırma enerjisine ihtiyaç olmadan kendi ağırlığı ile sıkışarak yerleşebilecek özel bir tip beton üretilmesi 1980'li yılların başında Japonya'da. Tasarlanmıştır (Okamura and Ouchi 1999).

Kendiliğinden Yerleşen Betonun (KYB), normal betona göre avantajları tasarım felsefesindeki farklılık ve yeni nesil hiperakışkanlaştırıcıların kullanımı ile sağlanmaktadır. Normal betona göre avantajları: Kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden

sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler oluşturmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, dayanım ve dayanıklılığı yüksek, çok akıcı kıvamda olmasıdır (Okumura and Ouchi 1999). KYB'ların ayrışmalarını engellemek için hamur viskozitesi; uçucu kül, taş tozu, silika dumanı ve kuvarz filleri gibi malzemeler ilave edilerek artırılır (Persson 2001).

KYB'ların uygulandığı önemli alanlarından birisi de hafif betonlardır. Hafif betonların zati ağırlıkları normal betonlara oranla daha düşüktür. Bu da taşıyıcı yapı elemanlarının boyutlarının küçülmesine, kullanılan donatı çeliğinin azalmasına, depreme dayanıklılığa, sonuç olarak daha ekonomik ve daha emniyetli yapıların yapılmasına imkân sağlayacaktır (Gül ve Geçten 1993).Yapı ağırlığının artmasına bağlı olarak deprem yükü de artmaktadır (Taşdemir 1984). Ülkemizin topraklarının %92'sinin deprem kuşağı içerisinde olması, hafif betonların ısı, ses izolasyonuna ve donma çözülmeye ahip olma özellikleri yanında daha birçok avantajları düşünüldüğünde hafif betonların kullanılması son derece önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Hüsem ve Durmuş 1995). Yapılan çalışmalar hafif betonların hem yalıtım amaçlı hem de taşıyıcı olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Gül vd 1997). Ayrıca hafif betonların dayanıklılıklarının normal betona göre daha yüksek olması, gece gündüz sıcaklık farkının yüksek olduğu bölgelerde kullanılabileceği yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur (Gül ve Türkmen 1998).

Hafif beton; Normal agregaya yerin; pomza, volkanik tüf, volkanik cüruf gibi doğal malzemeler veya genleştirilmiş kil, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş şist, genleştirilmiş vermikülit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi yapay agregalar ve tahıl taneleri gibi bazı organik maddeler kullanmak suretiyle ya da sadece geleneksel iri agregaya kullanarak veya bağlayıcı çimento hamurunun genleştirilmesiyle de (gaz beton gibi) elde edilebilmektedir (Demirboğa 1999).

Ülkemizin perlit rezervi, dünya rezervinin %50–60'ı kadardır. Doğal hafif agregaya bakımından son derece zengin bir ülkedir. Oysa bu agregaların kullanımını diğer ülkelere

göre çok azdır. Bunun temel nedeni, bu agregalarla üretilen hafif betonların özellikleri hakkında yeterli bilgi ve deneyimin olmamasıdır (Demirboğa 1999).

KYB teknolojisi; hafif agregalı betonlara uygulanması ile karşılaşılan yüksek oranda su kullanımı, segregasyon ve yerine yerleştirmede vibrasyon kullanımının getirdiği olumsuz etkileri ortadan kaldırılabilir. KYB teknolojisinde sıkça kullanılan polikarboksilat esaslı hiperakışkılaştırıcılar ile birlikte puzolanik ve inert mineral katkıları veya viskozite artırıcı kimyasal katkıları kendiliğinden yerleşen betonun taze haldeki performansını önemli ölçüde etkilediği gibi, dayanım ve dayanıklılığında önemli farklara neden olmaktadır. Bu çerçevede dayanım ve dayanıklılığı artırılmış hafif betonlar önemli deprem kuşağında yer alan ülkemizde ve özellikle bölgemizde taşıyıcı yapısal hafif beton olarak yapılarda kullanılabilir.

Yapıların güçlendirilmesinde taşıyıcı betonarme duvarların yapımında normal betonun kullanılması durumunda taşıyıcı sistem çok ağır olacağından, mevcut yapıların temel takviyesindeki güçlükler, ısı ve ses yalıtım problemleri düşünüldüğünde hafif betonların kullanılması uygun bir çözüm olacaktır. Hafif betonlar daha kuru bir görünüm arz ettiğinden, yerine yerleştirilmesi anında, normal betona göre daha büyük bir vibrasyon enerjisi istemektedir. Bununla beraber hafif betonlarda vibratör kullanımında kaçınmak gerekir. Çünkü çimento hamuruna göre daha hafif olan agregalar yüzeye toplanarak ayrılmaya neden olacaktır. Ayrıca, onarım ve güçlendirme işlerinde kalıplar uygun olmadığından vibratör kullanmak uygun değildir. Bu yüzden kendiliğinden yerleşen hafif beton tercih edilmelidir.

İncelemeler; Türkiye’de özellikle konut sektöründe yapı tarzının ve anlayışının son derece eski teknoloji ve uygulamalara dayandığını göstermiştir. Yenilikçi anlayışın çıkış noktası “Binaların, özellikle konutların mümkün olduğunca hafifleştirilmesidir”. Temel amaç, mukavemeti artırılmış hafif malzemelerin ve üretim teknolojilerinin ülkemize kazandırılmasıdır. Bu teknolojilerle üretilen yeni nesil malzemelerin dayanım ve dayanıklılığının yüksek olması açısından ülke ekonomisine ciddi miktarda katkı sağlayacaktır.

KYHB betonlarda yüksek oranda toz madde kullanılmasının birim hacim ağırlığını artırması ve hafif agregaların çok yüksek su tutma kapasiteleri tasarımı dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır (Akkaya vd 2002; Dehn 2002; Felekoğlu 2003). KYHB'da hamur fazının hafifletilmesi; hafif agrega kullanımı veya yüksek oranda hava sürükleyici kimyasal katkı kullanımı ile gerçekleştirilmektedir.

KYHB'lar hakkında literatürde çok az araştırmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı; buhar kuru teknolojisinin bir sonucu olarak, prefabrikasyon teknolojisinde hızlı kuru tekniklerinin bir etkili yolu olarak kendiliğinden yerleşen betonların çeşitli tiplerinin mekanik özelliklerine atmosferik buhar kuru etkisinin araştırılmasıdır.

Çalışmada iki farklı çimento tipi (CEM I 42,5 ve CEM II 32,5) ve üç farklı agrega (normal, perlit ve pomza) kullanılmıştır. Betonların dozajı 400 kg/m^3 seçilmiş ve üç farklı sıcaklıkta buhar kuru çevrimi (65°C , 70°C ve 75°C) yaklaşık 36 saat olarak uygulanmıştır. Üretilen beton numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımının yanı sıra yarmada çekme dayanımları da test edildi. Taze ve sertleşmiş betonların birim ağırlık, boyut ölçümleri ve ultrason hız değerleri 108 numunenin tamamı üzerinde gözlemlendi. ve Schmidt çekiç değerleri araştırmada gözlemlenen diğer bir parametrelerdir. Bu buhar kuru çevrimi ön tasarım testleri ve literatüre göre dizayn edilmiştir.

Beş ana bölümden meydana gelen bu çalışmanın giriş bölümünden sonra kuramsal temellerin ve kaynak özetlerinin verildiği ikinci bölüm gelmektedir. Üçüncü bölüm materyal ve yöntem bölümüdür. Materyal başlığı altında, çalışmada kullanılan bütün malzemeler ve aletler etraflıca tanıtılmış, yöntem kısmında ise, agrega, beton karışım oranları, üretilen KYHB'lar üzerinde yapılan deney yöntemlerinden ve deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemden bahsedilmiştir. Dördüncü bölüm ise, elde edilen bulgular ve bulguların tartışılmasına ayrılmıştır. Sonuç ve öneriler ise beşinci bölümde verilmiştir. Kaynakların listesi son bölüm verilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

2.1.1. Giriş

Normal beton dökümünde vibrasyon, yani yerleştirme ve sıkıştırma işlemi, betonun içindeki hava boşluklarının dışarı atmak, böylece dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek ve aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde etmek için gereklidir. Vibrasyon uygulanmamış betonların basınç dayanımında %30'lara varan yükselmeler izlenmektedir. Küçük beton kesitleri ve sık donatı eklenince, vibrasyon uygulaması oldukça zor, bazen de imkânsız hale gelir. KYB, . Güçlendirme projelerinde, Sık donatılı elemanlarda, Estetik kalıp tasarımlarında, Vibratör kullanımının imkânsız olduğu yerlerde kullanılabilir ve kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri elimine ederek, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması, şehir merkezlerinde ve özellikle gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar.

2.1.2. Kendiliğinden yerleşen betonun gelişimi

Beton yerleştirme aşamasındaki mekanik sıkıştırma işleminden bağımsız olarak, kaliteli beton üretmenin yolu sıkıştırma enerjisine ihtiyaç duymayan, sadece kendi ağırlığı ile kalıpların her köşesine yerleşen ve sıkışabilen beton ile mümkün olacaktır (Okamura and Ouchi 2003). Betonda kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı ilk olarak Tokyo Üniversitesinde, 1986 yılında Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından ortaya konmuştur. Su altında beton dökümü uygulamalarında, vibrasyonsuz beton dökümlerinden edinilen

tecrübe ile KYB üretilmesi amaçlanmıştır. Okamura'nın başlattığı çalışmaları Ozawa, Ouchi ve Maekawa devam ettirmiştir. 1988 yılında aynı üniversitede yüksek performanslı KYB prototipi üretilmiş ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu özel tip betonun geliştirilmesinde esas amaç, dayanımın yanı sıra dayanıklılık açısından da betonda iyileşme elde etmektir (Ouchi 1999).

KYB konusunda ilk çalışma, 1989 yılında Ozawa tarafından İkinci Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansı'nda (EASEC-2) sunulmuştur (Ozawa *et al.* 1989). KYB konusunda ilk kitap Okamura tarafından yazılmış olup, 1993 yılında Japonca olarak yayınlanmıştır. KYB'un Dünyaya tanıtılmasında, Ozawa'nın 1992 yılında İstanbul'daki Uluslararası CANMET-ACI konferansında yaptığı sunum hızlandırıcı bir rol oynamıştır (Ozawa *et al.* 1992). Daha sonra, 1994 Eylülün de Bangkok'ta Prof Paul Ziya önderliğinde yapılan Yüksek Performanslı Beton konulu ACI seminerinde KYB, tüm dünyadaki yapı sistemleri ile ilgilenen mühendis ve araştırmacıların dikkatini çekmiştir. (Okamura and Ozawa 1994). Bu çalışmalardan sonra New Orleans'ta 1996 yılında Okamura tarafından verilen ACI kapanış toplantısı, Kuzey Amerika'daki mühendis ve araştırmacılarda büyük heyecan uyandırmıştır (Okamura 1997). Sonuç olarak KYB konusunda dünya çapında araştırmalar başlamıştır. 1997 yılında RILEM tarafından KYB konusunda çalışan bir komite kurulmuştur. 1998 yılında Japonya'nın Kochi kentinde ilk uluslararası çalışma grubu toplanmış ve internet üzerinden konuyla ilgili iletişim ağı kurulması kararlaştırılmıştır. Söz konusu ağ SCC-NET adıyla Şubat 1999 yılında açılmıştır (Okamura and Ouchi 1999).

Japonya'da KYB'nun hazır beton sektöründe kullanımının artırılması amacıyla; Kendiliğinden yerleşebilirlik deney yöntemleri, karışım tasarım yöntemleri ve deneylerin şantiye ortamına aktarılması konularında çalışmalar sürdürülmektedir (Okamura and Ouchi 1999).

Yoğun araştırmalar sunucu olarak KYB çok sayıda inşaata kullanılmıştır. İlk KYB uygulaması Haziran 1990 da gerçekleşti. Bundan sonra KYB kullanımı gün geçtikçe artmıştır (Sakomoto *et al.* 1991). KYB'un İnşaat süresi ve işçilik giderlerini

azalması(Byfors 1999), vibratöre olan ihtiyacı ile vibratör kullanımının çevreye yaydığı gürültü kirliliğini ortadan kaldırması ve kalıpların ekonomik ömrünü artırması gibi nedenlerden dolayı kullanımı kısa sürede yaygınlaşmıştır (Bouzoubaa and Lachemi 2002).

Malzeme maliyeti açısından normal betonla KYB karşılaştırıldığında,. Genel kanı salt malzeme açısından KYB'nun daha yüksek maliyetli olacağıdır. ABD'de 2002 yılında ENR firmasının prefabrike beton üretiminde; KYB ile normal betonun işçilik maliyeti açısından yapılan değerlendirmelerde %32'lik bir maliyet azalması elde edildiği rapor edilmiştir (Martin 2002). KYB'un tasarım maliyeti ise normal betonun maliyetinden m³'te 5 \$ daha fazla olduğu vurgulanmıştır.

İsveç Prefabrike Beton Üreticileri Birliği tarafından yapılan bir başka çalışmada prefabrike KYB kullanan üye firmaların işçilikten normal betona kıyasla %80 avantaj sağladıkları sonucuna varılmıştır (Byfors 1999).

Hazır beton üretiminde KYB kullanımının malzeme maliyetlerini %25 arttırdığı, öte yandan işçilik maliyetini %75 azalttığı ve inşaat hızını %25 arttırdığı Arjantin'de yapılan bir çalışmada tespit edilmiştir (Daczko 2002). Ülkemiz şartlarında işçiliğin çok daha ucuz olması, KYB'un ekonomik duruma getirebilir. Konunun fizibilitesi yerel maliyetlerle analizler yapılarak değerlendirilmelidir. Ayrıca sağlık, çevre sorunları ve kalıp maliyeti gibi unsurlar da değerlendirme dışında tutulmamalıdır (Felekoğlu 2003).

1983 ve 1984 yıllarında Hong-Kong'da büyük çaplı bir temel kiriş betonu dökümünde KYB kullanılmıştır. Vibrasyon işleminin ortadan kaldırılmasıyla, 190 m³/saat ortalama döküm hızıyla çalışılmış ve 350 m³/saat hızına kadar çıkılmıştır (Collepari 2001). İsveç'te köprüler üzerine yapılan bir araştırma sonuçlarına göre köprülerin KYB ile

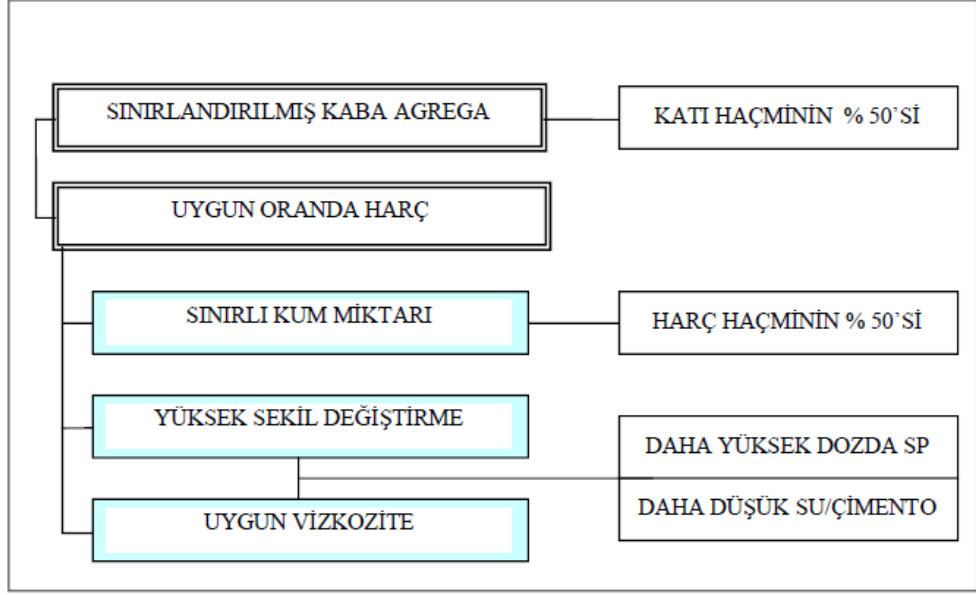
yapılması, inşaat süresini geleneksel yöntemlere göre %5 ile 15 arasında kısaltmıştır (CBI Raporu 1999).

Vibratör kullanılmasının sakıncalı olduğu onarım ve güçlendirme işlerinde çok iyi doldurma yeteneği sayesinde KYB kullanılabilir. KYB ile ilgili dünyada yapılmış araştırmalar KYB'un tüm sertleşmiş ve taze haldeki özelliklerini incelemek amacıyla yapılmış ve gelişmeler kaydedilmiştir, ancak halen araştırılması gereken noktaların bulunduğu da bir gerçektir (Walraven 2003).

2.1.3. Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliği

Kendiliğinden yerleşebilirlik mekanizması aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Şekil 2.1). Taze betonun kendiliğinden yerleşebilmesi için harcın veya çimento hamurunun yüksek deformasyona sahip olması yanında betonun akması esnasında kaba agregaya ile harç arasındaki ayrışma direnci de yüksek olmalıdır (Okamura and Ozawa 1999).

Agrega taneleri arasında temas ve çarpışma sıklığı, parçalar arasındaki mesafenin azalması ile artmakta, bundan dolayı özellikle yakın engellerde beton deforme olduğu zaman iç gerilmeler artmaktadır. Çalışmalar; gerekli olan akış enerjisi agregaların tıkanması ile artan iç gerilmeler sonucu tüketildiğini göstermiştir (Okamura and Ouchi 2003). Beton şekil değiştirdiği zaman yüksek viskoziteye sahip çimento hamuru, kaba agreganın sınırlandırılmasından dolayı iç gerilmelerin yerel etkisinin artmasını önler. Yüksek şekil değiştirebilirlik su/çimento oranını çok düşük seviyede tutan süper akışkanlaştırıcıların kullanılması ile anacak yerine getirilebilir (Okamura and Ouchi 2003).



Şekil 2.1. Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliği

Akma gerilmesi beton yerleştirme sırasında segregasyon meydana gelmemesi için kritik seviyenin üzerinde olması gerekir (Saak *et al.* 2001). Taze beton karışımının kendiliğinden yerleşen özellikte olabilmesi için düşük eşik kayma değerine ve uygun viskoziteye sahip olması gereklidir. Kendiliğinden yerleşebilirlik için kayma gerilmesinin mümkün olduğunca sifıra yakın olması hedeflenmelidir. Optimum viskozitenin belirlenmesi, malzeme parametreleri ve karışım oranlarıyla yakından ilişkilidir. Optimum viskozitenin altına inilirse betonun stabilitesi bozulacak ve ayrışma başlayacağından beton homojenliğini yitirecektir. Bu durumda iri agrega hamurdan ayrılarak kümelenir ve pompalama sırasında tıkanma meydana gelir. Optimum viskozitenin üstüne çıkılırsa betonun kıvamı aşırı artacağından yerleştirmede sıkıntılar yaşanır. Sıkışık hava boşluğu riski artar. Pompa betonlarında kohezif yapıdan dolayı aşırı zorlanma ve tıkanma oluşabilir. Her iki durum da tehlikeli sonuçlar meydana getirecektir. Çözüm kayma gerilmesini, karışım suyunu fazla arttırmadan akışkanlaştırıcı kullanarak azaltmaktır. KYB'da, yeterli segregasyonun direnci elde etmek için sınırlanmış miktarda agrega, düşük su/çimento oranı ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmalıdır (Nagataki 2000; Khurana and Topçu 2000).

2.1.4. Kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliği

Kolayca karıştırılması, segregasyon yapmadan taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilebilmesi” Taze betonun, ne ölçüde işlenebilir olduğunu göstergesidir (Erdoğan 2003).

İşlenebilirlik; Betonun kalıp içinde akarak, sık donatılar arasından geçme yoluyla, mümkün olan en küçük hacmi dolduracak şekilde sıkışması veya taşıma sırasında özelliklerini koruması şeklinde de tanımlanmaktadır (Ferraris 1999).

Taze beton kütlelerinde akma başlatacak kuvvete karşı betonun göstereceği direnç (kayma dayanımı), akma başlattıktan sonra hareketlilik (akıcılık), betonu meydana getiren malzemelerin segregasyona karşı göstereceği direnç (kohezyon), ve yerleştirilmeyi ve yüzeyinin düzeltilmesini etkileyen yapışkanlık; betonun İşlenebilirlik özelliği ile ilgilidir (Erdoğan 2003).

Betonun akışkanlığını kanama, sedimentasyon ve yoğunluk gibi etkenlerle ilişki kurma yoluyla tanımlamaya çalışmıştır (Richtie 1962).

KYB’ların performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Reoloji ve işlenebilirlik parametreleri KYB'un pratikteki kullanım performansları etkilemektedir. Kendiliğinden yerleşme yeteneği, doldurma yeteneği, ayrılmaya karşı direnç ve geçiş yeteneği ile karakterize edilebilir (Walraven 2003).

2.1.4.a. Doldurma yeteneği

Doldurma yeteneği, betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı kavramlarını içermektedir. Yayılma deneyi ile ölçülen betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre ile söz konusu özellik değerlendirilebilir. İyi bir doldurma yeteneği için, deformasyon kapasitesi ile deformasyon hızı arasında bir denge

olmalıdır. Betonun iyi deforme olabilmesi için, iri agrega, ince agrega ve her türlü bağlayıcı dâhil katı tanecikler arasındaki sürtünmenin azaltılması ve çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akışkanlıkla birlikte ayrışmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB'un engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin artırılması açısından önemlidir. Uygun doldurma yeteneği için; süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı, dengelenmiş su/bağlayıcı oranı, tanecikler arası sürtünmenin azaltılması, düşük kaba agrega hacmi, kullanılan agrega ve çimentoya göre optimum gradasyon temin edilmelidir.

2.1.4.b. Ayrışmaya karşı direnç

Taze betonda ayrışma (segregasyon), bileşen malzemelerin homojen olmaksızın dağılarak yapıdaki özellikleri de dağılıma uğratması olayıdır. Normal akışta ayrışma göstermeyen taze beton, örneğin sık donatıların bulunması durumunda ayrışmaya uğrayabilir.

2.1.4.c. Geçiş yeteneği

Yeterli akıcılığa ve aynı zamanda ayrışmaya karşı dirence sahip KYB etkili bir işlev görür. Ancak dar geçişler ve çok sık donatı söz konusu olduğunda, ekstra bir ihtiyaç daha doğmaktadır ki, bu da kaba agregaların bloklaşmamasıdır. Mükemmel doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan bir KYB'da bile agrega en büyük dane çapı çok büyükse, iri agregaların içeriği çok yüksekse durumlarda bloklaşma riski söz konusu olabilir. Çizelge 2.1'de KYB'un gerekli işlenebilirlik şartları verilmektedir (Khayat 1999).

Çizelge 2.1. KYB'un gerekli işlenebilirlik şartları

Mükemmel Şekil Değiştirme Yeteneği	İyi stabilite	Düşük Bloke Olma Riski
1.Hamurun şekil değiştirme yeteneği artırılmalı: * Akışkanlaştırıcı kullan. * Su/toz oranını arttır. 2. İç sürtünme azaltılmalı: * İri agrega hacmini azalt (hamur hacmini arttır) * Sürekli gradasyonlu toz kullan	1.Katıların ayrışması engellenmeli: * Agrega miktarını sınırla * Dmaks'ı azalt * Kohezyonu arttır: -Su/toz oranını azalt -VAK kullan 2.Terleme azaltılmalı: * Karışım suyunu azalt * Su/toz oranını azalt * Yüksek yüzey alanlı toz kullan * VAK kullan	1.Akış sırasında ayrışma engellenmeli: * Düşük su/toz oranı * VAK kullan 2.Donatılar arası serbest açıklık: * Düşük iri agrega hacmi * Düşük Dmaks

2.1.5. Kendiliğinden yerleşen betonun karışım bileşenleri

KYB'larda akıcılık, betonun su miktarını attırmaksızın akışkanlaştırıcı katkıları kullanılarak sağlanır. Betonun yeterli ayrışma direncine sahip olması ise vizkozite artırıcı katkı kullanılması, karışımda kullanılan çimento veya mineral katkı miktarının artırılması, böylelikle su/çimento oranının azaltılması yolu ile sağlanabilir. Ayrışma direncinin artırılması için bazen, her iki yöntem de kullanılabilir (Sağlam 2000). Betondaki her bileşenin cinsinin, teknik özelliklerinin, kullanım oranının ve kullanma yönteminin kendiliğinden yerleşebilirliğe farklı etkisi vardır.

2.1.5.a. Çimento seçimi

Çimento seçimi dayanım ve dayanıklılık kriterleri dikkate alınarak yapılmalıdır. KYB üretiminde kullanılacak çimentodaki C_3A oranının %10 üzerine çıkmasının işlenebilirlik problemleri çıkartabileceğini belirtmektedir (EFNARC Komitesi 2002). Çimentoda yüksek C_3A oranı aynı zamanda sabit işlenebilirlik için katkı ihtiyacını göreceli olarak arttıracığından maliyette de artışa neden olacaktır (Kadri vd 2000).

Bazı çimentolarla KYB üretimi daha başarılı olabilmektedir. Bu konuda yapılan bir çalışmada TÇ 32,5 ve PZÇ 32,5 çimentolarının kendiliğinden yerleşen beton katkılarının ilk kuşak türleri ile uyumsuzluk gösterdiği izlenmiştir. Ancak bu katkılar üzerinde çok hızlı gelişmeler gerçekleşmekte ve bu uyum sorunu azaltılmaktadır. Bununla birlikte Özkul vd (2000) yaptıkları çalışma sonucunda, normal portland çimentosunun, doğal puzolanlar ile harmanlanmış çimentoların ve portland kompoze çimentosunun kendiliğinden yerleşebilir beton üretimi için tatminkâr sonuçlar verdiğini, ancak traslı çimentoların ve puzolanlı çimentoların araştırma kapsamında tatminkâr sonuçlar vermediğini ortaya koymuşlardır.

KYB'da çimento dozajının belirlenmesinde temel kriter dayanım sınıfıdır. Puzolanik filler kullanılması halinde, göreceli olarak daha düşük çimento dozajları yeterli olacaktır. Dayanım ve dayanıklılık açısından çimento dozajının 350–450 kg/m³ arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir. 500 kg/m³'ün üstünde kullanımı rötreyi arttıracığından tavsiye edilmez. 350 kg/m³'ün altında kullanımı ise, ilave fillerle veya viskozite arttırıcı kimyasal katkılarla birlikte kullanılması halinde uygundur. Eğer viskozite ayarlayıcı kimyasal katkı kullanılmıyorsa, kendiliğinden yerleşen betonda toplam toz madde miktarı hiçbir zaman 500 kg/m³'ün altına inmemelidir. Çimento dozajının bu miktarın altında olması durumunda, ilave toz katkıları kullanılabilir (EFNARC Komitesi 2002). Çimento miktarı arttıkça plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesi artacağından yüksek çimento dozajlarında akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı artar (Roshavelov 2002).

2.1.5.b. Agregası seçimi

Agregası açısından taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğini etkileyen en önemli parametre iri agregası/kum oranıdır. İçsel sürtünme katsayısını azaltmak için bu oran mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır (Sâri *et al.* 1999). Normal betona göre daha çok kum ve daha az iri agregası kullanımı donatılar arasından geçiş yeteneğini de arttırır (Su *et al.* 2001). Ancak iri agregası oranının azalması basınç dayanımını da bir miktar azaltır. Bu konuda Fang *et al.* (1999) yaptığı çalışmada karışımdaki kum oranı arttıkça yayılma

çapı arttığını belirtmektedir. Basınç dayanımına bakıldığında belli bir orandan sonra düşüş görülmektedir. Fang ve arkadaşları, kum oranının toplam hacmin %45-48'i arasında tutulması halinde kendiliğinden yerleşebilirliğin en yüksek dayanımda sağlanacağını vurgulamaktadırlar.

TS 3234 (1983)'de genel olarak iyi bir işlenebilirlik sağlamak amacı ile ince agrega oranının artırılabilceği, TS 2511 (1977)'de 16 mm maksimum tane çapı için, ince agrega miktarının %40-60 arasında değişebileceği savunulmaktadır.

Genel olarak kübik veya küre şekilli agregalar tercih edilmelidir. (Khurana and Topçu 2002). Kendiliğinden yerleşen betonda en büyük agrega çapı için farklı görüşler mevcut olup, genel görüş, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneği de dikkate alınarak agrega en büyük tane çapının azaltılmasından yanadır. Üst sınır 16-20 mm arasındadır. Ancak kütle betonu gibi özel durumlarda viskozite arttırıcı katkı kullanımıyla ek tedbirler alınarak en büyük agrega çapı 40 mm'ye kadar çıkan kendiliğinden yerleşen beton tasarımları kullanılmıştır (Ouchi 1999).

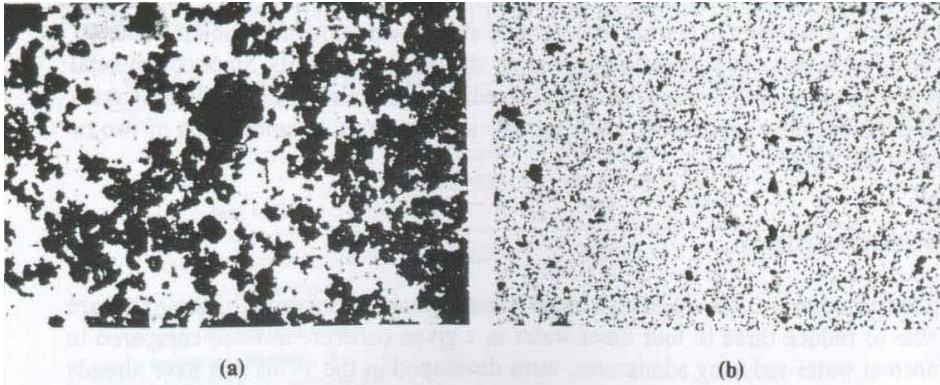
Sari *et al.* (1999)'e göre kendiliğinden yerleşen betonda en büyük agrega çapı 5-20 mm arasında değişir ama V-hunisinde bloke olma tehlikesini engellemek için 15 mm seçilmesi önerilmektedir. Collepardi (2001), hareket sırasında ayrışmayı engellemek için 15 mm'yi uygun bulmuştur. Dowson (2002), kendiliğinden yerleşen betonun prefabrike beton üretiminde kullanılması halinde, en büyük tane çapının 10 mm ile sınırlandırılmasından yana olduğunu belirtmektedir.

2.1.5.c. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı seçimi

KYB üretiminde yüksek deformasyon yeteneği ve ayrışmaya karşı yüksek direnç sağlamak gibi birbirinin tersi iki koşul bir arada sağlanmalıdır. Bu da ancak etkili bir akışkanlaştırıcı kimyasal kullanımıyla mümkün olabilir (Hollingsworth 2002). KYB tasarımında akışkanlaştırıcılardan; Su kesmede ve akışkanlık sağlamada etkinlik, diğer

kimyasal katkılarla uyumluluk, priz ayarlayıcı özellikleri ve işlenebilirlik ihtiyacını sağlaması beklenmektedir (Danzinger *et al.* 2002).

Katkısız çimento hamuru, karma oksitlerinin elektro-potansiyellikleri gereği, birbirlerini elektrostatik etkiyle çekerek kümelenir (Şekil 2.2a). Çimentodaki karma oksitlerin oranı bu etkiyi artırır veya azaltır. C_3S ve C_2S negatif zeta potansiyeline sahipken, C_3A ve C_4AF pozitif zeta potansiyeline sahiptir. Bu da çimento taneciklerinin su veya nem ile temas ettiğinde topaklanmasına sebep olur. Katkı ilavesi ile tüm çimento karma oksitlerinin negatif zeta potansiyeline sahip olduğu deneysel olarak ortaya konulmuştur (Tandırılı vd 2000; Yoshioka *et al.* 2002). Tüm bileşenlerin negatif yüklenmesi topaklaşmayı önler (Şekil 2.2b). KYB üretimi, naftalin sülfonat formaldehit (SNF), melamin sülfonat formaldehit (SMF) polikondanseleri, vinil kopolimerler ve polikarboksilik asit esaslı katkıları kullanılabilir (Sağlam 2000). Ancak polikarboksilik asit esaslı katkıları göre, diğer katkıların kullanıldığı betonların su ihtiyaçlarının göreceli olarak fazla olması, bu tip betonlar için istenilen akıcılıkta beton üretilmemesine yol açabilmektedir. Bu nedenle daha çok polikarboksilik asit esaslı katkıları tercih edilmektedir (Sağlam 2000).



Şekil 2.2. a. Akışkanlaştırıcı katkısız çimento hamuru b. Akışkanlaştırıcı katkıli çimento hamuru (Siyah kısımlar sıkışık hava boşluklarıdır.)

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde yüksek oranda su azaltma yeteneği olan yeni nesil katkıları tercih edilmelidir. %20'den fazla su azaltan katkıları kullanılması EFNARC Komitesi (2002) tarafından tavsiye edilmektedir.

2.1.5.d. Viskozite artırıcı kimyasal katkı seçimi

Bu katkılar karışım suyunun viskozitesini arttırarak çimento hamurunun süspansiyon altında bileşenlerini korumasını ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalarak ayrışmanın önlenmesini sağlarlar. Bu katkılar aynı zamanda anti yıkanma ve anti terleme katkıları olarak da bilinirler (Khayat and Yahia 1997).

Çimento esaslı malzemelerde çoğunlukla kullanılan viskozite artırıcı katkılar mikrobik kaynaklı polisakkaritler (Welan zamkı), selüloz türevleri (metil selüloz), akrilik bazlı polimerler (akrilimidin kopolimeri olan polyakrilimidin kısmi hidroliz ürünleri) ve ana bileşen olarak akrilimit içeren sodyum akrilitlerdir (Khayat and Yahia 1997).

Bu katkıların etkisi polimerin tipine ve yoğunluğuna bağlıdır. Welan zamkının ve selüloz türevlerinin karışım suyunun viskozitesini arttırdığı düşünülmektedir. Uzun dallı polimer zincir molekülleri su moleküllerinin etrafına yapışmakta ve bu da karışım suyunun emilen kısmını oluşturmaktadır. Bu bitişik polimer zincirlerindeki moleküller etkileşim güçlerini çoğaltmakta ve böylece serbest suyun hareketini engelleyip jel oluşmasına sebep olmaktadır. Bu da çimento hamurunun viskozitesini arttırmaktadır (Lumi 1990; Khayat and Yahia 1997).

Uygun miktarda süperakışkanlaştırıcı ile viskozite düzenleyici katkı kullanımı yüksek deformasyon yeteneğini, işlenebilirliği, ayrışmaya karşı direnci sağlar. Polimer zincirlerinin düşük kayma oranında aralarındaki bağların etkileşimlerinin sonucu olarak akışkanlık engellenir ve viskozite yükselir (Lachemi *et al.* 2004).

Viskozite arttırıcı kimyasal katkılar genellikle, taze betonun yerleştirme ve üretim safhalarında kalitedeki dalgalanmaları azaltmak, stabilite sağlamak amacı ile uygulanır (Rols *et al.* 1999; Sağlam 2000; Berke *et al.* 2002).

Biopolimerlerden en çok kullanılanları Welan Gum ve Diutan Gum'dur. Bu polimerler akışkanlaştırıcıdaki karboksil grupları için sterik bir koruma sağlarlar ve hidrasyonda herhangi bir soruna yol açmazlar. Fakat diğer anyonik polimerler kalsiyum iyonları ile çapraz bağ yapıp hidrasyonu olumsuz etkiler (Phyfferoen *et al.* 2002).

Selüloz türevli viskozite arttırıcı katkıları, beton karışım suyunun bir kısmını absorbe ettiği için, akışkanlaştırıcıyla beraber kullanılması şarttır. Fakat literatürde ortak kullanımda bazı uyumsuzluklar tespit edilmiştir; Selüloz türevleri, özellikle melamin bazlı akışkanlaştırıcılarla kullanılmalıdır. Naftalin esaslılarla uyumsuzlukları Kawai and Okada (1987) tarafından rapor edilmiştir. Selüloz türevlerinin ayrıca poliakrilik sülfonat esaslı süperakışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılması durumunda, viskoziteyi aşırı derecede arttırıcı etkisi olduğu aynı yazarlarca ortaya konulmuştur. Doğal sakızların ise hem melamin hem de naftalin bazlı katkılarıyla uyumlu olduğu yapılan çalışmalarla gözlenmiştir (Khayat 1995; Danzinger *et al.* 2002).

2.1.6. Kendiliğinden yerleşen betonun tasarımı

KYB karışım tasarımı için standart bir metot yoktur ve pek çok akademik enstitü, katkı firmaları, hazır beton ve prefabrik firmaları kendi karışım oranlarını geliştirmiştir. Karışım tasarımları agrega tanecikleri arasındaki boşlukları doldurma gerekliliğinin önemi nedeniyle hamur hacmi çoğunlukla en önemli parametre olarak kullanılır. Bazı metotlar mevcut bileşenleri optimize edilmiş gradasyon eğrisine uydurmaya çalışırlar. Diğer bir metot da iri agrega ilavesinden ve tüm KYB karışım testinden önce ilk olarak hamur daha sonrada harç bölümlerinin akış ve stabiliteğini değerlendirmek ve optimize etmektir. Bu yöntemler genellikle klasik tasarım yöntemlerinden daha karmaşıktır ve özellikle malzeme kalite kontrolü açısından daha çok deneysel çalışma gerektirmektedir. Japon İnşaat Mühendisleri Birliği (JIS) dizayn yöntemlerini; Toz tipi metodu, stabilizatör tipi metodu ve kombinasyon metodu olarak isimlendirmektedir.

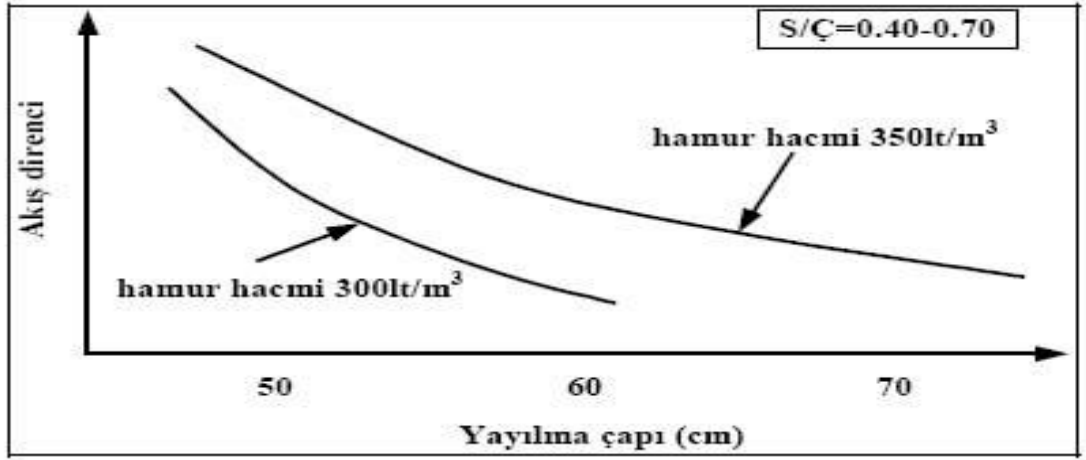
Çizelge 2.2. Geleneksel beton ve KYB (toz tipi) için tipik tasarım parametreleri

	Geleneksel Beton	KYB
Harç %'si	55 – 60	60 – 67
Kum/toplam agrega oranı	0.42 – 0.50	0.50 – 0.57
Su/toz oranı (hacim)	1.20 – 1.30	1.00 – 1.16
Su/çimento oranı (ağırlık)	0.37 – 0.40	0.37 – 0.41

2.1.6.a. Toz tipi metot

Temel kural olarak toz hacmi, toplam hacmin %36'sından az olmamalıdır. Çimento hamurunun hacmi, eklenen toz malzemeler ile arttırılarak taze betonun stabilitesinin korunması amaçlanmıştır. Toz maddenin çimento ile homojen karışması için iyi bir karıştırıcı ve uzun süreli karıştırma gerekebilir. Hughes *et al.* (2002) toz tipi metodu ile üretilen KYB ve geleneksel beton tasarım parametrelerini Çizelge 2.2 yardımıyla karşılaştırılmıştır.

1993 yılında Profesör Okamura tarafından hazırlanan ilk KYB karışım yöntemi iki bölümden meydana gelmektedir. İlk bölümde beton tasarımı, ikinci bölümde ise üretim ve yerleştirme esasları hakkında bilgi verilmiştir. Okamura yönteminin amacı, ilk etapta hamur ve harçta ön deneyler yaparak, malzemelerin birbiriyle varsa uyumsuzluklarını ve uygun değer kullanım oranlarını belirlemek, ardından betonda deneme karışımları yaparak sonuca ulaşmaktır. Hamur fazı arttıkça taze betonun akış direnci, yayılma değeri değişiminden daha az etkilenmektedir. Jacobs and Hunkeler (1999)'in yaptığı çalışmalarda, harç miktarı diğer bileşenlerin oranları değiştirilmeden arttırılırsa, işlenebilirliğin değiştiğini izlemişlerdir. Hamur artışı viskoziteyi arttırarak farklı yayılma değerlerinde betonun stabilitesini korumasına yardımcı olmaktadır. (Şekil 2.3); Hamur hacminin KYB akıcılığına etkisi görülmektedir.



Şekil 2.3. Hamur hacminin KYB akıcılığına etkisi

Okamura kendi yöntemiyle, hamur ve harçta daha kolay ve hızlı yapılacak deneylerle sonuca ulaşılabileceğini ve zaman tasarrufu sağlanacağını belirtmektedir. Okamura tasarım yönteminde, diğer kendiliğinden yerleşebilirlik tasarım yöntemlerine kıyasla, hamur hacminin toplam hacme oranı oldukça fazladır (Walraven 2002). Bu yöntemle üretilen betonun basınç dayanımı da doğal olarak beklenenden iyi olmaktadır.

2.1.6.b. Stabilizatör tipi metot

KYB üretiminde viskozite arttırmak amacıyla toz madde dışında kullanılan kimyasal katkılarına viskozite düzenleyici veya stabilizatör denilmektedir. Dozajının iyi ayarlanamaması ile hamur hacminin az olması durumunda pompalama sırasında tıkanmaya sebep olunması ve kalıp yüzeylerinde sıkışık hava boşluğu kalma ihtimalinin yüksekliği bu katkıların kullanımlarını henüz sınırlı tutmaktadır (Yahia *et al.* 2002).

2.1.6.c. Kombinasyon metodu

KYB tasarımında; kendiliğinden yerleşebilme şartı olarak optimum viskozite ve düşük eşik kayma gerilmesi aranmaktadır. Toz ve stabilizatör tipi metotların olumsuz yönlerinin düzeltilmesine yönelik olarak, her iki yöntemin bir arada kullanıldığı metoda kombinasyon metodu denmektedir. Bu metoda VAK vak olarak doğal polimerler (polisakkaritler) tercih edilmelidir (Nagataki 2000).

2.1.7. Atmosferik buhar kürü

Atmosferik basınç altında buhar kürü" 100°C sıcaklık ve atmosferik basınç altında ve doygun buhar ortamında yapılan krlemedir (ACI 517 1970). Betonda dayanım artışının fazla olması için sıcaklık artışının yanında ortamın yeterince neme doygun olması da gereklidir. Ortamı ısıtmak için gerekli ısı, buhar kürü ile de sağlanabilir (Nevide 1997). Atmosferik buhar kürü özellikle kalıptan kısmen veya tamamen alınmış beton blok veya boru gibi yapı elemanların üretiminde önem kazanır (ACI 517 1980).

Buhar kürü uygulanmasını etkileyen faktörler en önemlileri buhar kürü çevrimi ve çimentodur (ztekin 1980). Bundan başka; Malzeme zellikleri, Beton bileşimi, Betonu yerleştirme ve sıkıştırma olanakları, yapı elemanının geometrik özellikleri, buhar kürü çevrimi, teknolojik veriler ve saklama koşulları gibi faktörlerin de etkileri vardır.

Gz önüne alınması gerekli özelliklerden biri de ısıl işlemi olumsuz yönde etkileyen işlem parametrelerinin, yapı elemanlarının üretim hızını olumlu yönde etkileyerek bir çelişki yaratmasıdır. Bu yüzden ısıl işlem uygulamaları yapı elemanlarından beklenen özelliklere göre büyük çeşitlilik gösterir. Örneğin ngerilmeli beton elemanlarda yapı güvenliği nedeniyle yumuşak çevrimler yeğlenirken, beton duvar elemanlarında maliyet nedeniyle daha sert çevrimler uygulanabilir.

Fiziksel kusurlara neden olan aşırı su kaybı ise buhar kürü uygulaması ile önemli ölçüde önlenebilmektedir. Basit bir teknolojiye sahip olduğu için tercih edilen buhar kürü uygulamasında, ortamı %100 bağıl nemle doyurmak pek mümkün olmamaktadır. Bunun yanında hidrasyon ısısı sonucu beton sıcaklığının ortam sıcaklığının üstüne çıkabilmesine, beton serbest suyu buhar basıncının ortamdaki kısmi buhar basıncından yüksek olmasına ve beton suyunun buharlaşmasına sebep olabilir (ztekin 1977).

Buhar krnn amacı betonun dayanım kazanmasını erken yaşlarda hızlandırmaktır. Ancak buhar kürü uygulanan numunelerde ileri yaşlarda görülen dayanım kazancındaki

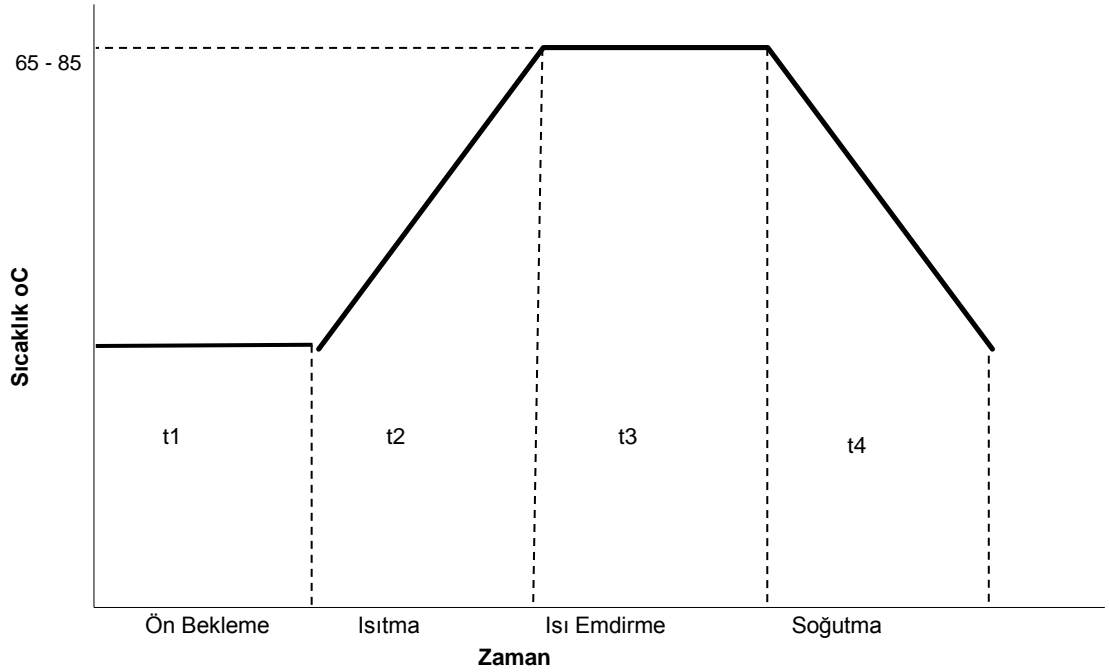
azalmanın derecesi, başlangıçtaki buhar kürü koşullarıyla ve beton karışım-işleme özellikleriyle yakından ilgilidir. Buhar kürünün doğru uygulamalarından sonra 28 günlük dayanımdaki kayıp önemsenmeyecek ölçüde kalır (TS 3648 1984).

Beton elemanların biçim ve büyüklükleri, kullanılan malzeme cinsi ve oranları, erken dayanım ihtiyacı, donma ve çözölmeye dayanıklılık gibi nitelikler uygulanan buhar kürü devrelerinde süreler ve metotlar açısından önemli değişiklikler yapılmasına sebep olabilir (Neville 1997).

Her şeye rağmen buhar, ısı ve nemin beton ürüne en ekonomik ve etkin şekilde temin edildiği bir yöntem olduğu için atmosferik basınç altında buhar kürü uygulaması en yaygın ısıtım işlem uygulamasıdır.

2.1.7.a. Buhar kürü çevrimleri ve süreçleri

Beton elemanının ısıtılarak kısa sürede dayanım kazanmasına kadar geçen süre içerisinde betona uygulanan işlemler ısıtım işlem çevrimleri olarak isimlendirilir. Betonun yerleştirilmeden önce ısıtılması esasına dayanan sıcak beton yönteminde Şekil 2.4'te gösterilen ön dinlendirme ve sıcaklık yükseltme süreçleri hariç, diğer ısıtım sürecine, beton elemanın doğal soğuma süresi göz önüne alınarak, kısmen uyulur. Bu nedenle sıcak beton uygulamasında tam anlamıyla bir ısıtım işlem çevrimi söz konusu değildir. Pratikte uygulanan ısıtım işlem çevrimleri; Hızlı (sert) çevrimler, Orta (ılımlı) çevrimler ve Yavaş (yumuşak) çevrimler olarak gururlandırılabilir (Öztekın 1980).



Şekil 2.4. Tipik buhar kürü çevrimleri

Hızlı (sert) çevrimler

İşlem sıcaklığı 80–90°C olan ve toplam çevrim süresi ise 6-7 saat süren çevrimler Hızlı (sert) çevrimler. Bu çevrimlerde ön dinlendirme süresi 1 saat veya daha az, sıcaklık yükseltme ve soğutma hızı ise 30°C/saat dolaylarındadır.

Orta (ılımlı) çevrimler

İşlem sıcaklığı 70°C civarında olan ve toplam çevrim süresi 9–11 saat süren ısıtma işlemi olarak tanımlanır. Bu çevrimde ön dinlendirme süresi 2–3 saat olup ısıtma ve soğutma hızları 15–20°C/saat civarındadır. Kürden çıkan beton elemanın sıcaklığı 30–40°C iken kalıp sökülebilir.

Yavaş (yumuşak) çevrimler

İşlem sıcaklığı 55–60°C'yi aşmayan ve toplam süresi 20–22 saat olan çevrimler olarak bilinir. Ön dinlendirme süresi 4 saat olup sıcaklık yükseltme ve soğutma hızları ise 10°C/saat civarındadır.

Ön dinlendirme süreci: Betonun kalıba dökülmesi ile buhar kürü uygulamasına kadar geçen süre ile tanımlanan süreç olarak bilinir. Şekil 2,4 ve t₁'de 1 ile numaralandırılmış bölgedir. Ön dinlendirmeden amaç, çimento hidrasyonunun bir kısmının başlamasına izin vererek çimento hamuru fazına jelleşme doğrultusunda başlangıç kararlılığını kazandırmak ve. Betonun daha sonra maruz kalacağı termal genleşmelere karşı yukarıda açıklandığı üzere, kararlı bir içyapı meydana getirmesini temin etmektir. Ön bekletme süresinin uzatılması, priz ve sertleşme süresini artırır, hacim artışını da o oranda azaltır (Öztekın 1980). Ön yapımlı elemanlar için bu süreyi 1–7 saat; kütleleri fazla, dolu elemanlarda ise en az 3 saat buhar kürü öncesi bekleme uygulanması istenmiştir. Ayrıca bu işlemin rüzgâr ve güneşin etkilerinden uzak 5-30°C arasında yapılması öngörülmüştür. TS 3648 (Ön Yapımlı Beton Elemanlara Atmosfer Basıncı Altında Buhar Kürü Uygulama Kuralları 1984)

Hidrasyon ısısı yüksek olan çimentolar kullanıldığında s/ç oranı yüksek olan elemanlarda ve beton karma-dökme işleminin yapıldığı ortamın (0–10°C) olduğu durumlarda buhar kürü öncesi bekleme süreleri daha uzun tutulmalıdır (TS3648 1984).

Ön dinlendirme süresi genel olarak çimento cinsine, su/çimento oranına, beton elemanın kütle/yüzey oranına ve beton üretilen yerin ortam sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu sürenin 3–7 saat olması gerektiği belirtilmektedir (ACI 517 1980).

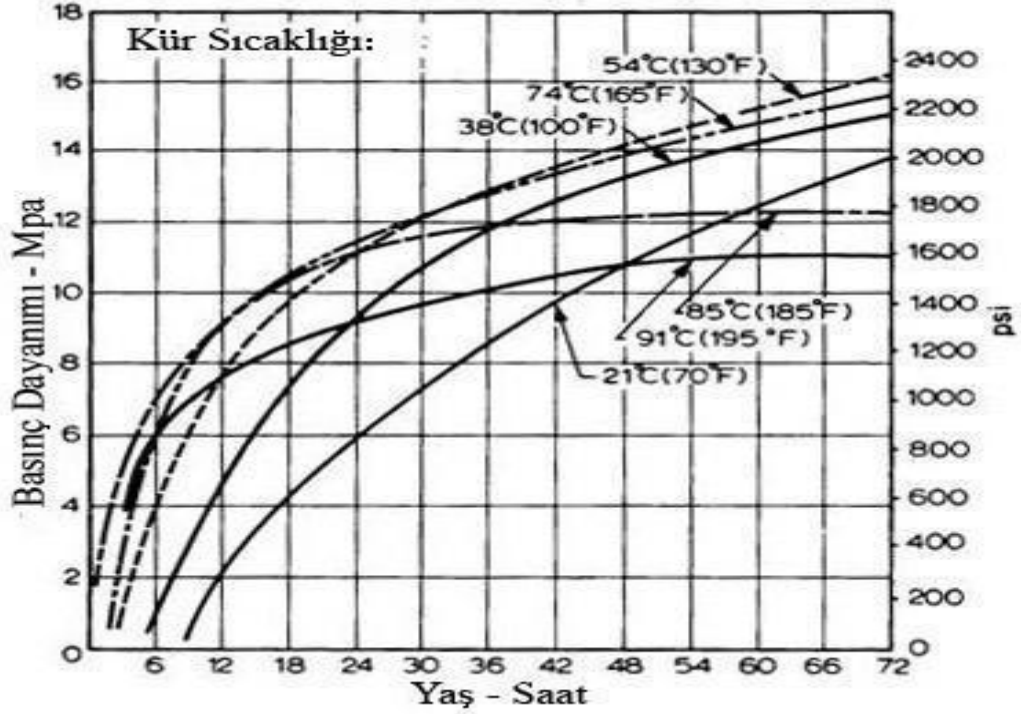
Sıcaklık yükseltme süreci: Beton eleman sıcaklığının kontrollü bir hızla istenilen maksimum sıcaklığa kadar yükseltildiği dönemdir. Şekil 2.4'te t₂'de 1 ile numaralandırılmış bölgedir. Bu süreç ön dinlendirme süresi ile yakından ilgilidir.

30°C'nin üzerindeki sıcaklık yükseltme hızlarında yeterli bir ön dinlendirme yapılsa bile ısı şoku ihtimalinin artması nedeniyle betonda dayanım kayıplarının ortaya çıktığı bilinmektedir (TS 3648 1984). Ekonomik ve teknik açıdan kabul edilen sıcaklık artış hızları genellikle 20 ila 30°C/saat arasındaki hızlardır. Yetersiz ya da bir başka deyişle 1 saatin altında ön dinlendirme yapılmış elemanlarda sıcaklık yükseltme hızı 11°C/saat veya daha düşük olmalıdır (Öztekin 1978).

Isı emdirme (işlem) süreci: Isı emdirme süreci, beton eleman ya da elemanı çevreleyen ortam sıcaklığının belirlenen maksimum sıcaklıkta tutulduğu döneme denir. Şekil 2. 4 t₃'de gösterilen bölgedir. Bu süreci belirleyen; ısı emdirme sıcaklığı ve ısı emdirme süresidir. Bu süreç ile amaçlanan beton elemana istenilen dayanımı kazandırabilmektir, TS 3648 (1984)'de ön yapılı beton elemanlar için önerilen 65–85°C'ler arasındaki sıcaklıklardır. Buna karşın ACI Manuel of Concrete Practice'de (1970) ise bu sıcaklıklar 66–82°C olarak verilmiştir. Uzun bir ön dinlendirme yapıldığında ve bunu takiben düşük sıcaklık artış hızı uygulandığında maksimum sıcaklığı 100°C 'ye çıkarılabilir.

Toplam kür çevriminin 18 saati geçmemesi kuralı esas alındığında, makul bir ısı emdirme süreci 3–5 saat arasında olmaktadır. Bu süre su/çimento oranı, çimento dozajı, kütle/yüzey oranı gibi parametrelere göre düzenlenebilir (Neville 1997). Düşük sıcaklıkta uzun bir çevrimle veya yüksek sıcaklıkta kısa bir çevrimle aynı dayanım elde edilebilir. Optimum kür sıcaklığı, pratik olarak 80–85°C'nin üstünde olmalıdır.

Şekil 2.5'te farklı kür sıcaklıklarının beton (s/ç=0,55) dayanımına olan etkisi verilmektedir. Oranında uzun bir ön dinlendirme süresi, düşük sıcaklık artışı ve soğutma hızı uygulanmasını da zorunlu kılmaktadır.



Şekil 2.5. Farklı sıcaklıklarda buhar kürü uygulanmış betonların basınç dayanımları (su/çimento oranı = 0,55 ve buhar kürü betonlar döküldükten hemen sonra uygulanmıştır) (Neville 1983).

Soğutma süreci: Kür zincirinin belki de en önemli halkasıdır Isı emdirilmeye son verilip beton elemanın çevre sıcaklığına erişinceye kadar soğumaya bırakıldığı süreçtir. Şekil 2.4'te t_4 ile numaralandırılmış bölgedir. Bu süreci belirleyen en önemli husus soğutma hızıdır Burada amaç buhar kürü ortamından alınan beton elemanların ani sıcaklık değişiminden ortaya çıkan farklı büzülme gerilmelerinden zarar görmemesi için beton eleman sıcaklığının kontrollü bir şekilde düşürülmesidir (Uğurlu 1998).

Değişik literatürlerde soğutma hızının $0,25-0,50^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$ olması gerektiği belirtilmektedir (Öztekin 1978). Yüzeyine oranla kütlesi büyük, doluluğu fazla olan elemanların soğutulmasında ince kesitli elemanlara göre daha yavaş bir soğutma hızı uygulanmalıdır.

Kalıpların ısıtılması yöntemi ile yapılan kür işleminde, kontrollü soğumayı sağlamak üzere kalıp veya beton elemanın üzeri örtülerek ani soğuma önlenmelidir.

Soğutma süreci sonrası: Ön yapımlı elemanın kullanıma alınmadan önce bekletildiği döneme denir. Bu dönemi belirleyen parametreler; sıcaklık, nem ve elemanların istif şeklidir. Isıl işlem çevriminden çıkan elemanlar, ısıl işlem sırasında oluşabilecek bazı aksaklıklar sonucunda ortaya çıkan dayanım kayıplarını azaltmak amacıyla depolama sahasında veya daha öncesinde ortam sıcaklığında ya içi su dolu havuzlara konarak ya da belli aralıkla sulanarak kür edilirler (Uğurlu 1998).

2.1.7.b. Beton bileşiminin buhar kürüne etkisi

Betonu meydana getiren malzemelerin özellikleri. Buhar kürünü etkileyen faktörlerden biridir. Seçilen buhar kürü sürecinin istenilen hedefleri sağlayabilmesi bir açıdan uyumlu malzeme özellikleriyle sağlanır. Burada söze edilen en önemli durum ise uyumlu çimento-buhar kürü çevrimi ikilidir.

2.1.7.c. Çimento tipi ve bileşiminin buhar kürüne etkisi

Portland çimentoları için bileşim ve incelik, katkı çimentolar için ise bu parametrelere ek olarak katkı maddesinin türü ve miktarı buhar kürü altında betonun davranışını etkileyen çimento parametreleridir. Çimentonun ana bileşenlerinden C_3S 'in oranının yüksek olması buhar kürünü olumlu etkilemektedir. Artan C_3S oranı ile ilk dayanım hızla artmaktadır, ilk dayanımın önemli olduğu durumlarda, C_3S oranının %50–60 arasında bulunması optimum değer olarak kabul edilmektedir, C_3S 'i zengin çimentoların 80-85°C civarında kısa süreli çevrimlere uygun olduğu söylenmektedir (Alabaş 2002).

C_3A 'nın optimum miktarı konusunda %2–4 den %15'e kadar çok farklı değerler ileri sürülmektedir. Bunun temel nedeni C_3A 'nın erken ve ileri yaştaki dayanımlar üzerinde ters etki yapmasıdır. C_3A oranı belli sınırlar içinde arttıkça, ilk dayanım yükselmekte,

28 günlük dayanım düşmektedir. C_3A oranı için üst sınır, artan SO_3 yüzdesiyle, azalan incelik ve azalan işlem sıcaklığı ile artabilmektedir. Özellikle zararlı etkilere maruz kalacak ısıtılmış betonlarda C_3A 'nın %4'ü geçmemesi istenmektedir. Buhar kürü çevrimi açısından C_3A oranı arttıkça sıcaklığın azalması gerektiği ileri sürülmektedir. Buhar kürü yapılacak çimentolarda C_3A miktarının minimum olması dayanım ve durabilite açısından önemlidir. Alışılmış sınırlar içinde kaldığı sürece C_4AF miktarının ısıtılmış işlemi olumlu veya olumsuz etkilemediği görüşü yaygındır (Alabaş 2002). Buhar kürü uygulanacak betonlarda incelik dikkate alınmalı ve incelik arttıkça işlem süresi kısalmalıdır (Öztekın 1980).

Katkılı çimentoların buhar kürüne daha yatkın olduğu benimsenen bir görüş olarak ortaya çıkmaktadır. Doğal ve yapay cüruf, tras, uçucu kül ve benzeri mineral katkı çimentoların buhar kürü altında iyi sonuç verdikleri, 28 günlük dayanımlarında düşme olmadığı gibi, artış gözlemlendiği genel görüştür. Bu tür çimentolarla üretilen betonların geçirimsizlik, dona dayanıklılık gibi özelliklerinin, buhar kürü ile daha da iyileştiği bilinmektedir Mineral katkı çimentolarda, katkı oranı arttıkça yüksek erken dayanım elde etmek. Zorlaşmaktadır. Erken dayanımı arttırmak için, yüksek sıcaklıklarda (80–85°C) uzun süreli çevrim gerekmekte, bu çimentoların ince öğütülmesi yararlı olmaktadır. Buhar kürü altındaki davranışı daha da olumlu kılmak ve ilk dayanımı yükseltmek için yüksek incelik, uygun değer klinker bileşimi, uzun ve yüksek sıcaklıkta işlem çoğunlukla önerilen faktörlerdir (Neville 1983).

Buhar kürü uygulanacak çimentoların;

1. C_3S miktarı %(55 -60) arasında olmalı
2. C_3S/C_2S oranı (3) den büyük olmalı
3. C_3A miktarı %10'u geçmemeli
4. C_4AF miktarı %(5 -15) arasında kalmalı
5. SO_3 miktarı %3,5 den küçük olmalı
6. Blaine özgül alanı $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ 'dan büyük olmalıdır (Postacıoğlu 1986) belirlenen; özelliklere sahip olması istenilmektedir.

Buhar kürü uygulanacak betonlarda Portland imentoları, katkılı Portland imentosu, yüksek fırın çimentoları ve traşlı imento kullanılır (TS 3546 1984). Alüminli imento kesinlikle kullanılmamalıdır.

2.1.7.d. Agreganın buhar k r ne etkisi

Agrega ile çimentonun ısı iletkenlik ve ısıl genleşme katsayıları arasındaki fark arttıkça, agrega-imento hamuru ara yüzey bölgesinde ısıl gerilmeler artmakta, esasen zayıf olan bu aderans bölgelerinde mikro çatlaklar meydana gelmektedir. Silisi zengin agregalarla üretilen betonlarda, 80–85 C gibi yüksek sıcaklıklarda buhar kürü uygun iken, kalker agregalı betonlarda ise 40–50 C gibi düşük sıcaklıkların üstüne çıkılması pek faydalı olmaktadır (ACI 517 1970).

2.1.7.e. Buhar kürü altında imento hamuru ve betonun davranışı

Çimento bileşenlerinin birbirinden oldukça farklı olan hidrasyon hızları (ısıları) ve beton bileşenlerinin birbirinden çok farklı olan genleşme katsayılarından kaynaklanır. Bu nedenle yukarıda sıralanan buhar kürü çevrim tiplerinden herhangi biri seçilmeden önce imento hamuru ve betonun buhar kürü altındaki davranışı bilinmelidir.

Bu değişim, betonda da aşağı yukarı aynı olup 28. gündeki dayanım kaybı biraz daha az olmakla birlikte %10'un altında değildir. Isıl işlem sonrası ortaya çıkan %30'lara dayanan basınç dayanım kayıpları, betonun eğilmede çekme dayanımını ve geçirgenliğini etkilemektedir. 28. günden sonraki yaşlarda özellikle hızlı çevrimlere maruz kalmış betonlarda bu olumsuzluk daha belirgindir. Bu olaylar, ısıl işlem altında imento hamuru ve betonun davranışı ile açıklanabilir (Uyan 1982).

Su kaybı daha çok beton elemanın soğuma sürecinde belirgin olmakla birlikte bütün süreçlerde görülecek kadar genel bir davranıştır. Bu nedenle buhar kürü boyunca hidrasyon reaksiyonları için gerekli suyu beton bünyesinde tutmak gereklidir. Sıcaklığın artması yukarıda izah edildiği gibi suyun hem bağlanması güçleştirir hem de

buharlaşmayı hızlandırır. Bu nedenle kür yöntemi belirlenirken sert çevrimlerden kaçınılarak, beton elemanın en az %90 neme sahip bir ortamda kür edilmesi temin edilmektedir (Öztekin 1978).

Bunların yanı sıra çimentonun dört ana bileşeninden her birinin hidratasyon ısısı ve reaksiyon hızı değişiktir. Bu nedenle normal koşullarda bu bileşenler farklı zaman aralıkları hidratasyon reaksiyonlarını tamamlarlar. Reaksiyon hızı yüksek olan çimento bileşenleri (C_3A , C_3S) ısıtıldıkları zaman reaksiyon hızları daha da artar. Bu durumda çimento bileşenlerinin reaksiyon hızları arasında büyük farklar ortaya çıkar. Öyle ki çimento bileşenlerinin bir kısmı (C_3A) hidratasyon reaksiyonunu tamamlayıp kristalîze duruma geldiği halde diğer bir kısmı (C_3S) henüz hidratasyonun başında bulunmaktadır. Böylece çimento hamuru yapısı içerisinde süratle meydana gelen konglomera kristaller geç oluşacak kristaller için istenmeyen bir kabuk veya iskelet teşkil edecektir. Yüksek sıcaklıklarda hızlı reaksiyon sonucu, hidratasyon ürünleri çimento tanelerini yoğun bir tabaka oluşturarak kaplar ve geride boşluklar bırakırlar, bu şekilde oluşan boşluklu heterojen yapı da dayanım kayıplarına yol açmaktadır (Copeland ve Verbeck 1960).

Beton; agrega, çimento, su ve hava fazlarından meydana gelmiştir. Bu değişik fazların her birinin ısı genleşme katsayıları birbirinden farklıdır. Katı fazlara göre yaklaşık 10 misli ve 100 misli bir genleşme katsayısına sahip olan su ve havanın genleşmesi sonucu, özellikle sıcaklık yükseltme döneminde beton içerisinde büyük bir hacim artışı meydana gelir. Özellikle ön dinlendirme süresinin çok kısa olduğu hızlı çevrimlerde, betonun kohezyonu; su ve hava fazlarının genleşmelerini önlemekte yetersizdir (Öztekin 1978).

Isı emdirme sürecinde diğer fazların, özellikle de çimentonun aynı ölçüde genleşmemesi sonucu betonda heterojen ve içi boşluklu bir yapı meydana gelir. Öte yandan su ve hava fazlarının aşırı genleşmeleri sırasında boşluklarda meydana gelen iç basınç nedeniyle ortaya çıkan çekme gerilmeleri, betonda çatlakların ortaya çıkmasına neden olur. Buhar kürü sonunda betonun soğuması sırasında beton bileşenlerinin farklı genleşme-büzülme katsayıları nedeni ile yapısal kusurlar ortaya çıkar. Genleşmiş durumdaki çimento bileşenleri, soğutma sürecinde tedricen bir soğutma yapılmadığı

zaman şoka uğrarlar. Bu çimento fazında kopukluklara yol açar. Ayrıca, agrega ve çimento hamurunun soğurken farklı hızlarda büzülmesi sonucu agrega-çimento hamuru ara yüzeyinde aderans kusurları ortaya çıkar. Buhar kürü uygulanmış betonların çekme dayanımının düşüklüğü ve geçirimsizliklerindeki artış bu gerçeğe açıklanabilir. İşlem sırasında kür edilen beton elemanının her noktasında aynı sıcaklık sağlanamadığı durumlarda eleman bünyesinde sıcaklık farkları sonucunda gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler daha çok sıcaklık yükseltme ve soğutma süreçlerinde ortaya çıkar. Eğer betonda kalıcı bir hacim artışı söz konusu ise bu gerilmeler yapısal çatlaklara yol açar (Uyan 1982).

2.1.7.f. Buhar kürünün betonun fiziksel özelliklerine etkisi

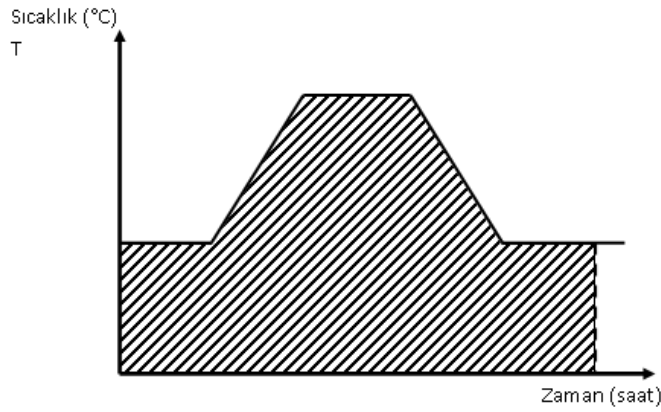
Buhar kürü uygulamasının beton elemanlara sağladığı en önemli yarar 24 saatlik bir çevrim sonunda betona 28 günlük standart basınç dayanımı, Çekme dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülünün, %60 'ına varan bir bölümünü kazandırmasıdır. Buna karşılık 28 gün ve daha ileri yaşlarda basınç dayanımında, standart küre oranla düşmeler izlenebilir.

Buhar kürü uygulaması sonucunda betonun sünmesi %50, kuruma rötresi %30 oranında düşebilir. (ACI 517 1970).

İyi bir buhar kürü uygulamasıyla permeabilite her zaman için normal sınırlar içinde tutulabilir. Permeabilitenin daha da düşük olması istenirse, ek buhar kürü gerekli olabilir (ACI 517 1970).

Olgunluk derecesi kavramı: Betonun dayanım kazanmasında önem taşıyan faktörler arasında süre ve sıcaklık önemli yer tutarlar. Doğal olarak su/çimento oranı, çimento türü, miktarı, dış ortam nemi gibi diğer faktörler de dikkate alınmalıdır. Bu ikincilerin sabit tutulduğu veya belli olduğu bir durumda sertleşmeye ölçü olarak süre ve sıcaklığı değişken kabul eden bir büyüklük "olgunluk derecesi" denmektedir (Bergström 1953). Isıl işlemde belirlenmesi gerekli en önemli iki karakteristiktten birisi sıcaklık derecesi,

diğeri ise sıcaklığın uygulandığı süredir. Bu karakteristikler aşikârdır ki istenilen dayanım değerlerinin elde edilmesini sağlayacak şekilde saptanmalıdır. Bu amaçla uygulanan yöntemlerden biri olgunluk faktöründen yararlanmaktır. Olgunluk faktörü İle Şekil 2.6'da sıcaklık (°C) ile zaman (saat) ekseninde kalan alanın yüz ölçümü anlaşılmaktadır (Postacıoğlu 1986).



Şekil 2.6. Buhar kürü süreçleri için olgunluk derecesi

Şekil 2.6'dan görüleceği gibi olgunluk derecesi betonun kalıbına dökülmesinden itibaren "t" anına kadar geçen süre içinde $T = f(t)$ sıcaklık-zaman eğrisi ile $T = 0$ yatay doğrusu arasında kalan alandır.

Ön deneyler ile dayanım-olgunluk derecesi arasındaki ilişki bulununca istenilen dayanıma karşılık gelen olgunluk derecesi bu bağıntıdan çıkarılabilir ve bu olgunluk derecesini sağlayacak çevrim belirlenebilir. Olgunluk derecesi-dayanım ilişkisi, çimento tipine ve beton bileşimine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden, aynı ilişkiyi her çimento ve beton için kullanmak yanıltıcı sonuç verebilir (Prefabrik Birliği 1991).

Gerek şantiyede kür edilen beton için gerekse prefabrike üretilen elemanlar için, faktör-dayanım arasındaki ilişkiye çok önem verilmektedir. Bu ilişkiden faydalanılarak istenilen dayanıma ait olgunluk faktörü çıkarılıp, beton için gerekli sıcaklık-zaman analizleri yapılabilmektedir.

2.2. Hafif Betonlar

2.2.1. Giriş

Günümüzde, hafif ve ekonomik yapılar oluşturmak amacıyla hafif betonlara olan talep gittikçe artmaktadır. Hafif betonlar; ısı iletkenlik katsayısı normal betona göre yaklaşık 10 kat daha azdır. Hafif beton ve hafif agreganın tanımı üzerine birçok yaklaşım vardır. Demirboğa (1999) hafif betonu; geleneksel agregaya yerine, hafif agregaya kullanmak suretiyle ya da sadece doğal iri agregaya kullanarak veya bağlayıcı çimento hamurunun geliştirilmesi ile elde edilebilen beton olarak tarif etmiştir. Tüm yöntemlerde beton yoğunluğundaki düşüşün nedeni meydana getirilen hava boşluklarıdır. Bu boşluklar agregada içinde, harç içinde veya iri agregaların arasında olabilir (Neville 2003).

Hafif Betonların Avantajları;

1. Hafif beton kullanımıyla yapının kendi ağırlığından ileri gelen yüklerde belirgin bir azalma sağlanır. Dolayısıyla yapının temel masrafları da azalır.
2. Hafif betonların kullanılması halinde yapının tüm ağırlığının azalması sonunda deprem sırasında daha küçük kuvvetler oluşur.
3. Isı yalıtımları yüksektir.
4. Isı yalıtımları yanında, hafif agregalı taşıyıcı betonların yangına karşı dayanıklılığı da normal betona göre daha iyidir.
5. Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalmasıyla beton kalıbında daha düşük basınç oluşur.

Hafif Betonların Dezavantajları;

1. İçerdikleri boşluklar nedeniyle mukavemetleri normal betonlara göre düşüktür.
2. Aşınmaya karşı dayanıksızdırlar.
3. Rutubete ve suya karşı yalıtım gereklidir.
4. Ses yalıtımları normal betonlara göre daha düşüktür.
5. Rötrelere ve sünmeleri genellikle yüksektir.
6. Vibrasyonla yerleştirilmelerinde sorunlar vardır.

7. Bazı bölgelerde kaliteli normal agreganın olmayışı veya çok az oluşu çeşitli doğal ve yapay agregaların beton agregası olarak kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Geleneksel betonun sakıncalı yönlerini ortadan kaldırmak ve diğer bazı sebeplerle bugün sanayi ülkelerinin birçoğunda hafif betonlar kullanılmaktadır (Gül ve Geçten 1994). Hafif yapılar depremden daha az etkileneceğinden, betonarme inşaatlarda hafif betonun kullanılması deprem afetinden korunma yönünden Türkiye için çok önemli bir önlem olacaktır (Durmuş ve AYTEKİN 1986).

Hafif agrega kullanılarak duvar örme elemanı, hazır duvar paneli, bölme duvar, yangın ve rüzgâr duvarı gibi yapı öğeleri elde edilebileceği gibi, hafif beton park ve bahçe mobilyası da üretilebilir. Hafif betondan imal edilmiş bu yapı elemanlarının yüzeylerine her türlü harçlı veya yapıştırma kaplama imalatı uygulanabileceği gibi, her türlü boya uygulaması da yapılabilir (Gül 1996).

Türkiye'nin, dünyada en zengin ve kaliteli hafif agrega yataklarına sahip olduğu ve yüzölçümünün 1/5'ni volkanik kayalar oluşturduğu dikkate alınır, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, hafif agrega ve hafif beton konusuna verilen önem, yurdumuzda da hafif betonun yapılarda kullanılmasıyla sağlanabilir (Hüsem 1995).

2.2.2. Hafif betonun sınıflandırması

Hafif betonlar; üretim yöntemlerine, birim ağırlık ve dayanımlarına göre sınıflandırılırlar. Hafif betonların üretiminde yaygın kullanılan üç metot vardır. Bunlardan ilki sadece iri agrega kullanılarak üretilen kumsuz betondur. İri agrega, belli oranda çimento ve su ile karıştırılarak sıkıştırılmadan kalıba dökülür. Çimento hamuru çakıl tanelerini bir arada tutarken bileşimde önemli miktarda hava kalır. İkincisi; normal agreganın bir bölümü veya tümünün yerine doğal veya yapay hafif agregaların kullanılmasıyla üretilen hafif agregalı betondur. Betonun yalıtım veya taşıyıcılık özelliklerine göre birim ağırlıkları değiştirilebilir. Üçüncüsü; beton içinde kimyasal yolla büyük boşluklar meydana getirmek suretiyle üretilen betondur. Çimento hamuru içerisinde alüminyum tozu gibi kimyasal maddeler yardımı ile gaz kabarcıkları meydana

getirilerek boşluklu ve süngerimsi bir yapı elde edilir. Bu tür hafif betonlara gaz beton ismi verilir. Karışım suyuna, çalkalandığı zaman kabaran veya köpüren katkıları katılarak köpüklü betonlarda elde edilir (Yeğinobalı 1997; Neville 2003).

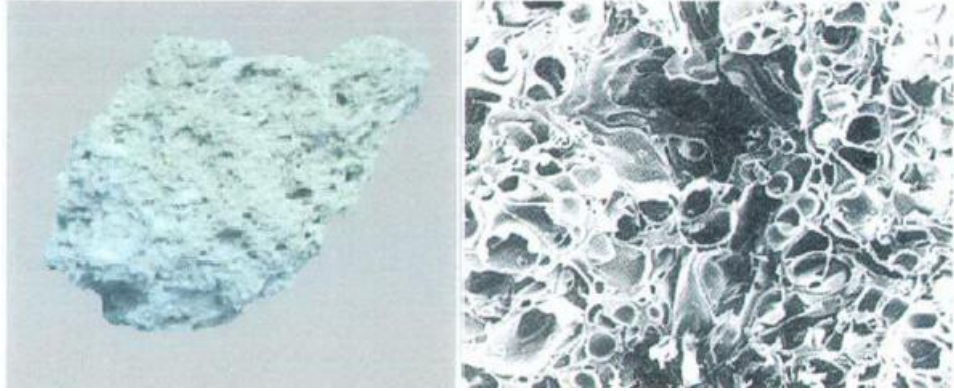
Birim ağırlıkları $300\text{--}800\text{ kg/m}^3$ arasında olan yalıtım betonudur. Birim ağırlıkları $800\text{--}1400\text{ kg/m}^3$ arasında değişen orta dayanımlı hafif betonlardır. Isı iletkenlik değeri çok düşük olan ve ısı yalıtım amacı ile kullanılan betonlardır Birim ağırlıkları $800\text{--}1400\text{ kg/m}^3$ arasında değişen orta dayanımlı hafif betonlardır. Birim ağırlıkları genellikle 1400 kg/m^3 den büyük olanlar taşıyıcı hafif betonlardır. TS EN 206-1 (1997) de hafif betonu, etüv kurusu durumdaki birim ağırlığı, 800 kg/m^3 'ten büyük, 2000 kg/m^3 ten küçük olan beton olarak tarif etmiştir. Genel olarak hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı $300\text{--}1800\text{ kg/m}^3$ 'tür (Taşdemir 1982-;Yeğinobalı 1997).

2.2.3. Pomza

Fiziksel ve kimyasal etkenlere dayanıklı, gözenekli, camsı volkanik kökenli bir kayadır. Bims veya süngertaşı olarak bilinen pomza, asidik ve bazik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Asidik pomza, beyaz veya kirli beyaz renkte olup en yaygın olarak bulunan ve kullanılanıdır. Mohs Skalasına göre sertliği 5-6 olup, birim ağırlığı $0.5\text{--}1\text{ gr/cm}^3$ tür. Bazik pomza, "scoria" olarak da tanınır, kahverengimsi ve siyahımsı renkte olup, sertliği 5-6, birim ağırlığı $1\text{--}2\text{ gr/cm}^3$ 'tür.

Pomza, gözenekli yapısı, hafifliği, yüksek yalıtım sağlaması, atmosferik şartlara olağanüstü direnci ve yüksek puzolanik aktivesi nedeniyle en eski yapı malzemelerinden biridir. Fazla gözenekli olmasından dolayı ve ses geçirgenliği oldukça düşüktür. Bünyesinde kristal suyu yoktur, kimyasal olarak da %75 silis içerirler. Tüflere göre, daha yüksek oranda kapalı gözenekli yapılarından ve çok hafif olduklarından dolayı suda yüzerler. Pomzanın yaklaşık olarak %70 boşluk içermektedir. Şekil 2.7'de pomza ve gözenek yapısı görülmektedir.

Antik Yunan ve Roma dönemlerinde pomza, amfi tiyatrolar, tapınaklar, su kemerleri, hamamlar, mahzenler ve konut inşaatlarında yaygın olarak kullanılmıştır. Türkiye pomza rezervi bakımından oldukça zengindir. Araştırılmış alanlarda yaklaşık 3 milyar metreküp rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Pomza rezervi İç Anadolu Bölgesinde oldukça yoğunlaşmış, aynı zamanda Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgesinde önemli derecede pomza yataklarına rastlanmakta ve üretim faaliyetleri yapılmaktadır. Dünya pomza rezervinin 1/5'ine yakını Türkiye'dedir (Davraz 2001).



Şekil 2.7. Pomza ve gözenek yapısı

2.2.4. Perlit

Çeşitli perlit kayaçlarının renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilir. Bu bakımdan perlit göze tanımak oldukça zordur. Amorf alüminyum silikat olan ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, genleştiğinde renk tamamen beyazlaşır (Neufert 1983; Büyükçulha 1987).

Perlit cevheri ilk olarak 1836 yılında bulunmasına karşın, ancak 1946 yılından sonra çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Genleştirme işleminden sonra kazandığı niteliklerden hafiflik ve ısı yalıtıcılık özellikleri dikkate alınarak ilk kez ABD’de beton ve sıva agregası olarak uygulamaya girmiştir. Araştırma çalışmaları ise uygulamayı izleyen yıllarda başlamıştır. Rusya’da 1950’den sonra, Macaristan’da 1958’de Diğer ülkelerde ise 1950’den sonra uygulamaya girmiştir (Ujhelyi 1979). Genleştirilmiş

perlitin inşaat alanında kullanılması ikinci dünya savaşından sonra başlamıştır (Cormon 1973).

Perlitin en büyük avantajı genişletilebilme özelliğine sahip olmasıdır. Bu işlem sırasında, yüksek sıcaklıkta (750–1200°C) birkaç saniyede kayaç içindeki su, su buharına dönüşerek genişlemeye neden olur ve yumuşayan tanecikler içinde sayısız hava boşluğu oluşur. Bu boşluklar perlitin hacmini 4–30 kat arttırırken, yoğunluğunu da büyük ölçüde düşürür. Bu özelliği sayesinde, perlitten istenilen tipte malzeme kısa zamanda ve minimum enerji tüketimi ile üretilebilmektedir (Okuyucu 2005).

Perlit başlıca, inşaat, tarım ve sanayi sektörlerinde kullanılmaktadır. Dünyada perlitin %35'i sıva agregası olarak, %25'i beton agregası olarak, %23'ü filtre malzemesi yapımında, %8'i yalıtım malzemesi yapımında, %4'ü tarımda ve %5'i diğer alanlarda kullanılmaktadır (Anonim 1985b). Genleştirilmiş perlitin en büyük kullanım alanı yapı sektörüdür. Perlitin kullanım nedenleri, hafiflik, ısı ve ses yalıtımı, ateşe dayanıklılık, kimyasal etkenlerden etkilenmeme ve uygulama kolaylığı olarak sayılabilir.

Ülkemizin hafif agrega kaynakları açısından zengin oluşu ve MTA'nın raporlarında bildirilen 8 milyar ton civarındaki hafif agrega rezervlerinin (Anonim1985b) büyük bir kısmının da Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunduğu gerçeği göz önünde tutulduğunda, atıl durumda bulunan bu kaynakların beton üretiminde kullanılarak değerlendirilmesi büyük fayda sağlayacaktır.

a. Kimyasal özellikleri: Amorf alüminyum silikat olan perlitin kimyasal bileşimi, liyonit, liparit, riyodasit, kuvars-latit gibi volkanik kayalarinkine benzer. Hacminin %90–97 kadarını cam, %3-10'unu kristalleşmiş mineraller (feldspat, biyotit) oluşturur. Çoğu kez volkanik camdan meydana gelen hamuru içinde mikrolitler ve fenokristaller ile sperolitler bulunur. X ışınları analizi ile perlitlerin en çok %4 oranında serbest silis bulunduğu gösterilmiştir (Tanaçan 1993).

Perlitlerin genişleme özellikleri yönünden en önemli bileşeni %2–6 oranında içerdiği serbest sudur. 450°C'ye kadar ısıtılınca, bu suyun %80-90'ı bünyeden uzaklaşır, geri

kalan kısmı genleşme işlemindeki aktif suyu oluşturur. Genleşme 760–1200°C’ler arasında meydana gelir (Tanaçan 1993; Anonim 1985b) Perlit 1200–1300°C’lerde eriyik haline geçmesine rağmen 1500-1600°C’lerde bile hala akışkanlığı az (vizkositesi yüksek) bir malzemedir. Bu açıdan, yangına karşı da koruyucu bir malzemedir (Tanaçan 1993).

Volkanik camın fiziksel ve kimyasal karakterleri, pek çok faktörün yanında, lavın bileşimine, püskürme tipine, soğuma ve katılma hızına, lavın vizkositesindeki değişime bağlıdır. Perlit kayasının viskozitesi $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ miktarı ile orantılıdır (Anonim 1970; Cormon 1973; Anonim 1985b). Çizelge 2.3’te tipik bir perlit mineralini oluşturan bileşikler ve Çizelge 2.4’te ham perlitin fiziksel özellikleri görülmektedir (Karakoç 2004).

Çizelge 2.3. Tipik bir perlit mineralini oluşturan bileşikler

Tipik Perlit Minareli	Ağırlıkça (%)
Silisyumdioksit (SiO_2)	70-75
Aliminyumoksit (Al_2O_3)	12-20
Demirüçoksit (Fe_2O_3)	2.2-3,2
Kalsiyumoksit+Magnezyumoksit ($\text{CaO}+\text{MgO}$)	0.6-3,4
Sodyumoksit (Na_2O)	1.8-5,4
Potasyumoksit (K_2O)	3.1-5,5
Su (H_2O)	2-5

Çözünürlük Özellikleri:

- Konsantre sıcak alkali ve hidroflorik asitte çözünür.
- Konsantre mineral asitlerinde az çözünür (<%2).
- Seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az çözünür (<%0.1) (Yalgın 1983, Toydemir 1968).

b. Fiziksel özellikleri: Perlitin kayaç olarak görünümü, kompakt, ince taneli, gözenekli, gevşek, kolay kırılabilir, kum ve kumtaşı yapısında el ile ufalanabilir bir yapı görünümündedir. Taneli, konsantrik yapılı lifli, fenokristalli ve kum halinde perlit

olarak sınıflandırılabilir. Genleşmiş perlit, hafif, yumuşak, hücreli yapıda olup pomzaya benzer (Hornbastel 1961).

Çizelge 2.4. Ham perlitin fiziksel özellikleri (Karakoç 2004)

Renk	Siyah ve grinin tonları
Özgül Ağırlık	2.2-2.4 g/cm ³
Birim Hacim Ağırlık	950-2700 kg/m ³
Porozite	%90
Sertlik	5.5-7.0
Özgül Isı	0.20-0.23 kCal/kg°C
Su Emme	%20-35
Erime Noktası	1315-1390°C

Ham perlitin özellikleri:

- a. Renk: Ham perlitin rengi şeffaf açık griden camsı siyaha kadar değişir (Tanaçan 1993).
- b. Özgül ağırlık: Perlitin özgül ağırlığı 2.2–2.4 g/cm³ değerindedir (Yalgın 1983;Toydemir 1968;Tanaçan 1993).
- c. Birim Hacim Ağırlık: Ham perlitin birim hacim ağırlığı 950–2700 kg/m³ arasında değişmektedir (Tanaçan 1993).
- d. Porozite: Çok gözenekli bir yapıya sahip olan perlitin porozitesi %90'a yakındır.
- e. Sertlik: Perlitin Mohs Skalası'na göre sertliği 5.5-7.0 arasında değişmektedir (Tanaçan 1993).
- f. Özgül ısı: Perlitin özgül ısısı 0.20–0.23 kcal/kg°C değerindedir (Toydemir 1968, Yalgın 1983; Büyükçulha 1987).
- g. Su emme: Perlitin su emmesi %20–35 arasında değişmektedir (Gündüz 1998).
- h. Erime noktası: 800–1100°C arasında yumuşamaya başlayan perlitin erime noktası 1315–1390°C arasındadır (Yalgın 1983; Toydemir 1968).

2.3. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton

Hafif beton üretiminde KYB uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Kendiliğinden yerleşen hafif betonda (KYHB) en önemli sorunlar yüksek oranda toz madde

kullanılmasının tasarımda yapacağı ağırlaştırıcı etki ve hafif agregaların çok yüksek su tutma kapasitesinin tasarımda doğuracağı sıkıntılardır (Akkaya vd 2002;Dehn 2002).

Hafif agrega ve çimento hamuru arasındaki geçiş zonunda daha çok sayıda ve büyüklükte boşluklar bulunmaktadır ve mikro çatlaklar daha yaygın ve belirgindir. Silis dumanı ve uçucu kül kullanımı ile boşluk oranı azalır, geçiş bölgesi genişler, CH kristalleri ve etrenjit azalır ve CSH jeli daha yoğunlaşır. Silis dumanı ve uçucu kül kullanımı daha yoğun bir içyapının oluşmasını sağlayarak, mikro çatlakların oluşumunu ve gelişimini engeller. Çizelge 2.5'te cam esaslı olan "misapor" adlı yapay bir hafif agrega kullanarak ile yapılan KYHB tasarım ve deney sonuçları verilmektedir.

KYB' un pompalanabilirliğini araştırdıkları çalışmada, iri hafif agrega ve ince hafif agreganın beraber kullanıldığı karışımın, iri hafif agrega ve normal doğal kum kullanılarak yapılan karışıma göre kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerinin pompalanma öncesi ve sonrasında daha iyi olduğu vurgulanmaktadır (Haist *et al.* 2003).

Çizelge 2.5. Yapay hafif agregalı KYHB karışım tasarım ve deney sonuçları

Malzeme	M (kg)	V(cm ³)
Çimento	459	146
Kireç taşı tozu	205	76
Süper akışkanlaştırıcı (% 1.4)	6.4	6
Viskozite artırıcı katkı (% 0.45)	2.1	2
Hava	-	35
Su	202	202
Misapor ince	225	107
Misapor orta	180	45
Kum	472	81
Toz Hacmi	280 dm ³	
V su / V toz	0,72	
Yayıma çapı	735	
24 saatlik basınç dayanımı	35,1 KN/mm ²	
BHA	1847 kg/m ³	

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal ve yöntem kısımlarından oluşan bu bölümün, Materyal kısmında çalışmanın amacı doğrultusunda kullanılan çimento, normal agregâ, pomza agregâ, perlit agregâ, kullanılan karma suyu ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi, silis dumanı ve ayrıca kullanılan diğer malzemeler hakkında bilgi verilmektedir. Yöntem bölümünde ise agregâ özelliklerinin belirlenmesinde, üretilen beton karışımlarındaki bileşen oranlarının hesaplanmasında ve karışımların üretilmesinde takip edilen ve taze ve sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneyler ile çalışmada elde edilen bulguların ve sonuçların belirlenmesinde kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

Agregâ deneyleri, beton üretimi, taze beton deneyleri ve sertleşmiş betonun deneyleri Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik laboratuvarında yapılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin analizi Aşkale Çimento Sanayi T.A.Ş fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Silis dumanının kimyasal ve fiziksel analizleri Antalya Etibank Elektrometalürji tesislerinden temin edilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan malzemeler

3.1.1.a. Çimento

Bu çalışmada bağlayıcı madde olarak Aşkale Çimento Fabrikasının ürettiği CEM I 42,5 ve CEM II 32,5 portland çimentoları kullanılmıştır. Aşkale Çimento Fabrikasından alınan CEM I 42,5 çimentonun özellikleri Çizelge 3.1'de, CEM II 32,5'nin özellikleri ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CEM I 42.5 R çimentosunun özellikleri

Bileşen	% Oranı	
SiO ₂	20.79	
Al ₂ O ₃	5.17	
Fe ₂ O ₃	3.43	
CaO	60.29	
MgO	3.03	
SO ₃	3.12	
Na ₂ O	0.41	
K ₂ O	0.66	
Cl	0.0251	
Serbest CaO	0.34	
Çözünmeyen Kalıntı	2.47	
Kızdırma Kaybı	2.79	
Ölçülemeyen	0.32	
Özgül Ağırlık	3.13	
Özgül Yüze (cm ² /g)	3751	
0.09 mm elek üstünde kalan (%)	1	
Priz Başlangıcı (saat-dk)	2 sa-38 dk	
Priz Sonu (saat-dk)	3 sa-15 dk	
Hacim Genleşmesi (Le Chatelier, mm)	2	
Basınç Dayanımı (MPa)	2. gün	23.6
	7. gün	37.9
	28. gün	48

Çizelge 3.2. CEM II/B-M 32.5 R çimentosunun özellikleri

Bileşen	% Oranı	
SiO ₂	18.44	
Al ₂ O ₃	4.5	
Fe ₂ O ₃	3.21	
CaO	56.5	
MgO	2.57	
SO ₃	2.14	
Na ₂ O	0.17	
K ₂ O	0.53	
Cl	0.0086	
Serbest CaO	0.54	
Çözünmeyen Kalıntı	2.47	
Kızdırma Kaybı	2.79	
Ölçülemeyen	0.57	
Özgül Ağırlık	2.86	
Özgül Yüzey (cm ² /g)	4630	
0.09 mm elek üstünde kalan (%)	1.2	
Priz Başlangıcı (saat-dk)	3sa-18 dk	
Priz Sonu (saat-dk)	4 sa-18 dk	
Hacim Genleşmesi (Le Chatelier, mm)	1	
Basınç Dayanımı (MPa)	2. gün	14.9
	7. gün	27.4
	28. gün	38.5

3.1.1.b. Pomza

Bu çalışmada Erzurum Pasinler yöresi Demirdöven mevkiindeki volkanik cüruf ocağından sağlanan pomza kullanılmıştır. Pomzanın kimyasal analizi, Aşkale Çimento Sanayi T.A.Ş de yaptırılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Pomzanın kimyasal analizi

Bileşen	% Oranı
SiO ₂	69.78
Al ₂ O ₃	11.16
Fe ₂ O ₃	2.11
CaO	2.47
MgO	0.60
SO ₃	0.06
Na ₂ O	4.33
K ₂ O	2.87
CF	0.0496
Kızdırma Kaybı	4.66

Deneysel çalışmalarda kullanılan pomza, ocağın özelliklerinin tümünü yansıtacak şekilde farklı yerlerden alınmıştır. Ocaktan alınan pomza doğal durumuyla gevşek yapıda olduğundan ve küçük tane boyutunda olduğundan laboratuvarda kırma parçalama gibi mekanik işlemler uygulanmamıştır. Laboratuvarda agreganın özellikleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Araştırma Bulguları bölümünde sunulmuştur.

3.1.1.c. Perlit

Çalışmada doğal hafif agrega olarak Erzincan merkeze bağlı Molla köyünden temin edilen perlit kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan perlit agregasının fiziksel analizi Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde bulunan X-Ray Florating (XRF) adlı cihazla yapılmıştır (Şekil 3.1). (Sonuçlar Çizelge 3.1’de ve XRF sonuçları Çizelge şeklinde verilmiştir.) Ayrıca XRF cihazının orijinal sonuçları EK-1, EK-2 ve EK-3’te verilmiştir.

Bu cihaz için numune hazırlanması şu şekilde yapılmıştır. Tablet numune çok iyi öğütülmüş ve eleklerden geçirilmiş toz numunelerin preslenmesi sonucu elde edilir. Toz parçacıklarının birbirini iyi tutması için selüloz kullanılır. Numunenin preslenmeden

önce selülozla belli bir sürede mikserde karıştırılması gerekir. Burada numune hazırlama şartlarının çok önemli olduğu bilinmektedir (Demir 2004).



Şekil 3.1. XRF cihazı

Çizelge 3.4. Perlitin kimyasal özellikleri

Bileşen	Ağırlıkça Yüzdesi (%)
SiO ₂	70.7
Al ₂ O ₃	16.6
Na ₂ O	6.59
K ₂ O	2.96
MgO	1.11
CaO	0.871
Fe ₂ O ₃	0.842
Cl	0.0946
TiO ₂	0.0325
SO ₃	0.0280

3.1.1.d. Normal agrega

Deneylerde normal agrega olarak Erzurum ili sınırları içerisindeki Yağan mevkiinden dere malzemesi olan yıkanmış halde temin edilen doğal kum ve kırma çakıl agrega

kullanılmıştır. Bu agregadan alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerle malzemenin çeşitli özellikleri tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar Araştırma Bulgular bölümünde sunulmuştur.

3.1.1.e. Silis dumanı

Kullanılan silis dumanı Antalya Etibank Elektrometalürji tesisinden temin edilmiştir. Çizelge 3.5'te silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Silis dumanı karakteristik özellikleri

Kimyasal Analiz (%)	Silis Dumanı (%)	Fiziksel Özellikler	Silis Dumanı (%)
SiO ₂	79,77	Özgül yüzey (cm ² /g)	14400
Fe ₂ O ₃	1,43	Yoğunluk (g/cm ³)	-
Al ₂ O ₃	1,25		
CaO	2,06		
MgO	3,7		
Na ₂ O	1,22		
K ₂ O	1,20		
SO ₃	1,54		
Çözünmeyen Kalıntı	33,74		
Kızdırma Kaybı	5,45		

3.1.1.f. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

KYB üretiminde polikarboksilat bazı hiper akışkanlaştırıcı sınıfına giren kimyasal katkıların kullanılması tercih edilir. Bu amaçla tüm deneysel çalışmalarda Grace Exp 1028 üçüncü nesil modifiye polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Yoğunluğu 1.07~1.10 kg/dm³'dür. EN 934-2 standardına uygundur. Grace Exp 1028 yeni teknoloji ürünü olup, kendiliğinden yerleşen beton için geliştirilmiştir. Grace Exp 1028 çift etkili bir katkı olup, çimento tanecikleri üzerinde elektriksel etkileşim ve taraklanma yöntemleri ile hidrasyon işlemini başlatır ve mükemmel kendiliğinden sıkışma özelliği, su/çimento oranında oldukça yüksek bir azalma, erken yüksek dayanım imkânı, su geçirimsizlik, karbonatlaşmada azalma, betonarme betonlarında donatıya zarar vermeme gibi avantajlar sağlar.

Betondan istenilen performansa bağlı olarak; plastik beton için imento ağırlığının %0.4–1.0’i (100 kg imento için 400–1000 g) oranında, kendiliğinden sıkışan beton için imento ağırlığının %1.0-2.0’si oranında (100 kg imento için 1000-2000 g) katılması gerekir. Kıvamın ayarlanması sırasında katkının çok ysek oranda su kesme özelliği dikkate alınmalı, karışıma fazla su katılması engellenmelidir (Anonim 2006a).

3.1.1.g. Karma suyu

Beton retiminde kullanılacak suyun temiz olması ve betona olumsuz bir etki yapmaması gerekir. İçilebilir sular beton üretiminde karma suyu olarak kullanılabilir (Akman 1990). Çalışmada karma suyu olarak sıcaklığı yaklaşık 18°C olan Atatürk niversitesi içme suyu kullanılmıştır.

3.1.2. Kullanılan aygıtlar

3.1.2.a.Elekler

TS EN 933-2 (1996)’ya uyum sağlayan ve TS 1227 ISO 3310–1 (1996)’da belirtilen tüm özelliklere uyan, 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm, 2 mm ve 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı kare delikli metal tel elekler kullanılmıştır.

3.1.2.b. Betonyer

Deneylede, ELE firmasının ürettiği 60 dm³ kapasiteli, dakikada 25 devir karıştırma hızına sahip, düşey ekseninde dönen tamburlu laboratuar tipi betonyer kullanılmıştır (şekil 3.2).



Şekil 3.2. Laboratuvar tipi betonyer

3.1.2.c. Kalıplar

Basınç ve yarmada çekme dayanımları, kuru birim hacim ağırlık, boyut ölçümü, ultrases, schmitd çekiç deneyleri için 10*20 cm silindir ve eğilme dayanımı ölçümü için 7*7*28 cm prizma kalıplar kullanılmıştır.

3.1.2.d. Pres

Üretilen beton numunelerin basınç deneyleri ve yarmada çekme deneylerinde ELE marka AUTOTEST 3000 tipinde 300 ton kapasiteli, yükleme hızı otomatik ayarlanabilen hidrolik, dijital pres kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Pres

3.1.2.e. Ultrasonik hız (UPV) ölçüm cihazı

Ultrasonik hız ölçümleri, laboratuvarımızda mevcut dijital Ultrasonik hız ölçme aleti (Şekil 3.4) ile tespit edilmiştir. Ultrasonik hızların ölçümünde direk ölçüm yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Ultrasonik hız ölçme aleti

3.1.2.f. Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğini ölçen cihazlar

Önceki bölümlerde bahsedilen çökme hunisi ve tablası, J-halkası, V-hunisi ve L-kutusu kullanılmıştır.

3.1.2.g. Diğer alet ve gereçler

Silindir beton numuneleri başlıklaştırmak için başlıklaama aparatı, beton numunelerin buhar kürü kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Buhar kürü

3.2. Yöntem

3.2.1. Deney programı

Deney Grubu	: Atmosferik Buhar K�r
Hafif Agregalar	: Normal, Pomza, Perlit [3 grup]
Çimento Çimento Dozajı	: 350 kg/m ³
Mekanik Deneyler	: Basınç-Yarmada Çekme - Eğilme [2 grup]
Diğer Deneyler	: Birim Ağırlık, Ultrases, Schmidt Çekici, Boyut
Ölçümleri	
Deney Zamanları [3 grup]	: Atmosferik Buhar K�r� Çevrimleri ve Karakteristikleri
Toplam Numune	: 3*2*2*3*3=108 numune
Tipleri	: CEM I 42,5-CEM II 32,5 [2 grup]

Çizelge 3.6.Atmosferik buhar kürü çevrimleri ve karakteristikleri

Uygulanan Buhar Kürü Çevrimleri	Ön Bekleme Dönemi		Isıtma Dönemi		Isı Emdirme Dönemi		Soğutma Dönemi		Toplam Buhar Kürü Çevrimi
	Sıcaklık °C	Zaman (saat)	Sıcaklık °C	Zaman (saat)	Sıcaklık °C	Zaman (saat)	Sıcaklık °C	Zaman (saat)	Zaman (saat)
65 ° C 24 saat	25	4	25-70	4	70	24	70-32	4,5	36 sa 30 dak
70 ° C 24 saat	27	4	27-75	4	75	24	75-32	4,5	36 sa 30 dak
75 ° C 24 saat	29	4	29-80	4,5	80	24	80-32	5	37 sa 30 dak

3.2.2. Agrega deneylerinde uygulanan yöntemler

Deneylerde kullanılmak üzere laboratuara getirilen normal agrega ve pomza için agrega deneyleri yapmak üzere numune alınmasında TS 1114 EN 13055-1 (2004)'de belirtilen çeyrekleme metodu kullanılmıştır. Agrega deneyleri için, ayrılan numuneler üzerinde her deney üçer defa yapılmış ve bulunan sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu değerler Araştırma Bulguları Bölümünde verilmiştir. Bu çalışmada hem hafif hem de normal agrega kullanıldığı için agrega deneyleri her iki tür agrega için de yapılmıştır.

Pomza, perlit ve normal agreganın tane büyüklüğü dağılımı TS 3530 EN 933-1 (1999)'a uyum sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Deneylerde TS EN 1227 ISO 3310 (1996)'ye uygun toplama kabı, 0.25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm 4 mm, 8 mm, 16 mm göz açıklıklı kare delikli metal tel elekler kullanılmıştır.

Birim ağırlık deneyi TS 3529 (1980)'a göre yapılmıştır. Bu deneylerde standart birim ağırlık kabı kullanılmıştır. Hafif agregalar darbe etkisine dayanıksız olduklarından pomza için sadece gevşek birim ağırlık deneyi yapılmıştır.

Organik madde tayini deneyi TS EN 1744-1 (2000)'e göre yapılmıştır. Bu deneyde %3'lük NaOH (Sodyum hidroksit) çözeltisi içinde numune 24 saat bekletildikten sonra gözlem yapılmıştır.

İnce madde oranı tayini deneyi için TS 3527 (1980), özgül ağırlık ve su emme deneyleri için ise TS EN 1097-6 (2002) da belirtilen kurallara uyulmuştur.

Hafif agregalar için beton karışım hesaplarında kullanılan özgül ağırlık faktörü deneyi, agreganın kullanıldığı andaki nem durumuna göre, her bir tane sınıfı için ayrı ayrı olmak üzere TS 2511 (1977) ve TS 3234 (1978)'e göre piknometre yöntemi ile belirlenmiştir.

3.2.3. Beton karışım hesapları

Tüm karışımlarda çimento dozajı 400 kg/m^3 , Silis dumanı 150 kg/m^3 ve katkı dozajı (çimento ağırlığına göre) %1,5 olarak seçilmiştir. Beton karışım hesabında esas olarak değişken su miktarları ile benzer kıvamda beton üretimi (çökme – yayılma > 60cm ve 50 cm'ye yayılma süresi < 6 s) amaçlanmıştır.

Bir ön kabul yapılarak hava içeriği %2 seçilebilir. Bu değer donma çözülme riski yüksekse, hava sürükleyici katkı kullanımıyla %8-10'a kadar artırılabilir. Taze betonda hava miktarı arttıkça, plastik viskozite azalır. Roshavelov (2002), bunun sebebinin hava boşluklarının çimento tanecikleri arasında negatif yüklü köprüler oluşturması ile açıklanmıştır.

Billberg (2002)'e göre, kendiliğinden yerleşen betonda hava içeriği %1-1,5 dolaylarında olmalıdır. Hava sürüklenme durumunda %4-6 arasında olması uygundur. Su *et al.* (2001), yaptığı çalışmalarda kendiliğinden yerleşen betonda hava içeriğinin %1,5 ile 4,5 arasında değerler aldığını rapor etmiştir. Aşırı hava sürükleyen VAK kullanılması halinde, karışımda hava itici kimyasal katkıları da kullanılabilir (Shi *et al.* 2002).

İri agrega hacmi kuru yüzey doygun olarak tanımlanmalıdır. Tüm agrega hacminin %40-60'ı kadar olması uygundur. Raghavan *et al.* (2002)'e göre iri agrega oranı toplam

agrega miktarının %46'sına indirilmelidir. %60'ın üzerine çıkarsa agregalar arası iç sürtünme hızla artar ve beton donatılar arasından geçerken bloke olma tehlikesi belirir. Optimum agrega içeriği iki parametreye bağlıdır:

İri agrega en büyük çapı azaldıkça iri agrega oranı arttırılabilir. Kırma taş veya çakıl kullanılması düşünülüyorsa, çakıl tercih edilmesi halinde iri agrega hacmi göreceli olarak arttırılabilir.

Çizelge 3.7. Normal agrega kullanılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen beton ön karışım oranları

BİLEŞENLER(kg/m ³)	Çimento Tipi		12 dm ³ karışım(gr)
	CEM I 42,5	CEM II 32,5	
Çimento(kg)	400	400	4800
Mineral Katkı(kg)	150	150	1800
Su(kg)	308	308	3696
0-2(kg)	643	643	7716
2-4(kg)	256	256	3072
4-8(kg)	196	196	2352
8-16(kg)	196	196	2352
Katkı (%1,5)	8,25	8,25	99
Yaş Beton Birim Ağırlığı(kg)	2158	2158	25887

Çizelge 3.8. Perlit kullanılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen beton ön karışım oranları

BİLEŞENLER(kg/m ³)	Çimento Tipi		12 dm ³ karışım(gr)
	CEM I 42,5	CEM II 32,5	
Çimento(kg)	400	400	4800
Mineral Katkı(kg)	150	150	1800
Su(kg)	379	379	4548
0-2(kg)	646	646	7752
2-4(kg)	328	328	3936
4-8(kg)	155	155	1860
8-16(kg)	-	-	-
Katkı (%1,5)	8,25	8,25	99
Yaş Beton Birim Ağırlığı(kg)	2066	2066	24795

Çizelge 3.9. Pomza kullanılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen beton ön karışım oranları

Bileşenler(kg/m ³)	Çimento Tipi		12 dm ³ Karışım(kg)
	CEM I 42,5	CEM II 32,5	
Çimento(kg)	400	400	4800
Mineral Katkı(kg)	150	150	1800
Su(kg)	503	503	6036
0-2(kg)	290	290	3480
2-4(kg)	81	81	972
4-8(kg)	51	51	612
8-16(kg)	48	48	576
Katkı (%1,5)	8,25	8,25	99
Yaş Beton Birim Ağırlığı(kg)	1531	1531	18375

3.2.4. Beton üretimi

Beton üretiminde 60 dm³ hacimli laboratuvar tipi betonyer kullanılmıştır. Her bir karışım türünde serbest basınç, yarmadan çekme, kuru birim ağırlık, schmidt çekici, boyut ölçümü ve ultrases hız ölçüm deneylerinde silindir ve prizma numuneler kullanılmıştır. Beton bileşenleri tartılırken çimento, agrega ve su için 5 g, kimyasal katkıları için 1 g hassasiyetli terazi kullanılmıştır. Tartılan malzemelerin homojen karışımı için şu yöntem izlenmiştir:

Beton mikseri ilk karışım malzemesi konulmadan önce nemlendirilmiş, öncelikle tüm agregalar karıştırılmış, ardından hesaplanan su miktarının belli bir kısmı (1/3'ü) ilave edilerek 1 dakika karıştırılmıştır. Karışımlarda ön ıslatma için miksere konulan su miktarı hafif agrega oranına göre ayarlanmıştır. Ön ıslatma işleminden sonra miksere çimento ve toz malzemeler eklenmiştir. Homojen karışım elde edildikten sonra kalan su, mikser çalışır durumda iken karışıma ilave edilmiştir. En son olarak akışkanlaştırıcı katkı karışıma eklenmiştir. Gözle yapılan muayenelerde karışımın kendiliğinden yerleşebilir kıvama geldiğine karar verinceye kadar karıştırma işlemi sürdürülmüştür.

Bu sürenin 3 dakikanın altında olmamasına dikkat edilmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandığında bir miktar taze beton mikser içinden alınarak yayılma deneyi yapılmıştır. Ardından diğer taze beton deneyleri yapılmış ve bu karışımlardan numune alınmıştır. Numune alırken herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmamış, taze beton serbest

düşüşle kalıba yerleştirilmiştir (Şekil 3.6). Kalıplar doldurulurken sıkışık hava boşluğunu azaltmak için kalıplar iki tabaka halinde doldurulmuş ve ikinci tabaka doldurulmadan önce bir süre beklenmiştir. Tüm numunelerde yüzey tesviye işlemi yapılmıştır.

3.2.5. Numunelere buhar kürü uygulaması

Laboratuvar ortamında dökülen numuneler 4 saat ön bekleme süresi, 4 saat ısıtma süresi, 24 saat ısı emdirme süresi uygulandıktan sonra 4,5 saatlik soğutma süresinden sonra kür uygulaması tamamlanmış ve kalıplardan çıkarılan beton numunelerine mekanik özelliklerin tespiti için çeşitli deneyler yapılmıştır. Sertleşmiş beton deney sonuçları araştırma bulguları kısmında verilmiştir.

3.2.6. Taze beton deneyleri

Her karışım için yayılma çapı, 50 cm çapa ulaşma süresi (T50 süresi), 1 saat sonra yayılma çapı, V-hunisi akış süresi, L-kutusu oranı, J-halkası, hava sıcaklığı, taze beton birim hacim ağırlığı ölçülmüştür. Elde edilen değerler taze beton deney sonuçları bölümünde verilmiştir. Taze beton deneyleri yapılırken izlenen yöntemler aşağıda açıklanmaktadır.

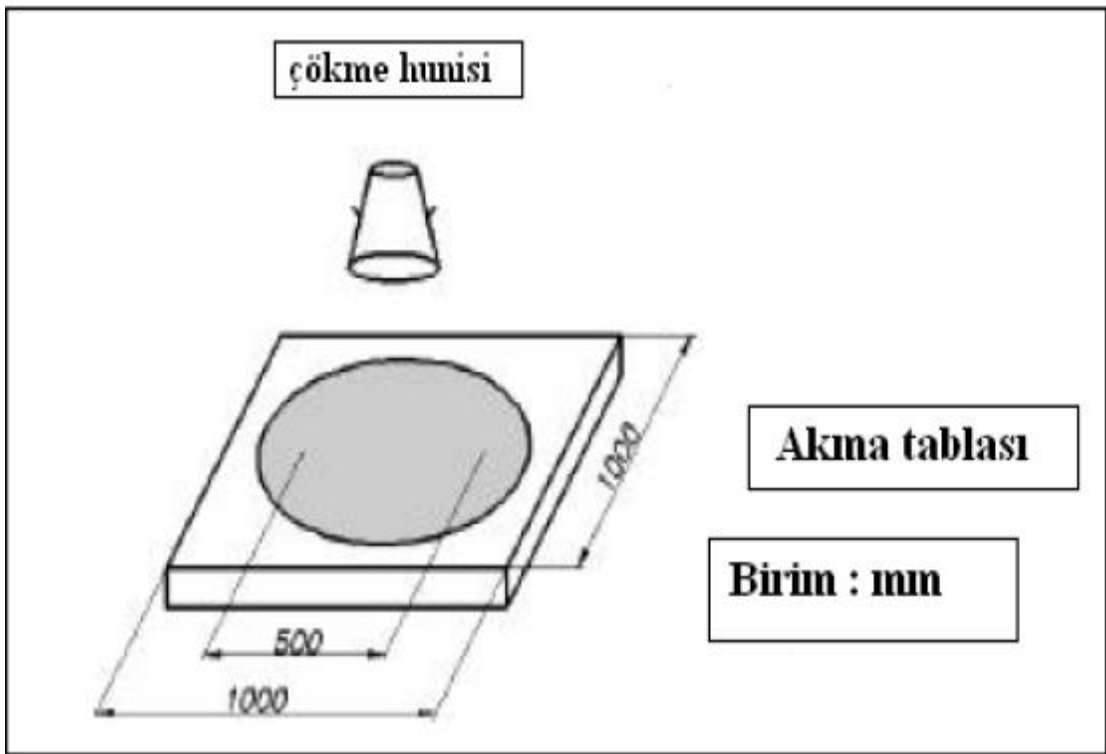


Şekil 3.6. Beton mikserinden numune alınması ve kalıpların KYHB ile doldurulması

3.2.6.a. Yayılma deneyi ve T50 süresi

Yayılma deneyi ve 50 cm çapa ulaşma süresi EFNARC (2002), tarafından hazırlanan standarda uyum sağlayacak şekilde yapılmıştır. Şekil 3.7’de görülen standart çökme hunisi kullanılmıştır. Deney yapılmadan ön hazırlık olarak huni ve yayılma tablası nemli bir bezle ıslatılmış, kesik koni şeklindeki standart çökme hunisi yatay yüzeydeki yayılma tablasının merkezine yerleştirilmiş ve betonla doldurulmuştur. KYB’ da sıkıştırma enerjisine ve vibrasyona ihtiyaç olmadığı için, standart şişleme yapılmamış ve huni bir kap vasıtasıyla beton serbest düşürülerek doldurulmuştur. Huninin hidrostatik basınç etkisiyle yukarı kalkmasını ve betonun sızmasını engellemek için doldurma sırasında huni oturtulduğu yüzeye iyice bastırılmıştır. Huni, doldurulduktan sonra yukarı kaldırılarak betonun yayılmasının tamamlaması beklenmiştir (Şekil 3.9). Viskozitesi yüksek karışımlarda yayılmanın tamamlanması için birkaç dakika beklemek gerekebilir (Khayat 1995a). Yayılma durunca birbirine dik iki çapın uzunluğu ölçülerek deney tamamlanmıştır (Ferraris 1999). Ölçülen bu iki çap arasındaki fark 5 em’den fazla olduğunda deney tekrarlanmıştır (Aggoun *et al.* 2002) (Şekil 3.10). Sonuçlar araştırma bulguları ve sonuç bölümünde verilmiştir.

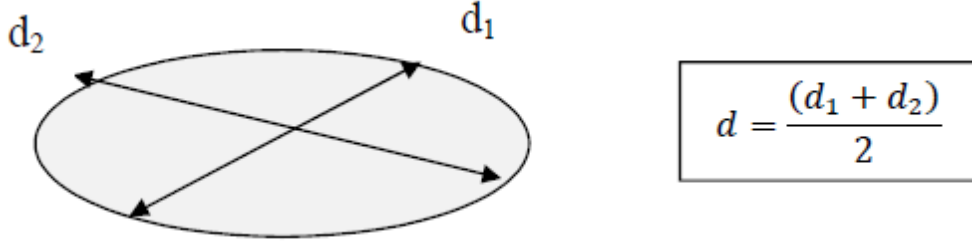
Bu deneyden, Kendiliğinden Yerleşen Betonun donatılar arasından geçme kabiliyeti hakkında bilgi elde edilememesine rağmen, ayrışma direnci hakkında bir fikir vermektedir. Herhangi engelleme olmaksızın tamamen serbest akış, pratikte betonarme yapılarda betonun nasıl davranacağı hakkında belirleyici olup olmayacağı tartışılabilir, fakat bu deneyin şantiyede betonun kıvamının belirlenmesinde kullanılması çok yararlı olacaktır.



Şekil 3.7. Çökme sonrası yayılma deney düzeneği



Şekil 3.8. Çökme sonrası yayılma deneyinin yapılması



Şekil 3.9.Yayılma çapının ölçülmesi

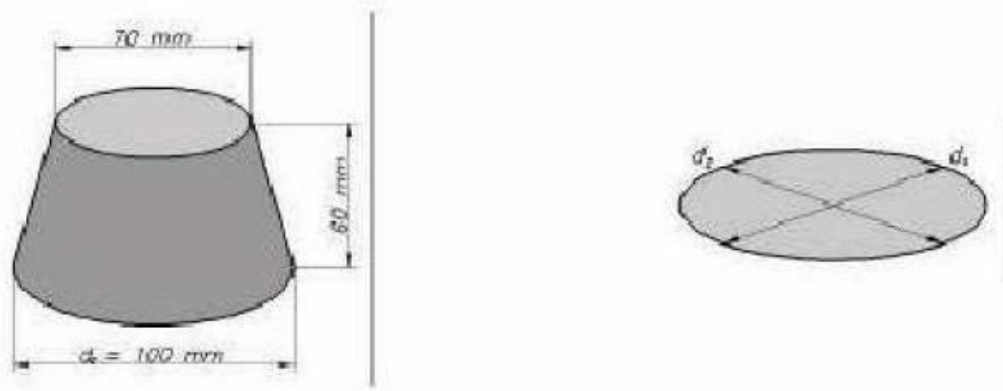
Yayılma deneyinde, betonun çökerek yayılma hareketini devam ettirmesi, eşik kayma gerilmesi değerini aşmasına bağlıdır. Betonun eşik kayma gerilmesinin düşük olması, beton kendi ağırlığı ile çöküp yayılmasına ve eşik kayma gerilmesiyle kendi ağırlığının oluşturduğu yayılma süresince giderek düşen gerilme eşitlenmesi yayılmanın durmasına neden olacaktır. Bu nedenle nihai yayılma deneyi eşik kayma gerilmesiyle ilişkilendirilebilir.

Yayılma çapının yanı sıra, Kendiliğinden Yerleşen Taze betonun 50cm çapa yayılma süresi de kendiliğinden yerleşebilirliği kontrol etmekte yararlı olmaktadır. Bunun için, yayılma çapı ilk anda 20cm (koninin taban çapı) olup bu çap ve 50cm çapı önceden tablaya işaretlenmiştir. Çökme hunisi betonla doldurulup, düzleme dik olarak kaldırılmıştır. Kaldırma anından betonun 50cm'ye ulaşma anına kadar geçen süre ölçülmüş ve (Şekil 3.11). Bu değer ile taze betonun akış hızı belirlenmiş, ayrıca plastik viskozite ile ilişkilendirilmiştir. Daha düşük akış süresi daha yüksek akışkanlığı gösterir. 50 cm çap uzunluğuna yayılma süresi T50 olarak adlandırılır.

KYB' un üretiminde harç reolojisi de önemli bir etkidir. Harçta uygulanan yayılma deneyleri mevcuttur. Harç için Şekil 3.11'da görülen "mini slump konisi" olarak adlandırılan aparat kullanılmaktadır. Domone and Jin (1999), harçta yayılma çapı ile eşik kayma gerilmesi arasındaki ilişkiyi incelemiş ve güçlü bir ilişki olduğunu saptamıştır.



Şekil 3.10. Yayılma deneyinde kullanılan huni, 50 cm'lik çap işaretli tabla



Şekil 3.11. Harç için mini - slump aparatı

3.2.6.b. V-hunisi akış süresi deneyi

Deney, EFNARC (2002) standardına uygun 5x5 cm orifis açıklıklı, 10 litre kapasiteli V şekilli huni kullanılarak yapılmıştır. Huninin doldurulması sırasında taze betona herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmamıştır (Şekil 3.12). Huniden taze betonun boşalma süresi ölçülerek V-hunisi süresi tespit edilmiştir. V-hunisi akış süresi deneyi yapıldıktan hemen sonra V-hunisi yıkanmadan yeniden taze betonla doldurulmuş ve 5 dakika bekletilerek deney tekrarlanmış ve statik ayrışma direnci ölçülmüştür. Eğer taze beton yeterli stabiliteye sahip değilse, ayrışma meydana gelecektir.. İri agrega çökelerek bloke olacaktır. 5 dakika sonunda orifis ağzı açılarak 2. akış süresi belirlenir. İlk andaki

akış süresine göre 3 saniyeden fazla akış süresi uzamışsa bu durum statik ayrışma olduğuna işaret eder. Sonuçlar araştırma bulguları ve sonuç bölümünde sunulmuştur.



Şekil 3.12. V-hunisi deneyinin yapılışı

3.2.6.c. L-kutusu deneyi

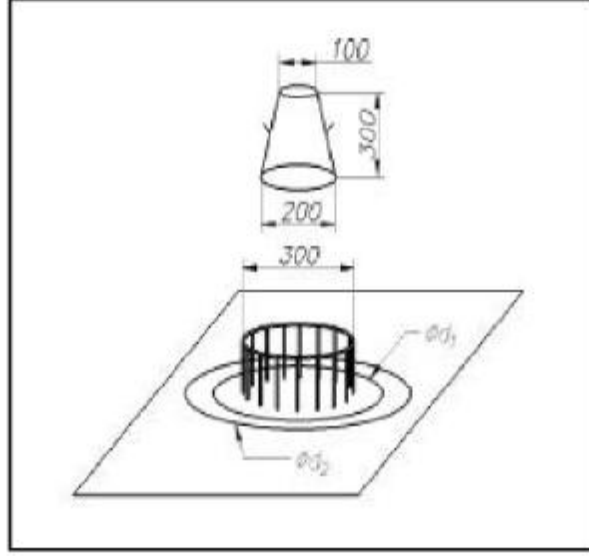
Yayıma ve V-hunisi deneyleri gibi EFNARC (2002) standartlarına uygun olarak yaptırılan L-kutusu kullanılmıştır. L-kutusunun dik konumdaki haznesi taze betonla doldurulmuş kapağı açılarak dik haznedeki taze betonun donatıyı temsil eden engellerden geçip yatay konumdaki hazneyi doldurması beklenmiştir. Taze betonun hareketi sonlandığında donatıların başında ve yatay kalıp ucundaki beton yükseklikleri ölçülmüştür. Bu yükseklikler arası oran (h_2/h_1) hesaplanmıştır. Bu değer L-kutusu oranı (bloklaşma oranı) olarak adlandırılır (Şekil 3.13). Elde edilen sonuçlar araştırma bulguları ve sonuç bölümünde sunulmuştur.



Şekil 3.13. L-kutusu deneyinin yapılışı

3.2.6.d. J -Halkası deneyi

Yayılma tablasının ortasına standartlara uygun olarak yaptırılmış olan J-halkası, onun içerisine de yayılma deney düzeneğinde kullanılan çökme hunisi yerleştirilmiştir. İçi herhangi bir sıkıştırma işlemi olmadan taze beton doldurulan yayılma hunisi oturduğu düzleme dik olarak kaldırıldığında J-halkasından geçen beton geçen betonun yüksekliği ile halkanın merkezindeki beton yüksekliği ölçülerek, aradaki fark olan J-halkası değeri belirlenmiştir. Deney yapılırken yayılma tablasının düz ve hafif nemli olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.14, Şekil 3.15). Sonuçlar araştırma bulgular ve sonuç bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.14. J-Halkası deney düzeneği



Şekil 3.15. J-halkası deneyinin yapılışı

3.2.6.e. Diğer taze beton deneyleri

Deney sonuçlarındaki değişkenliklerin tam olarak tespit edilmesi amacıyla, yukarıda sözü edilen kendiliğinden yerleşen taze beton deneylerinin yanı sıra birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Taze betonun birim ağırlığının bulunmasında ise hacmi belirli bir kap kullanılmıştır. Taze beton bu kaba doldurulduktan sonra herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan tartılmıştır. Kabın darası bu ağırlıktan düşülerek betonun ağırlığı bulunmuş daha sonra bu ağırlık da kabın hacmine bölünerek birim ağırlık değeri tespit edilmiştir. Sonuçlar araştırma bulgular ve sonuç bölümünde sunulmuştur.

3.2.7. Sertleşmiş beton deneyleri

Tüm karışımların 10*20 cm ebatlarındaki silindir numuneler ve 7*7*28 cm ebatlarındaki numuneler üzerinde 36,5 saatlik buhar kürü uygulamasından sonra basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları, eğilme dayanımları, kuru birim hacim ağırlıkları (KBHA), schmidt çekici, boyut ölçümleri, ultrases ölçüm deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerdeki detaylar aşağıda özetlenmiştir.

3.2.7.a. Basınç dayanımı deney yöntemi

Serbest basınç deneyi TS EN 12390–3 (2002) standardına uygun olacak şekilde yapılmıştır. ELE marka, Autotest 3000 model, 300 ton kapasiteli, yüksekliği farklı numune boyutlarına göre ayarlanabilen hidrolik beton presi kullanılmıştır (Şekil 3.16). Numuneler tüm deneyler için 10x20 cm silindir şeklindedir. Yükleme hızı, standartlar içinde kalması bakımından saniyede 240 kg olacak şekilde ayarlanmıştır. Silindir numuneler basınç dayanımına tabi tutulmadan önce basınç yükünün numuneye düzgün dağılması için kükürtle başlıklaşmışlardır. Numuneler balıklandıktan en az iki saat sonra deneye tabi tutulmuştur. Basınç dayanımı her bir deney için kırılan üç numunenin kırılma yükünün aritmetik ortalaması alınarak aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_b = P/A$$

$$\sigma_b = \text{Basınç dayanımı (kg/cm}^2\text{)}$$

$$P = \text{Kırılma yükü (kg)}$$

$$A = \text{Numunenin kesit alanı (cm}^2\text{)}$$

3.2.7.b. Yarmada çekme dayanımı yöntemi

Bu çalışma da silindir şeklindeki beton numunelerin çekme dayanımlarının araştırılması TS 12390–6 (2002) ve ASTM C 496 (1998)'e göre yapılmıştır. Bu deney “Silindir Yarma Deneyi” olarak adlandırılır. Beton numunelerin çekme dayanımları ELE marka 300 tonluk hidrolik dijital presle belirlenmiştir. Numuneler 10x20 cm boyutlarında silindir şeklindedir. Numuneler eksene göre simetrik iki doğrultuda çizilerek, bu çizgileri ortalayacak şekilde özel olarak hazırlanan 2x20x200 mm boyutunda çitalar yerleştirilerek numuneye orta noktasından çizgisel yük uygulanmıştır (Şekil 3.16).

Numunelerin yükleme hızı 240 kg/sn olarak alınmıştır. Sonuçlar, üç numunenin ortalaması olarak alınarak, yarmada çekme dayanımı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$\sigma_{y\check{c}} = \frac{P}{\pi * d * h / 2}$$

$\sigma_{y\check{c}}$ = Yarmadan- çekme dayımı (kg/cm²)

P= Kırılma yükü (kg)

h= Silindir numunenin boyu (cm)

d= Silindir numunenin çapı (cm)



Şekil 3.16. Serbest basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri

3.2.7.c. Eğilme dayanımı yöntemi

Numunelerin eğilme dayanımlarının hesaplanmasında TS EN12390-5'deki yöntemler göz önünde bulundurulmuştur. Yükleme hızı 20 kg/s sabit gerilme artış hızı sağlanacak şekilde ayarlandı. Yük, darbe etkisi oluşturulmadan, seçilen hız $\pm\%1$ sapma sınırları içerisinde sağlanarak, numune kırılıncaya kadar, sabit hızda arttırılmak suretiyle uygulandı.

3.2.7.d. Kuru birim ağırlık tayini yöntemi

Beton numunelerin birim ağırlıkları, 36,5 saatlik buhar kürü uygulaması sonucunda belirlenmiştir. Numuneler buhar küründen çıkartıldıktan sonra birim ağırlıkları tespit

edilmiştir. Numunelerin kuru birim ağırlığı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır. Sonuçlar araştırma bulguları ve sonuç bölümünde açıklanmıştır.

$$K_B = \frac{W_K}{V}$$

K_B = Numunenin kuru birim ağırlığı (kg/m^3)

W_K = numunenin 24 saat $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuş ağırlığı (kg)

V = Numunenin hacmi (m^3)

3.2.7.e. Schmidt çekici yöntemi

Yapı elemanı üzerinde doğrudan yapılan deneyle taze betondan alınan deney numunelerinden bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında, deney numunelerinin sıkıştırma ve kür şartları, yönünden temsil ettikleri yapıya nazaran daima az veya çok bir farklılık göstermeleri ve çok zaman kompozisyon farklılıklarının da oluşması nedeniyle yerindeki beton mukavemetini tam olarak temsil edememektedirler. Buna karşılık deney çekici ile yapının daha geniş kısımları üzerinde ve çok kısa zaman içinde, çok sayıda ölçüm yaparak yapının farklı kısımları arasındaki sapmaları tayin etmek mümkün olmaktadır. Bu deney metodunun tahribatsız olması nedeniyle çimento prizinden sonraki kür işleminin devam etmesi de mümkün olmaktadır. Deney numuneleri üzerinde beton çekici yardımıyla çok sayıda ölçüm alınarak ve çekiç deneyleri sonunda bu numunelerin basınç dayanımları tayin edilerek geri sıçrama numarası ile beton basınç dayanımı arasında gerekli korelasyon sağlanır.

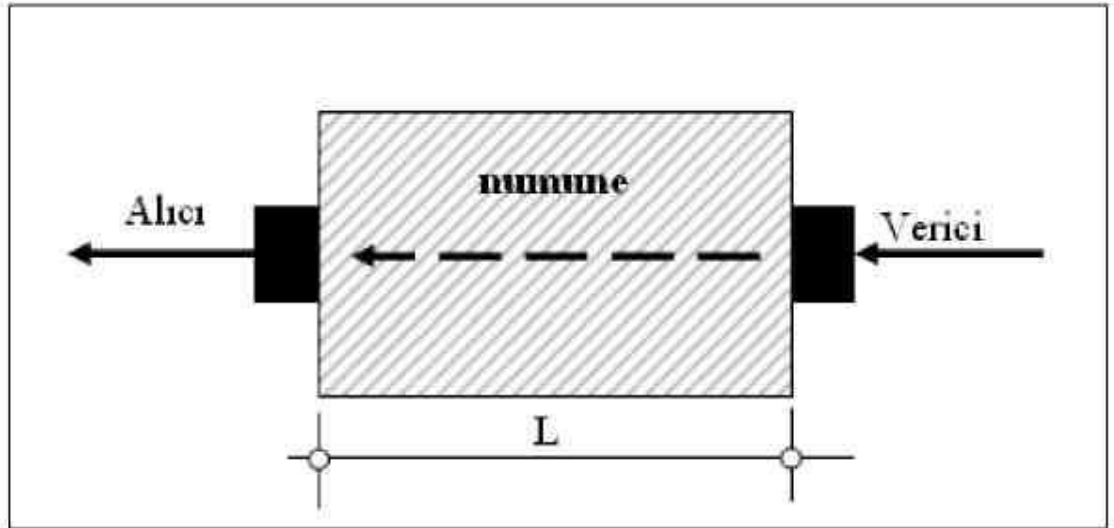
3.2.7.f. Ultra ses (UPV) ölçüm metodu ile beton kalitesinin tayini yöntemi

Ultra ses ölçüm yöntemi ile beton kalite tayini, kalınlığı bilinen bir malzeme içerisinde geçirilen akustik dalga enerjisinin, vericiden, alıcıya gidinceye kadar geçen zamanın ölçülmesini kapsar. (Şekil 3.17). Yol ve zaman bilindiğinden, alınan yol, dalganın geçiş zamanına (sn), bölünerek dalga hızı hesaplanır (m/sn). Bu dalga hızı ölçüm yapılan malzemenin dinamik elastik modülü ile orantılıdır. Belirli bir enerjide üretilen dalgalar geçtiği ortamın durumuna göre enerjisini kaybederek diğer uca ulaşır. Demirboğa vd (2004) ve Topçu (2006), ölçülen dalga hızlarına göre; UPV dalga hızları, $> 4500 \text{ m/s}$

ise mükemmel, 3600–4500 m/s ise çok iyi, 3000–3600 m/s ise iyi, 2000–3000 m/s ise orta, < 2000 m/s ise kötü kaliteli bir betonu işaret ettiğini belirtmişlerdir.

Bu yöntem, pek çok dış faktörlerden etkilenir. Bu açıdan, çalışmayı yapan operatörün tecrübeli ve dikkatli olması, sonuçların sıhhatli olması bakımından önemlidir. Ultrasonik hızların değerleri, betonarme donatılar, beton çatlakları, betonun nem durumu gibi faktörlerden etkilenecektir. Beton yapının durumunun belirlenmesinde, yanlışlıkların önüne geçmek için, bütün bunlar göz önüne alınmalıdır (Long *et al.* 2001). Ultrasonik hızların ölçümünde direk ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Ölçümler, 24 saat oda sıcaklığında bekletilen yarı doymun konuma getirilmiş numuneler üzerinde yapıldı. Ultrasonik hız ölçümleri yapılmadan önce, numunenin ölçüm yapılacak başlıkları düzeltilerek temizlenmiştir.

Okumaların daha sağlıklı olabilmesi için test aletinin başlıkları ultrason jeli sürülmüş ve her bir numune için en üç okuma yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Ultrasonik hız ölçümleri ASTM C 597'e göre yapılmıştır, elde edilen bulgular Bölüm 4'de verilmiştir.



Şekil 3.17. UPV ölçüm şeması

3.2.8. Bulguların tartışılması ve sonuçların belirlenmesinde kullanılan yöntem

Kendiliğinden yerleşen taze beton deneylerinden elde edilecek sonuçların yorumlanmasında çeşitli araştırmacıların farklı görüşleri mevcut olup, önerilen işlenebilirlik sınır değerleri EFNARC komitesi (2002), tarafından Çizelge 3.10'da verilmiştir. Deney aparatlarındaki modifikasyonlar (L ve U-kutularında donatı aralıkları, V-hunisi çıkış ağzı uzunluğu) deney sonuçları etkileneceğinden bu tavsiyeler EFNARC Komitesi tarafından önerilen standart boyutlardaki aparatlar için geçerlidir.

Çizelge 3.10. Tavsiye edilen KYB deneyleri ve sınır değerleri

Araştırmacı	Yayılma Çapı (cm)	V-Hunisi akış süresi (s)	T ₅₀ (s)
Ouchi (1999)	60-72	8-12	-
Tomosawa vd. (1998)	50-75	7-20	-
Skarendahl&Rise (1999)	60-70	-	-
Dehn vd. (2000)	>65	-	-
Dowson (2002)	65-80	-	<3
Sağlam (1999)	60-70	10	-
Shoya vd (1999)	65-75	10	-

Laboratuar veya sahada yapılan kendiliğinden yerleşebilirlik deney sonuçlarının, verilen sınır değerlerin altında kalması veya üstüne çıkması hallerinde tahmini etki ve bu sonuçları sınır değerler arasına çekmek için yapılması gerekenler, aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Karışım suyu arttırılmalı.
2. Hamur hacmi arttırılmalı.
3. Akışkanlaştırıcı dozajı arttırılmalı.
4. En büyük agrega çapı azaltılmalı

Bunlardan hangisinin kullanılacağına seçimi Çizelge 3.11'den yan etkisi en az olanın belirlenmesiyle yapılmalıdır. En az yan etkisi olanın akışkanlaştırıcı dozajını arttırmak olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada işlenebilirlik deneyleri dışındaki deneylerin sonuçlarının yorumlanmasında en güvenilir ve güncel yöntemlerden biri olan "Karşılaştırma

yöntemi” ile yapılmıştır. Bir sonraki bölümde deneylerden elde edilen sonuçlar verilmekte ve detaylı bir şekilde tartışılmaktadır.

Çizelge 3.11. Sınır değerlerin üstündeki değerler için sorunun belirlenmesi ve etki takip çizelgesi.

	Metot	Birim	Alt sınır değer		Tahmini etki
1	Çökme- yayılma	mm	750	b	Viskozite çok düşük
				d	Ayrışma
2	T ₅₀ cm süresi	sn	5	a	Viskozite çok yüksek
				c	
3	J-halkası	mm		b	Viskozite çok düşük
				d	Ayrışma
4	V-hunisi	sn	12	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değer çok yüksek
				f	Bloke olma riski
5	5 dk sonra V-hunisi	sn	3	d	Ayrışma
				e	Hızlı işlenebilirlik kaybı
				f	Bloke olma riski
6	L-kutusu		1.0	g	Hatalı sonuç
7	U-kutusu	mm	30	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değer çok yüksek
				f	Bloke olma riski
8	GTM Stabilite deneyi	%	15	d	Ayrışma

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde agrega ve beton deneylerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar çizelge ve şekiller ile desteklenerek daha da anlaşılır hale getirilmiş, ilgili standartlardaki veriler de eklenerek kıyaslama imkânı sağlanmıştır. Materyal ve Yöntem bölümünde anlatıldığı şekliyle ve deney programında tasarlandığı gibi sertleşmiş beton deneyleri yapılmış ve bulunan sonuçlar aşağıda basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı, ultrason hızı, birim ağırlık ve Schmidt çekici gibi başlıklar altında ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

4.1. Taze Beton Deneyler Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen beton tasarımında, sertleşmiş beton özellikleri kadar taze beton özellikleri de önemlidir. Genel anlamda kendiliğinden yerleşen betonların taze haldeki özellikleri ne kadar iyi olursa, sertleşmiş beton özellikleri de o derece iyi olması beklenmektedir. Taze beton deneyleri ile ilgili deney sonuçları ve değerlendirmeleri bölümünde izlenebilirliğin tanımlama ölçütleri olan KYB'nin doldurma yeteneği, geçebilme yeteneği ve ayrışmaya karşı direnci incelenmiştir.

4.1.1. Yaş birim ağırlıkla ilgili sonuçlar

Bütün sıcaklıkların karışım oranları aynı olduğu için bütün yaş birim ağırlıklar Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Çizelgeden görüleceği gibi CEM II-32.5 tipi çimento ile üretilen betonların birim ağırlıkları CEM I-42.5 ile üretilen betonların birim ağırlığından daha az olmaktadır. Agregaların birim ağırlığındaki farklılıktan dolayı pomza ile üretilen betonların yaş birim ağırlığı perlit ile üretilen betonlardan, perlit ile üretilen betonların yaş birim ağırlığı ise normal agrega ile üretilen betonların yaş birim ağırlığından daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Ortalama yaş birim ağırlık deney sonuçları (g/cm³)

	CEM II 32.5	CEM I 42.5
Normal	2,18	2,19
Perlit	1,83	1,95
Pomza	1,21	1,25

4.1.2. Yayılma çapı ve 50 cm çapa yayılma süresi ile ilgili sonuçlar

Yayılma çapı ve 50 cm çapa sayılma süresi ile ilgili sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yayılma çapı ve 50 cm çapa yayılma süresi ile ilgili sonuçlar

	Normal			Perlit			Pomza		
	T50 Süresi	$d=(d_1+d_2)/2$	T Son Süresi (Max. Yayılma Süresi)	T50 Süresi	$d=(d_1+d_2)/2$	T Son Süresi (Max. Yayılma Süresi)	T50 Süresi	$d=(d_1+d_2)/2$	T Son Süresi (Max. Yayılma Süresi)
CEM I 42,5	3 sn	74 cm	30 sn	4 sn	72 cm	30 sn	5 sn	72 cm	45 sn
CEM II 32,5	5 sn	70 cm	41 sn	5 sn	71 cm	35 sn	4 sn	75 cm	46 sn

Çizelge 4.2’de verilen deney sonuçlarına göre agrega tipi, agrega gradasyonu ve akışkanlaştırıcı katkı oranı sabit tutularak üç farklı su/(çimento+mineral katkı) oranı ve üç farklı agrega türü beton karışımı, yukarıda anlatıldığı gibi yayılma deneyine tabi tutulmuşlardır. En düşük yayılma çapı 700 mm CEM II-32,5 ve normal agrega ile yapılan, en yüksek yayılma çapı 750 mm CEM II-32,5 çimentosu ve pomza agregası ile yapılan karışımda ölçülmüştür. Karışımlarından pomza ile yapılan betonlarda çok az ayrışma gözlenirken, diğer karışımların tümünde ayrışma gözlenmemiştir. Dowson (2002), yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda, kendiliğinden yerleşebilirlik için yayılma değerinin 65–80 cm arasında ve 50 cm’ye yayılma süresinin 3 saniyeden fazla olmaması şartlarını önermiştir. EFNARC komitesi de (2002), yayılma çapını 65- 80 cm arasında olmasını önermiştir. Yayılma deneyi sonucu 45-76 cm arasında olan ve herhangi bir ayrışma gözlenmeyen karışımlar farklı amaçlar için KYB olarak kabul edilebilirler. Farklı amaçlar farklı ihtiyaçlar doğuracağından, yayılma değerini genel olarak sınırlamak daha uygundur. Kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı amaca göre değişmektedir (Bury and Bühler 2002).

Kendiliğinden yerleşen hafif betonda yoğunluk arttıkça işlenebilirliğin de kolaylaştığı görülmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonun yayılma ve yerleşme özelliğinin ağırlığınca sağlandığı bilindiğinden, yoğunluğun artması yayılma ve yerleşme özelliklerinin de artması beklenen sonuç olmaktadır.

4.1.3. V-Hunisi deney sonuçları

Farklı çimenyo tipi ve farklı agrega türlerinden elde edilen betonların V-hunisi akış süresi deneyi bölüm 3.2.6.b’de anlatılan yöntemle yapılmış, sonuçlar Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. V-hunisi deney sonuçları

	Akış Süresi		
	Normal	Perlit	Pomza
CEM I 42,5	11 sn	5 sn	7 sn
CEM II 32,5	11.5 sn	6 sn	9 sn

En uzun akış süresi 11,5 sn ile CEM II-32.5 çimento tipi ve normal agrega içeren karışımlarda ölçülürken, en kısa akış süresi ise 7 sn CEM II-42.5 çimento tipi ve perlit agregası içeren karışımlarda ölçülmüştür. Khurana and Topçu (2000), farklı maksimum tane boyutuna (D_{maks}) sahip KYB’ların 5x5 cm açıklıklı V-hunisinden geçiş süreleri için aşağıdaki sınır değerleri önermektedir; $D_{maks}= 15$ mm ise 8-12 sn, $D_{maks}= 20$ mm ise 11-15 sn.

Normal agrega içeren karışımların tümü farklı çimento tiplerinde bu sınırlar dahilinde kalırken, perlit agregası içeren karışımların akış süreleri 5–6 sn arasında kalmaktadır. Pomza agregası içeren karışımlar ise 7–9 sn arasında değişmektedir.

4.1.4. J-Halkası deney sonuçları

Taze betonların geçiş yeteneğini ölçmek için J-halkası deneyi bölüm 3.2.6.d'de anlatıldığı şekliyle yapılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. J-halkası deney sonuçları

	Normal		Perlit		Pomza	
	Halka İçi Yükseklik	Halka Dışı Yükseklik	Halka İçi Yükseklik	Halka Dışı Yükseklik	Halka İçi Yükseklik	Halka Dışı Yükseklik
CEM I 42,5	10 cm	11 cm	8 cm	9 cm	10 cm	11.5 cm
CEM II 32,5	10.5 cm	11.5 cm	8.5 cm	9.5 cm	8.5 cm	9.5 cm

Deneysel çalışmada üretilen betonların J halkası değerleri 8,5–11,5 mm arasında değişmektedir. EFNARC komitesi (2002), J-halkasında yayılma sonrasında merkez ve halkanın hemen dışındaki beton yükseklikleri arasındaki farkının en fazla 10 mm olmasını önermiştir. Üretilen betonlarda normal ve perlit agregalarının farklı çimento tiplerinden elde edilen J halkası deney sonuçları EFNARC komitesinin vermiş olduğu değerleri sağladığı fakat pomza ile üretilen betonların bu değerleri sağlamadığı görülmüştür. En iyi sonuç normal agrega içeren karışımlarda gözlenmiştir.

4.1.5. L-Kutusu deney sonuçları

L kutusu deneyi bölüm 3.2.6.c'de anlatıldığı şekliyle yapılmıştır. L-Kutusu Deney Sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. L-kutusu deney sonuçları

	Normal			Perlit			Pomza		
	H ₂	H ₁	H ₂ /H ₁ Oranı	H ₂	H ₁	H ₂ /H ₁ Oranı	H ₂	H ₁	H ₂ /H ₁ Oranı
CEM I 42,5	7.5 cm	8 cm	0.93	7,00 cm	7,50 cm	0.93	7,00 cm	8,00 cm	0.87
CEM II 32,5	7.5 cm	8 cm	0.93	7,00 cm	7,50 cm	0.93	7,50 cm	8,50 cm	0.88

Normal agrega ve perlit agregası ile üretilen betonlarda L-kutusu h_2/h_1 oranı 0.93 olarak ölçülmüştür. Pomza agregası ile üretilen betonlarda L-kutusu h_2/h_1 oranı 0.87–0.88 olarak ölçülmüştür. Yapılan karışımlarda normal ve perlit agrgası ile üretilen betonların pomza ile üretilen betonlara göre L-kutusu oranı yüksek olduğu görülmüştür. L-kutusu oranı su gibi çok akışkan bir malzemede 1'e eşit olur. EFNARC Komitesi raporu (2002), bu değerin 0,8'den küçük olması halinde agreganın bloke olma riski olduğunu belirtmiştir. Fakat Bernabeu and Laborde (2000) yaptıkları deneylerde L kutusu oranı 0.65 olan karışımların (yayılma çapı 60 cm) sık donatılı kalıbı rahatlıkla doldurduğunu rapor etmiştir.

4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında uygulanan buhar kürlerinden sonra yapılan sertleşmiş beton deney sonuçları ve literatüre göre yorumlanması aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

4.2.1. Kuru birim ağırlıkla ilgili sonuçlar

Buhar kürüne tabi tutulan ve farklı agrega tipleri ile üretilen silindir ve prizma beton numunelerinin kuru birim ağırlıkları Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de verilmiştir. Kullanılan agrega ve çimento tipine göre birim ağırlıklarda değişkenlik gözlenmektedir. Pomza agregasının perlit agregasına, perlit agregasında normal agregaya göre birim ağırlığının az olması üretilen betonlarında birim ağırlıklarının az olmasına neden olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Ortalama kuru birim ağırlık deney sonuçları (g/cm^3)(65°C)

	Ortalama Kuru Birim Ağırlık Deney Sonuçları (g/cm^3)			
	CEM II 32,5		CEM I 42,5	
	Numune şekli		Numune şekli	
	Silindir	Prizma	Silindir	Prizma
Normal	2,04	2,09	2,13	2,13
Perlit	1,77	1,78	1,79	1,83
Pomza	1,15	1,20	1,18	1,25

Çizelge 4.7. Ortalama kuru birim ağırlık deney sonuçları (g/cm^3)(70°C)

	Ortalama Kuru Birim Ağırlık Deney Sonuçları (g/cm^3)			
	CEM II 32,5		CEM I 42,5	
	Numune şekli		Numune şekli	
	Silindir	Prizma	Silindir	Prizma
Normal	2,06	2,07	2,07	2,06
Perlit	1,78	1,84	1,81	1,80
Pomza	1,13	1,18	1,14	1,16

Çizelge 4.8. Ortalama kuru birim ağırlık deney sonuçları (g/cm^3)(75°C)

	Ortalama Kuru Birim Ağırlık Deney Sonuçları (g/cm^3)			
	CEM II 32,5		CEM I 42,5	
	Numune şekli		Numune şekli	
	Silindir	Prizma	Silindir	Prizma
Normal	2,08	2,07	2,11	2,10
Perlit	1,76	1,80	1,78	1,77
Pomza	1,14	1,15	1,16	1,19

Gül vd (1997) tarafından, doğal agrega yerine kullanılan pomza oranının artmasıyla birim ağırlığın ve bundan dolayı da basınç dayanımının da azaldığı tespit edilmiştir. Ravindrarajah ve Tam (1985), eski betonu agrega haline getirip kullanarak ürettikleri betonun mekanik özelliklerinin, geleneksel agrega ile yapılan betondan daha az olduğunu belirtmişlerdir. Karakoç (2004) yaptığı çalışmada w/b oranı 0.25 olan yüksek dayanımlı betonda ince agregayı %30 oranında GPA ile yer değiştirerek basınç dayanımında %33 oranında azalma olduğunu saptamıştır. Topçu ve Şengel (2004), agrega olarak kullanılan eski beton parçalarının oranı arttıkça, birim ağırlığın %6 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

Yaş birim ağırlıkları sırasıyla 2.18, 1.88 ve 1.23 g/cm^3 olan normal, perlit ve pomza ile üretilen betonların, buhar kürüne tabi tutulduktan sonra kuru birim ağırlıklarının Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'deki verilen sonuçlarda azaldığı görülmektedir. Fakat pomza agregasıyla üretilen betonların birim ağırlığının diğer gruplara göre fazla azaldığı görülmüştür.

4.2.2. Basınç dayanımı deney sonuçları

Çalışma kapsamında üç adet farklı buhar kürüne tabi tutulan, farklı agrega tipleri ve farklı çimento tipleri ile üretilen silindir beton numunelerinin basınç dayanımları Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Ortalama basınç dayanımı deney sonuçları (kgf/cm²) (65°C)

	Ortalama Basınç Dayanımı Deney Sonuçları (kgf/cm ²)	
	CEM II 32,5	CEM I 42,5
Normal	265.4	320.7
Perlit	172.9	199.25
Pomza	62	49.48

Çizelge 4.10. Ortalama basınç dayanımı deney sonuçları (kgf/cm²) (70°C)

	Ortalama Basınç Dayanımı Deney Sonuçları (kgf/cm ²)	
	CEM II 32,5	CEM I 42,5
Normal	277	321.25
Perlit	171.7	242.4
Pomza	44.25	59.25

Çizelge 4.11. Ortalama basınç dayanımı deney sonuçları (kgf/cm²) (75°C)

	Ortalama Basınç Dayanımı Deney Sonuçları (kgf/cm ²)	
	CEM II 32,5	CEM I 42,5
Normal	231.5	335.9
Perlit	142.5	222.3
Pomza	36.03	52.6

65°C, 70°C ve 75°C’de buhar kürü uygulandıktan sonra pomza ve perlit ile üretilen betonların basınç dayanımları normal agregaya göre daha az olduğu görülmüştür.

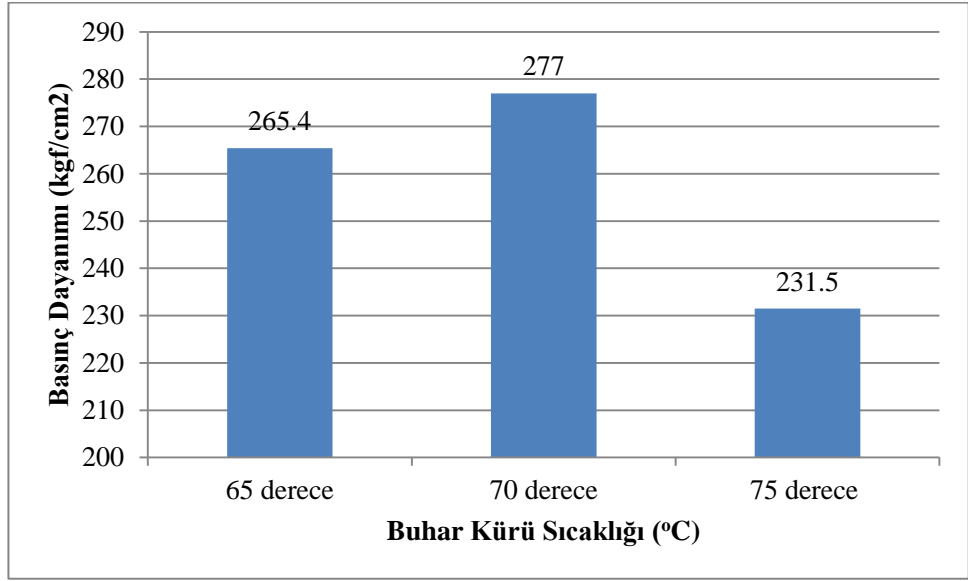
Farklı sıcaklıklarda uygulanan buhar kürü neticesinde CEM-I 42,5 çimentosuyla üretilen normal agregalı betonların sıcaklık arttıkça basınç dayanımlarının sıcaklığa paralel olarak arttığı, CEM II-32,5 çimentosuyla üretilen betonlarda ise 70°C de

maksimum değere ulaştığı, buhar k¼r¼ sıcaklığının artmasıyla basınç dayanımının d¼řt¼ę¼ g¼zlemlenmiřtir.

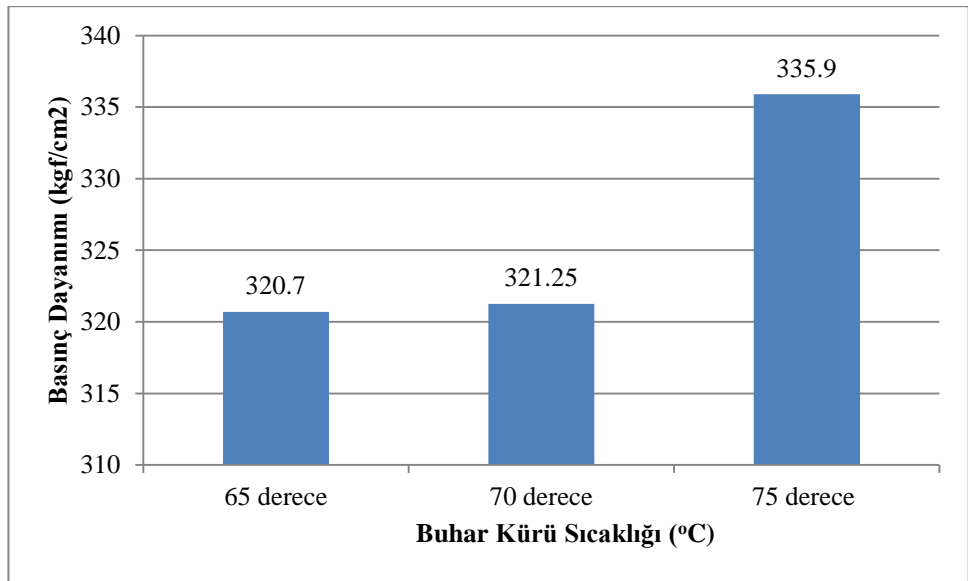
Perlit agregasında CEM I-42.5 çimentosuyla ¼retilen betonların buhar k¼r¼ sıcaklığına bağlı olarak 70°C de maksimuma ulaştığı fakat CEM II-32.5 çimentosuyla ¼retilen betonlarda ise sıcaklık arttıķa buna ters orantılı olarak basınç dayanımının d¼řt¼ę¼ g¼zlemlenmiřtir.

Pomza agregasında ise CEM I-42.5 çimentosuyla ¼retilen betonların buhar k¼r¼ sıcaklığına bağlı olarak 70oC de maksimuma ulaştığını, CEM II-32.5 çimentosuyla ¼retilen betonlarda ise sıcaklık arttıķa buna ters orantılı olarak basınç dayanımının d¼řt¼ę¼ g¼zlemlenmiřtir.

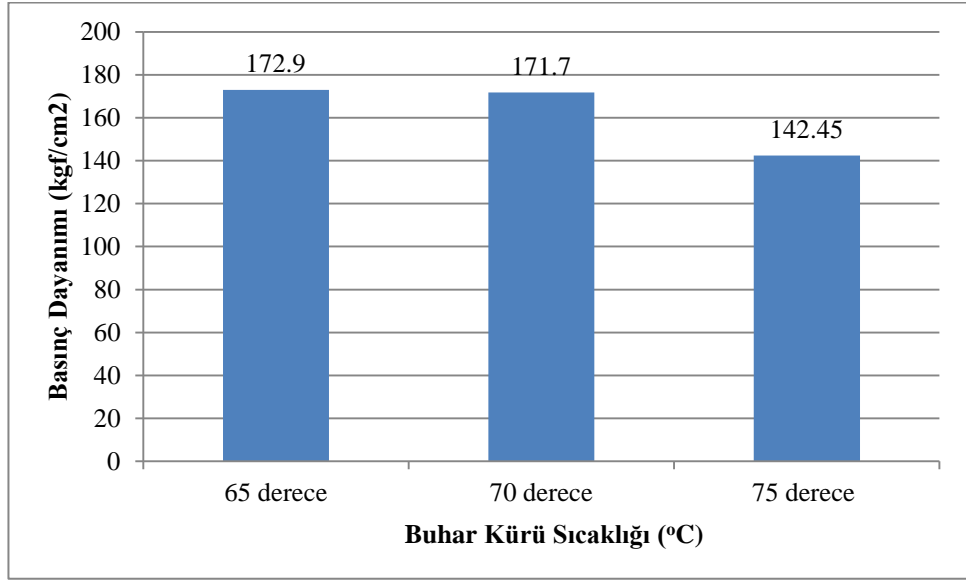
Ramamurty and Narayanan (2000)'ın bildirdiğine g¼re, basınç dayanımı, betonun birim ağırlığının bir fonksiyonudur ve birim ağırlığın artmasıyla, basınç dayanımı artmaktadır (şahin vd 2003). Akman ve Taşdemir (1977) yaptıkları çalışmada, doğal agregaya yerine kullanılan hafif agregaya oranının artmasından dolayı, birim ağırlığın ve basınç dayanımının azaldığını belirtmişlerdir. Faust (2000) doğal kum yerine ince hafif agregaya kullanılmasıyla basınç dayanımının azaldığını bildirmiştir. Yukarıda verilen literat¼rden çıkarılacak sonuç birim ağırlık ile basınç dayanımı arasında bir ilişki olduğunu g¼stermektedir. Dolayısıyla birim ağırlık, basınç dayanımına doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada da d¼ř¼k birim ağırlığa ve dayanıma sahip perlit ve pomzalı betonların basınç dayanımları azalmıştır. Basınç dayanımlarında g¼r¼len azalma, perlit ve pomzanın geleneksel beton agregasına g¼re daha d¼ř¼k dayanımda olması ve beton içerisinde geleneksel agregadan daha fazla boşluk oluşturmuş olması muhtemel neden olarak belirtilebilir.



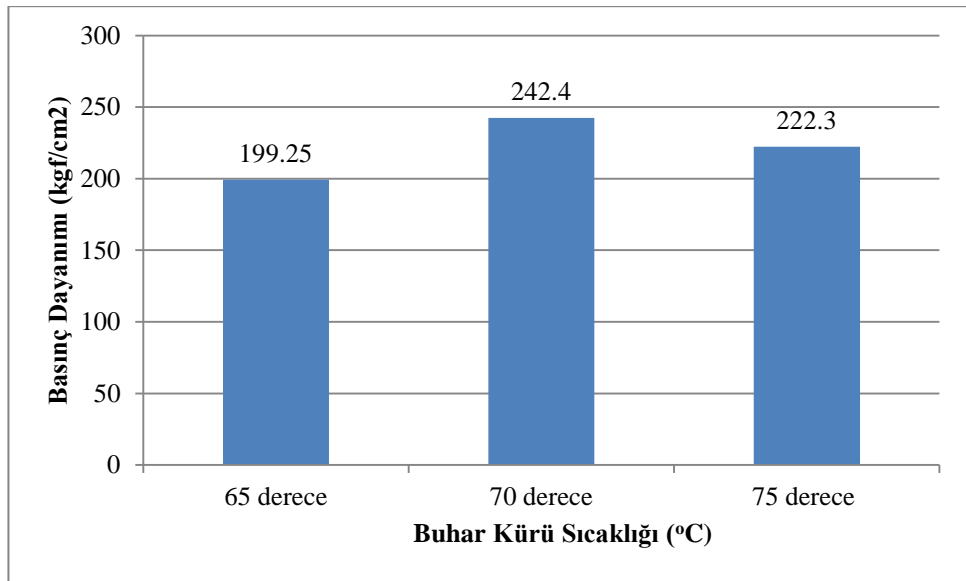
Şekil 4.1. Normal agrega-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği



Şekil 4.2. Normal agrega-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği

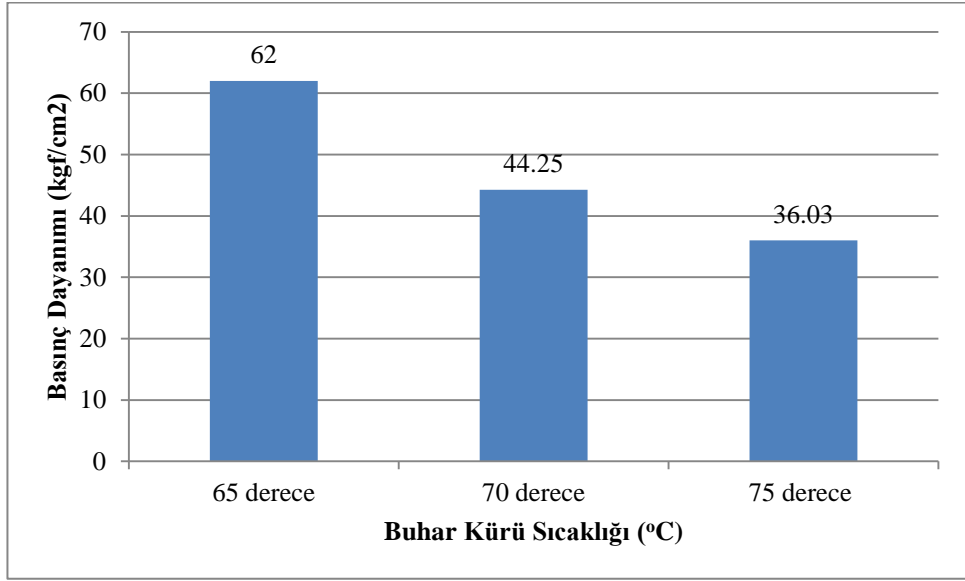


Şekil 4.3. Perlit agregası-CEM II–32,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği

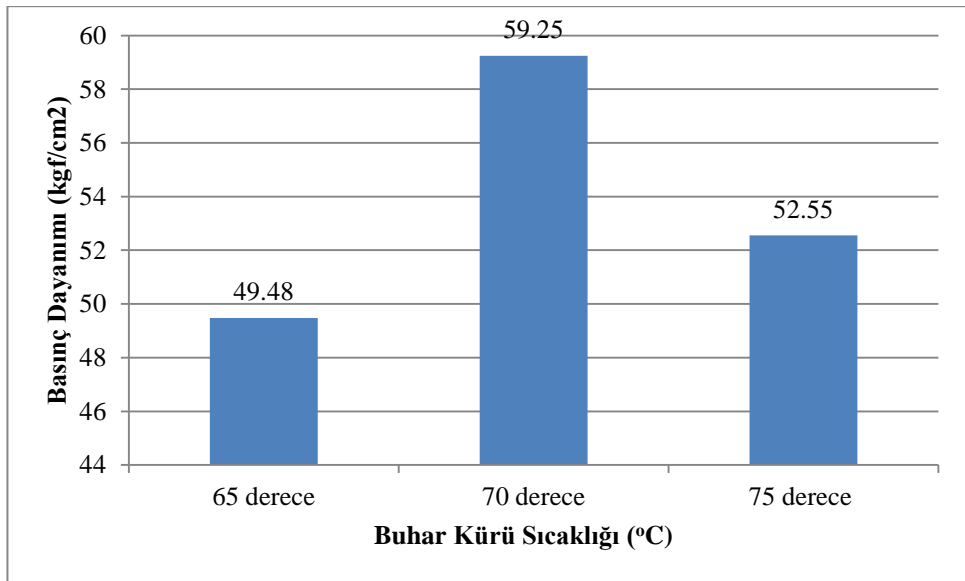


Şekil 4.4. Perlit agregası-CEM I–42,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği

Farklı sıcaklıklarda uygulanan buhar kürü neticesinde CEM II–32,5 çimentosuyla üretilen perlit agregalı betonların sıcaklık arttıkça basınç dayanımlarının sıcaklığa ters orantılı olarak azaldığı, CEM I-42,5 çimentosuyla üretilen betonlarda ise 70°C’de maksimum değere ulaştığı buhar kürü sıcaklığının artmasıyla basınç dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5. Pomza agregası-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği



Şekil 4.6. Pomza agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-basınç dayanım grafiği

Uygulanan buhar kürü çevrimi neticesinde pomza agregası ile üretilen betonların CEM II-32,5 tipi çimentoyla sıcaklık artmasına karşın basınç dayanımı azalmakta olduğu görülmüştür. CEM I- 42,5 ile üretilen betonlarda ise basınç dayanımının 70°C en yüksek değeri verdiği gözlemlenmiştir.

4.2.3. Yarmada çekme dayanımı ile ilgili sonuçlar

Üç adet farklı buhar kürüne tabi tutulan, farklı agrega tipleri ve farklı çimento tipleri ile üretilen silindir beton numunelerinin yarmada çekme dayanımı sonuçları Çizelge 4.12, Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.12. Ortalama yarmada çekme dayanımı deney sonuçları (65°C)

	Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı Deney Sonuçları (kgf/cm ²)	
	CEM II 32,5	CEM I 42,5
Normal	18,92	30,28
Perlit	12,62	26,52
Pomza	8,41	11,78

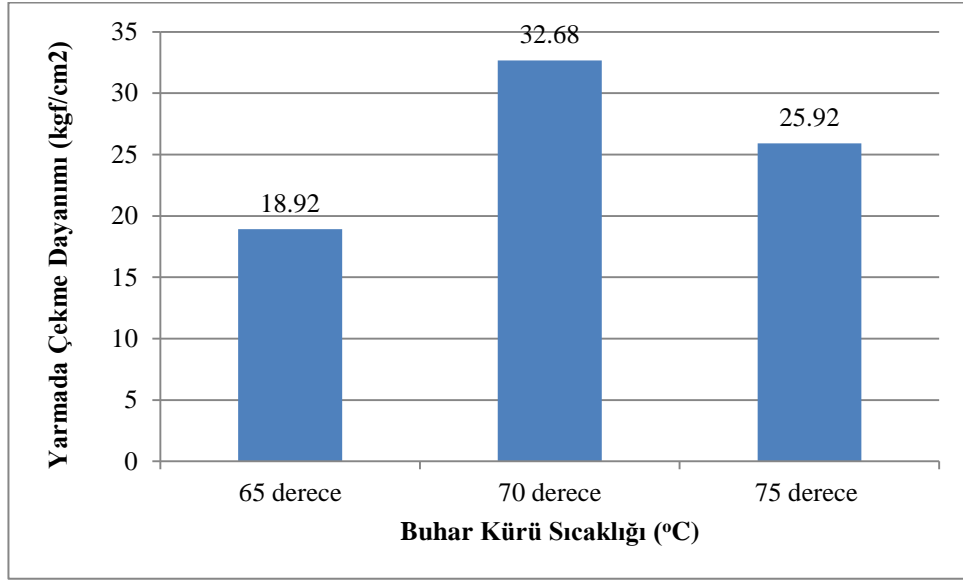
Çizelge 4.13. Ortalama yarmada çekme dayanımı deney sonuçları (70°C)

	Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı Deney Sonuçları (kgf/cm ²)	
	CEM II 32,5	CEM I 42,5
Normal	32,68	35,03
Perlit	12,36	17,32
Pomza	8,57	11,97

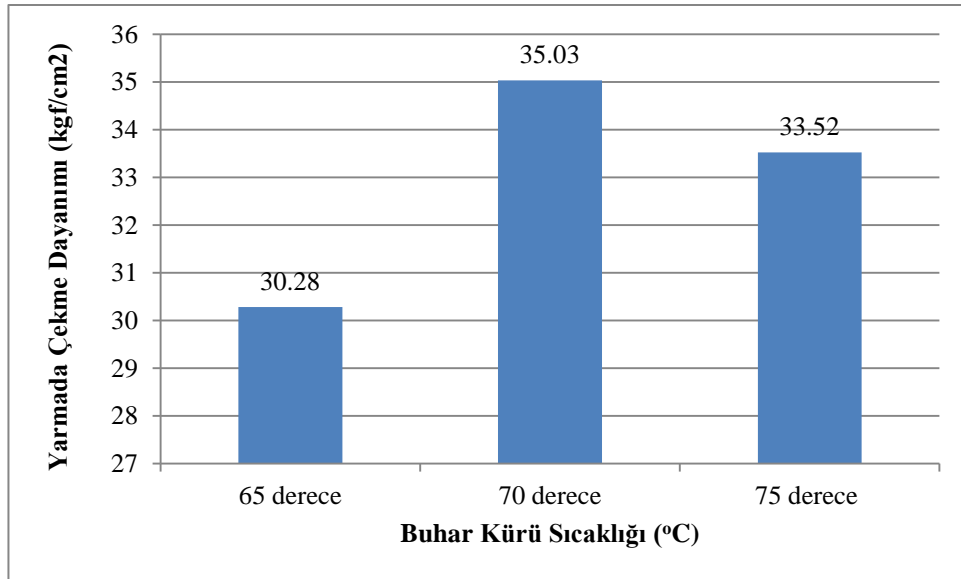
Çizelge 4.14. Ortalama yarmada çekme dayanımı deney sonuçları (75°C)

	Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı Deney Sonuçları (kgf/cm ²)	
	CEM II 32,5	CEM I 42,5
Normal	25,92	33,52
Perlit	15,03	16,4
Pomza	10,29	9,33

TS 500 (2000) ve Ersoy (2004)'de, betonların çekme dayanımlarının belirlenmesindeki güçlüklerden bahsedilmiştir. Betonun çekme dayanımını belirleyebilmek ve basınç dayanımları ile ilişkilendirebilmek için, numune sayısının çok fazla olması gerektiği belirtilmiştir. Betonun çekme dayanımının, basınç dayanımına oranla çok düşük olduğu bilinmektedir. Çekme dayanımı basınç dayanımının yaklaşık olarak %10'u kadardır. Basınç dayanımına etki eden tüm değişkenler çekme dayanımına da etki etmektedir.

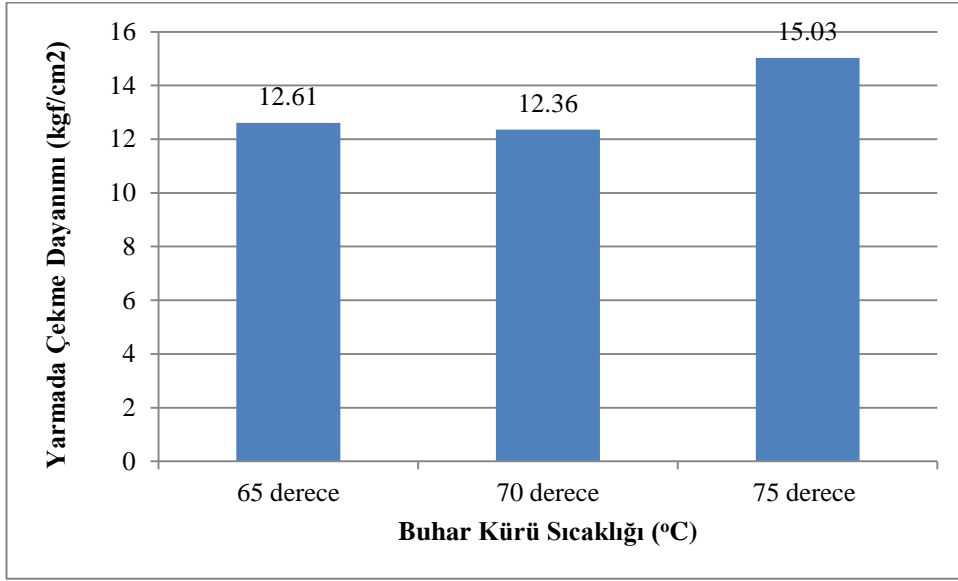


Şekil 4.7. Normal agrega-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanımı grafiği

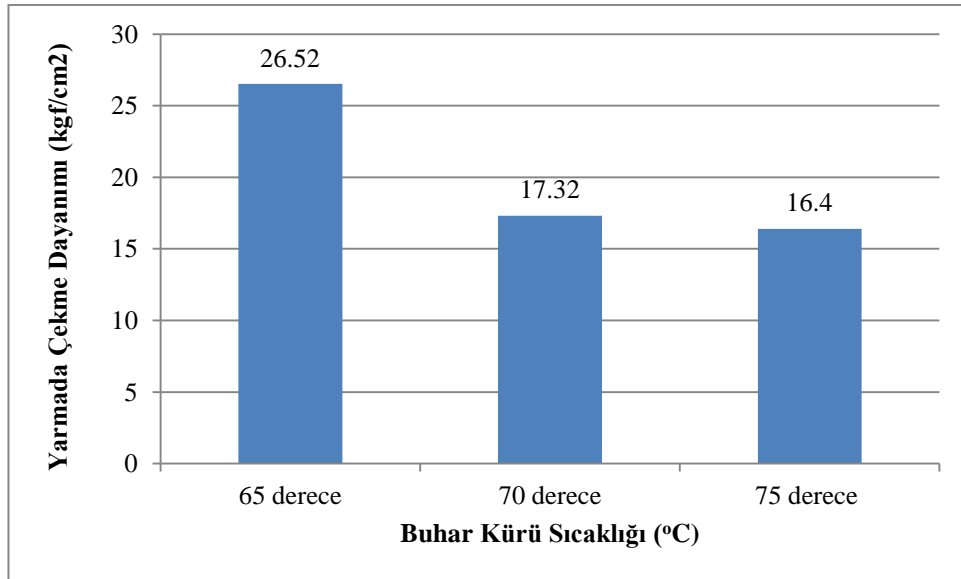


Şekil 4.8. Normal agrega-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanımı grafiği

İki farklı tip çimento ile üretilen normal agregalı betonun yarmada çekme dayanımının 70°C en yüksek değeri verdiği gözlemlenmiştir.

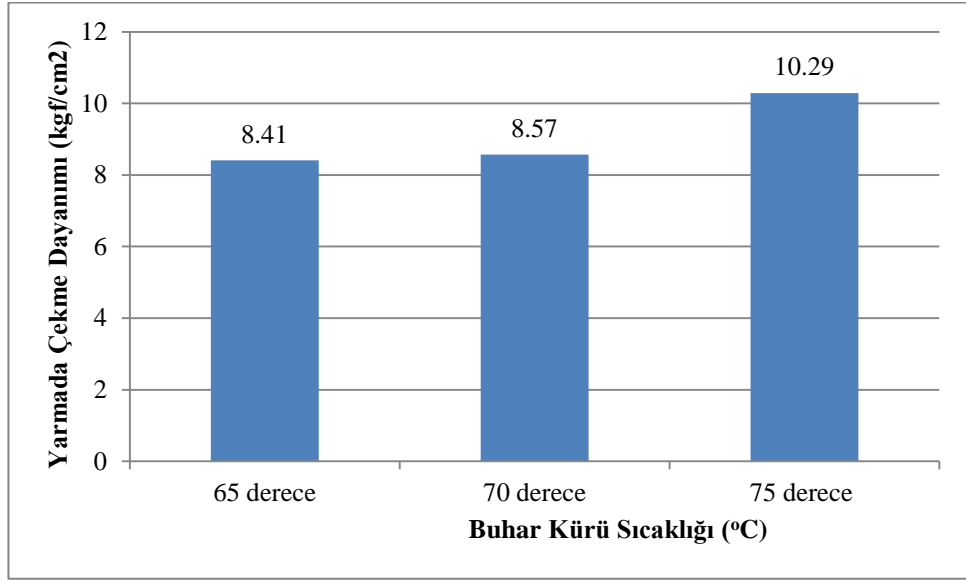


Şekil 4.9. Perlit agregası-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanımı grafiği

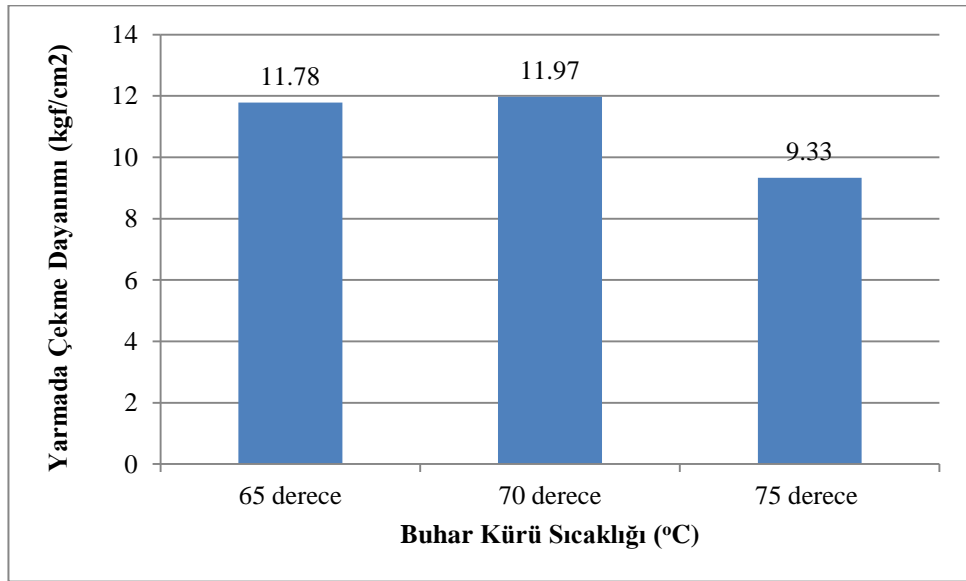


Şekil 4.10. Perlit agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanımı grafiği

Perlit agregasıyla üretilen ve buhar kürüne tabi tutulan CEM II-32,5 tipi çimentolu beton numunelerde yarmada çekme dayanımında sıcaklıkla birlikte arttığı, CEM I-42,5 tipi çimentoda ise yarmada çekme dayanımının sıcaklık arttıkça azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.11. Pomza agregası-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanımı grafiği



Şekil 4.12. Pomza agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-yarmada çekme dayanımı grafiği

Silindir numunelerdeki yarmada çekme dayanımları incelendiğinde, beklenildiği gibi, basınç dayanımı arttıkça çekme dayanımları da yükselmiştir. Hafif agregalardan pomzanın kırılma yapıları nedeniyle hafif agregalarla üretilen kendiliğinden yerleşen betonların çekme dayanımları da perlit ve normal agregalarla üretilen serilerine göre oldukça düşüktür. Daha önce de bahsedildiği gibi hafif agregalı serilerde çok düşük

çekme dayanımlarının elde edilmesinde pomzanın kırılma yapısının etkisi büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle hafif agregalar içerisinde en az çekme dayanımları pomzayla üretilen serilerde elde edilmiştir.

4.2.4. Ultrases hız ölçüm (UPV) deneyi ile ilgili sonuçlar

Ultrases hız ölçümleri bölüm 3.2.7.f'de anlatılan yöntemle araştırılmıştır. Buhar kürüne tabi tutulan silindir ve prizma beton numunelerinin ultrases hız ölçüm deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Ultrases hız ölçüm (UPV) deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (65°C)

	Ultrases Hız Ölçüm Deneyi İle İlgili Ortalama Sonuçlar			
	CEM II 32,5		CEM I 42,5	
	Numune şekli		Numune şekli	
	Silindir	Prizma	Silindir	Prizma
Normal	3459	3644	3608	3702
Perlit	2224	3519	2505	3293
Pomza	1709	2475	1895	2489

Çizelge 4.16. Ultrases hız ölçüm (UPV) deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (70°C)

	Ultrases Hız Ölçüm Deneyi İle İlgili Ortalama Sonuçlar			
	CEM II 32,5		CEM I 42,5	
	Numune şekli		Numune şekli	
	Silindir	Prizma	Silindir	Prizma
Normal	3448	3598	3550	3689
Perlit	2371	3522	2596	3496
Pomza	1706	2496	2119	2551

Çizelge 4.17. Ultrases hız ölçüm (UPV) deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (75°C)

	Ultrases Hız Ölçüm Deneyi İle İlgili Ortalama Sonuçlar			
	CEM II 32,5		CEM I 42,5	
	Numune şekli		Numune şekli	
	Silindir	Prizma	Silindir	Prizma
Normal	3351	3551	3540	3583
Perlit	1942	2993	2547	3448
Pomza	1347	2387	1864	2649

Normal agregalarla üretilen betonların ultrases dalga hızları 3351-3702 m/s arasında, perlit ile üretilenlerin 1942-3496m/s arasında ve pomza ile üretilen betonların ise 1347-2649m/s arasında değiştiği görülmüştür. Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'deki basınç dayanım değerleri ile Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de ki UPV değerleri arasında doğrusal bir bağlantı olduğu görülmektedir. Basınç dayanımını etkileyen tüm değişkenler ultrases hızlarını da etkilemektedir.

Betonların ultrases hızları basınç dayanımında olduğu gibi özellikle karışım içerisindeki agrega türüne göre de önemli ölçüde azalmıştır. Pomza ile üretilen betonların ultrases hızlarının perlit ve normal agregaya göre çok düşük olduğu yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir.

Ölçülen dalga hızlarına göre beton dayanımı >4500 m/s mükemmel, 3600–4500 m/s çok iyi, 3000–3600 m/s iyi, 2000–3000 m/s orta, < 2000 m/s kötü şeklinde sınıflandırılmıştır (Erdoğan 2003). Bu durumda pomza ile üretilen betonların kötü, perlit ile üretilen betonların orta ve normal agregayla üretilen betonların ise iyi sınıfında olduğu sayılabilir.

4.2.5. Eğilme dayanımı ölçüm deneyi ile ilgili sonuçlar

Üç adet farklı buhar kürüne tabi tutulan, farklı agrega tipleri ve farklı çimento tipleri ile üretilen prizma (7*7*28cm) beton numunelerinin basınç dayanımları Çizelge 4.18, Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Ortalama eğilme dayanımı değerleri (65°C)

	Ortalama Eğilme Dayanımı Değerleri (kgf/cm ²)	
	CEM II 32,5	CEM I 42,5
Normal	486	560
Perlit	409	424
Pomza	179	211

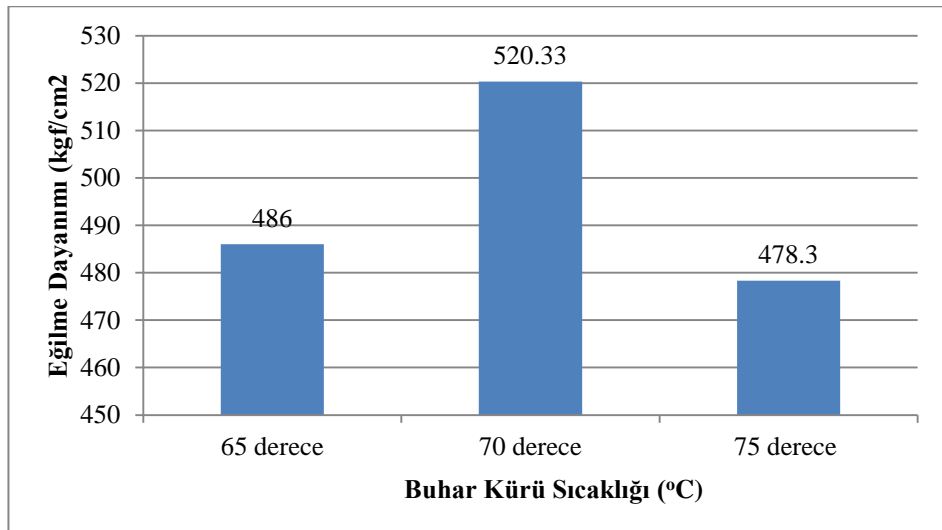
Çizelge 4.19. Ortalama eğilme dayanımı değerleri (70°C)

	Ortalama Eğilme Dayanımı Değerleri (kgf/cm ²)	
	CEM II 32,5	CEM I 42,5
Normal	520	610
Perlit	379	456
Pomza	141	151

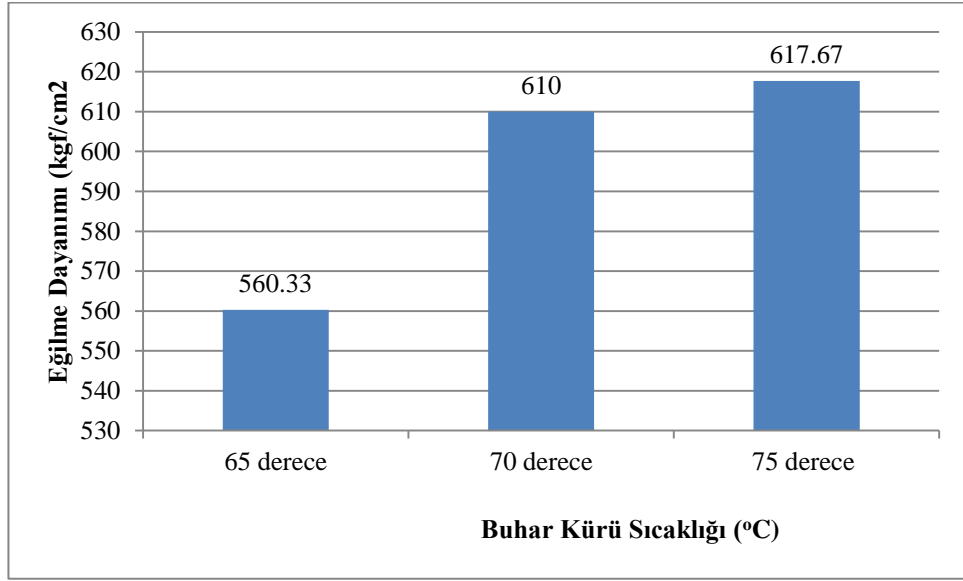
Çizelge 4.20. Ortalama eğilme dayanımı değerleri (75°C)

	Ortalama Eğilme Dayanımı Değerleri (kgf/cm ²)	
	CEM II 32,5	CEM I 42,5
Normal	478	618
Perlit	368	403
Pomza	135	187

Agrega tipi, çimento tipi ve buhar kürü sıcaklığı eğilmede çekme dayanımında belirleyici bir etken olmuştur. En yüksek eğilme dayanımı normal agregalarla üretilen betonların elde edilmiştir. CEM I- 42,5 tipi çimentoyla üretilen bütün numuneler CEM II- 32,5 tipi çimentoyla üretilen numunelere göre buhar kürünün bütün sıcaklıklarında daha yüksek olduğu görülmüştür.

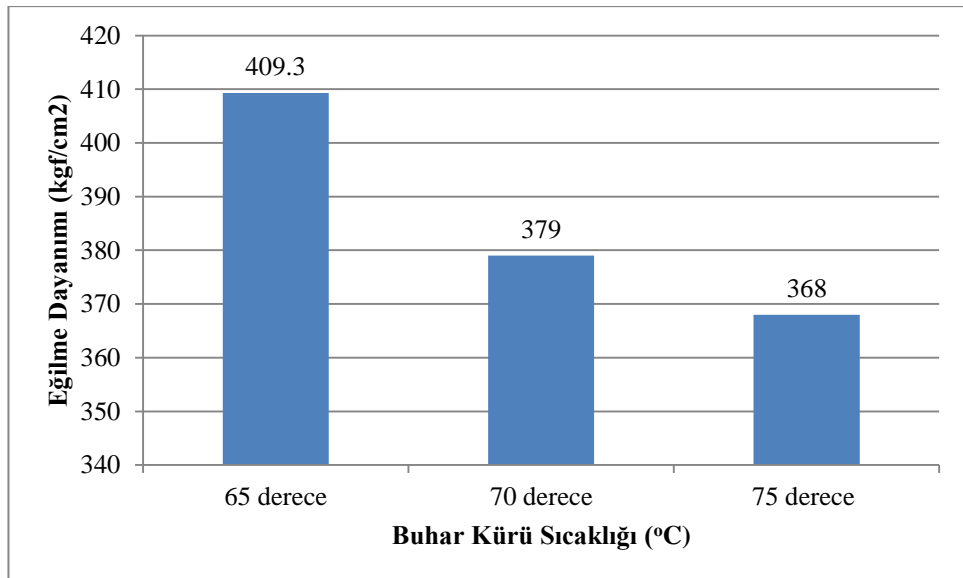


Şekil 4.13. Normal agrega-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanımı grafiği

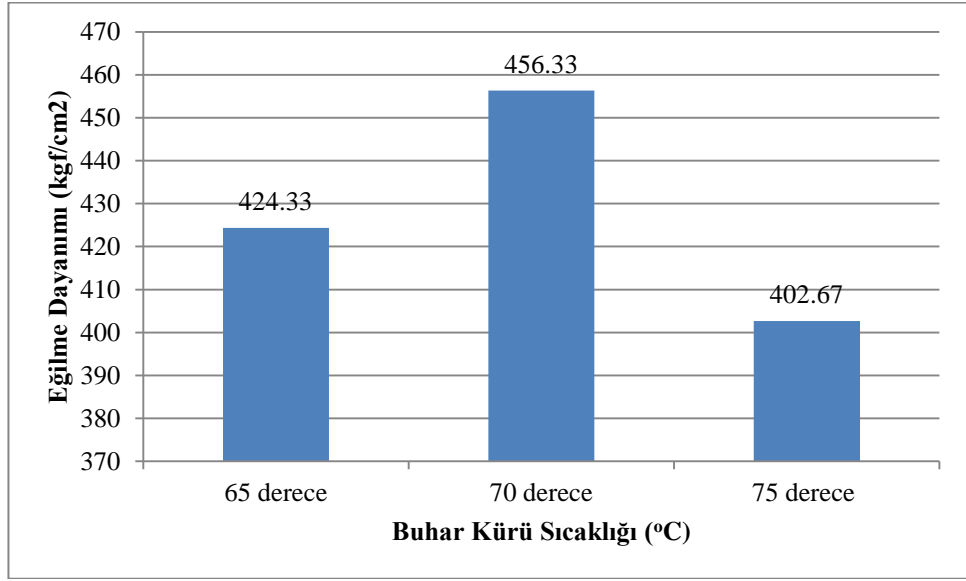


Şekil 4.14. Normal agrega-CEM I–42,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanımı grafiği

Normal agrega ile üretilen prizma numunelerden elde edilen eğilme dayanımları deney sonuçlarına göre, CEM II–32,5 tipi çimentoda buhar kürü sıcaklığının 70°C'ne kadar dayanımın arttığı fakat üzerindeki sıcaklıkta eğilme dayanımının azaldığı görülmüştür. Fakat CEM I–42,5 te ise sıcaklığın artmasıyla eğilme dayanımı sürekli artmaktadır.

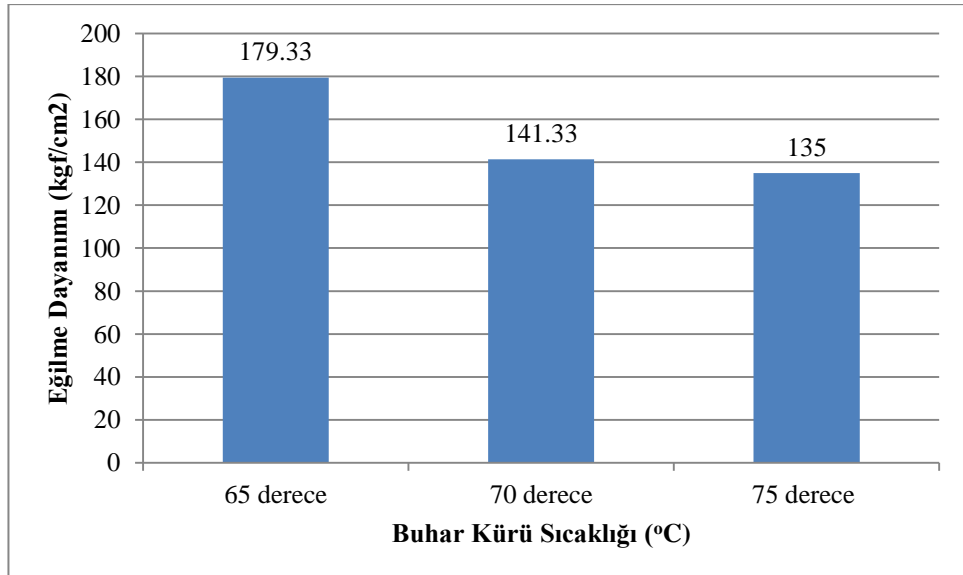


Şekil 4.15. Perlit agregası-CEM II–32,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanımı grafiği

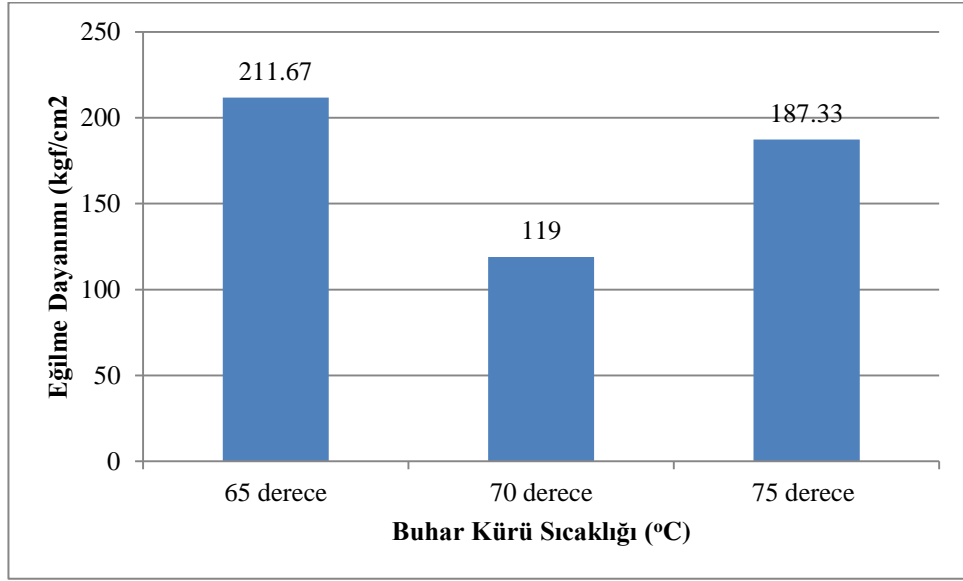


Şekil 4.16. Perlit agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanımı grafiği

Perlit agregası ile üretilen prizma numunelerden elde edilen eğilme dayanımları deney sonuçlarına göre, CEM I-42,5 tipi çimentoda buhar kürü sıcaklığının 70°C' ye kadar dayanımın arttığı fakat üzerindeki sıcaklıkta eğilme dayanımının azaldığı görülmüştür. Fakat CEM II-32,5'ta ise sıcaklığın artmasıyla eğilme dayanımı sürekli azalmaktadır.



Şekil 4.17. Pomza agregası-CEM II-32,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanımı grafiği



Şekil 4.18. Pomza agregası-CEM I-42,5 tipi çimento sıcaklık-eğilme dayanımı grafiği

Pomza agregası ile üretilen prizma numunelerden elde edilen eğilme dayanımları şekil 4.17 ve 4.18’de görüldüğü gibi, CEM II-32,5 ile üretilen numunelerin sıcaklığın artmasıyla eğilme dayanımlarının azaldığı, CEM I-42,5 tipi ile üretilen numunelerin ise 70°C’de en düşük değer aldığı görülmektedir.

Mehta ve Monteiro (2001), çalışmalarında; geleneksel betonda 20 MPa basınç dayanımına sahip örneklerin çekme dayanımı/basınç dayanımı oranı %9–10 iken, 60 MPa basınç dayanımına sahip örneklerde bu oran %7’ye düşmektedir. Bu çalışmada örneklerin eğilme dayanımları ile basınç dayanımları arasındaki oran %8–14 arasında değişmektedir. Literatürdekine benzer şekilde basınç dayanımı arttıkça eğilme dayanımında oransal olarak azalma olmuştur.

4.2.6. Schmidt çekici deneyi ile ilgili sonuçlar

Schmidt çekici ile yapılan deney sonuçları aşağıda çizelgelerle sunulmuştur.

Çizelge 4.21. Schmidt Çekici deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (65°C)

	Schmidt Çekici Deneyi İle İlgili Ortalama Sonuçlar			
	CEM II 32,5		CEM I 42,5	
	Numune şekli		Numune şekli	
	Silindir	Prizma	Silindir	Prizma
Normal	17	19	24	25
Perlit	15	16	18	22
Pomza	13	13	15	15

Çizelge 4.22. Schmidt Çekici deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (70°C)

	Schmidt Çekici Deneyi İle İlgili Ortalama Sonuçlar			
	CEM II 32,5		CEM I 42,5	
	Numune şekli		Numune şekli	
	Silindir	Prizma	Silindir	Prizma
Normal	19	14	22	15
Perlit	21	11	21	14
Pomza	14	11	15	16

Çizelge 4.23. Schmidt çekici deneyi ile ilgili ortalama sonuçlar (75°C)

	Schmidt Çekici Deneyi İle İlgili Ortalama Sonuçlar			
	CEM II 32,5		CEM I 42,5	
	Numune şekli		Numune şekli	
	Silindir	Prizma	Silindir	Prizma
Normal	14	19	23	18
Perlit	13	16	22	16
Pomza	14	12	16	16

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Erzurum Pasinler ilçesinden elde edilen pomza agregası, Erzincan merkeze bağlı Molla köyünden temin edilen perlit ve normal agregaya ile iki farklı çimento tipi kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonlar üretilmiştir. Bu kapsamda, farklı su/(çimento+mineral katkı) oranının yanı sıra silis dumanı çimentoya ilave olarak katılmış buhar kürü uygulanmıştır. Elde edilen betonların taze ve sertleşmiş haldeki bazı özellikleri araştırılmıştır. Bu deneysel çalışmanın tümünden çıkarılacak bazı sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

1. Yapılan deneysel çalışmalarda 3 farklı agregaya (pomza, perlit ve normal agregaya) kullanılarak yayılma çapı 500–700 mm kendiliğinden yerleşen betonlar üretilmiştir.
2. Farklı sıcaklıklarda uygulanan buhar kürü neticesinde CEM-I 42,5 çimentosuyla üretilen normal agregalı betonların sıcaklık arttıkça basınç dayanımlarının sıcaklığa paralel olarak arttığı, perlit ile üretilen betonların 70°C de en yüksek değere ulaştığı, pomza ile üretilen betonların ise buhar kürü yönteminde sıcaklık arttıkça ters orantılı olarak basınç dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir.
3. Farklı sıcaklıklarda uygulanan buhar kürü neticesinde CEM-II 32,5 çimentosuyla üretilen perlit agregalı betonların sıcaklık arttıkça basınç dayanımlarının sıcaklığa paralel olarak arttığı, normal agregaya ile üretilen betonların 70°C de en yüksek değere ulaştığı, pomza ile üretilen betonların ise buhar kürü yönteminde sıcaklık arttıkça ters orantılı olarak basınç dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir.
4. İki farklı tip çimento ile üretilen normal agregalı betonun yarmada çekme dayanımının 70 °C en yüksek değeri verdiği gözlemlenmiştir.
5. CEM-I 42,5 çimentosuyla üretilen perlit agregalı betonun yarmada çekme dayanımının sıcaklık arttıkça azaldığı görülmektedir.
6. CEM II–32,5 çimentosuyla üretilen pomza betonunun sıcaklıkla doğru orantılı olarak yarmada çekme dayanımını arttığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aggoun, S., Kheirbek, A., Kadri E.H., Duval R., 2002. Study of the Flow of Self-Compacting Concretes. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 259-266.
- Akkaya, Y., İlki A., Tasdemir M.A., Kumbasar N., 2002. Self-Compacting Concrete for Light-Weight Slabs. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 457-468.
- Akman, M.S., Taşdemir, M.A., 1977. Taşıyıcı Malzeme olarak Perlit Betonu. 1. Ulusal Perlit Kongresi Bildiriler, 40-48, MTA, Ankara.
- Akman, M.S., 1962. Hafif Betonlar. Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Haziran, 30-35
- Akman, S., 1990, Yapı Mazemeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi yayını, 162, İstanbul.
- Ambrosie J., Pera J., 2002. Design of Self-Levelling Concrete. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 93-98.
- Anonim, 1992. Yapı-Endüstri Hammaddeleri: VI. Beş yıllık Kalkınma Planı Ö.İ.K. Raporu. D.P.T. 2309-Ö.İ.K: 414, 71-108.
- Anonim, 2006. Sika Yapı Kimyasalları. <http://www.sika.com.tr> adresinden 25/05/2008 tarihinde ulaşılmış ve alıntı yapılmıştır.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Girgin, C., 2000. Hava Sürükleyici Katkılı Betonlarda Karışım Suyu-Basınç Dayanımı-Hava İçeriği İlişkileri. Beton Prefabrikasyon Dergisi, 56,5-14
- ASTM C 1113-90, 1990. Test method for thermal conductivity of refractories by hot wire (platinum resistance thermometer technique). Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
- ASTM C 330-97, 1998. Standard specification Lightweight Aggregates for Structural Concrete 1. 1998 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02.
- ASTM C 597, 1998. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, West Conshohocken, PA.
- Aydın A.C., Düzgün, O.A., Tortum, A., Determination of the Optimum Conditions for Steel Fibers on the Mechanical Properties of Natural Lightweight Aggregate Concrete, Pollack Perodika, 2008, Vol.3, No.1, pp.101-112.
- Aydın, A.C., Arslan, A., and Gül, R., Mesoscale Simulation of Cement Based Materials' Time Dependent Behavior , Computational Materials Science, 41/1, 20-26 (2007).
- Aydın, A.C., Self Compactability of High Volume Hybrid Fiber Reinforced Concrete, Construction and Building Materials, 21, 1146-1151, (2007).
- Aydın, A.C., and Gül, R., Influence of Volcanic Originated Natural Materials as Additives on the Setting Time and Some Mechanical Properties of Concrete, Construction and Building Materials, 21, 1274-1278, (2007).
- Aydın A.C., Tortum, A., Yavuz, M., Prediction of concrete elastic modulus using adaptive neuro-fuzzy inference system, Civil Engineering and Environmental Systems, 23, 295-309, (2006).
- Aydın, A.C., Karakoç, M.B., Düzgün, O.A., and Bayraktutan, M.S., Effect of low quality aggregates on the mechanical properties of lightweight concrete, Scientific Research and Essays Vol. 5 (10), pp. 1133-1140, 18 May, 2010.

- Bartos, P.J.M., 1998. An Appraisal of the Orimet Test as a Method for On-Site Assessment of Fresh SCC Concrete. Proceeding of International Workshop on Self-Compacting Concrete, 121-135, Japan.
- Berke N.S., Cornman C.R., Jeknavorian A.A., Knight G.F., Wallevik O., 2002. The Effective Use of Superplasticizers and Viscosity-Modifying Agents in Self-Consolidating Concrete. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 173-178.
- Bernabeu M., Laborde, 2000. Brite Euram Project: Rational Production and Improved Working Environment Through Using Self Compacting Concrete-FINAL REPORT: TASK 8.3 Production System for Civil Engineering, GTM Construction.
- Billberg P., 2002. Mix Design Model for Self-Compacting Concrete. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 65-70.
- Bouzoubaa N., Lachemi M., 2001. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results, Cem. Concr. Res., Vol: 31,413-420.
- Bramshuber W., Uebachs S., 2003. The Influence of Air Voids on the Properties of Self-Compacting Concretes Containing Fly Ash, Proceedings of the 3rd International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, RILEM Publications, 870-880
- BRS, 1993, Manufacture and Application of Lightweight Concrete. Overseas Division Building Research Station, Overseas Building Note, No. 152 Garston
- Bury M.A., Bühler E., 2002. Methods and Techniques for Placing Self-Consolidating Concrete – An overview of Field Experiences in North American Applications. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 281-286.
- Bury M.A., Christensen B.J., 2002. The Role of Innovative Chemical Admixtures in Producing Self-Consolidating Concrete. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 141-146.
- Büyükçulha, I., 1987. Perlit katkısının pişmiş toprak malzemenin mekanik ve fiziksel davranışlarına etkisinin araştırılması. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Camcıoğlu, V., 1963. Hafif betonlar, İmar İskan Bakanlığı. Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Carbo C., Luco F., Moreno S., Torrent R., 2002. Self-Consolidating Concrete: Design and Performance. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 99-104.
- Collepari M., 2001. A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC). unpublished data, 10.
- Constantiner D., Daczko J.A., 2002. Not All Applications are Created Equal; Selecting the Appropriate SCC Performance Targets. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 179-184.
- Daczko, J.A., 2002. Stability of Self-Consolidating Concrete, Assumed or Ensured. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 245-252.
- Danzinger M.W., Saitoh K., Jost P., 2002. Self-Consolidating Concrete: Key Learning

- and Their Effects on Current Applications. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 417-422.
- Davraz, M., 2001. Pomzann endüstriyel kullanım alanları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İsparta.
- Dehn F., 2002. High Performance Self-Compacting Concretes for Bridge Construction. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 433-438
- Demirboga, R., 2003. Thermo-mechanical properties of sand and high volume mineral admixtures, *Energy Build.* 35 (5) 435– 439.
- Demirboga, R., Özüng İ., Gül R., 2001. Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low- density concretes, *Cem. Concr. Res.* 31 (2001) 1627– 1632.
- Demirboğa, R., 1999. Silis Dumanı Ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza İle Üretilen Hafif Beton Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Domone P.L., Jin J., 1999. Properties of mortar for self-compacting concrete. *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, 109-120.
- Dowson A.J., 2002. The application, self-compacting concrete (SCC) in precast products. *BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry*, Istanbul (Turkey).
- Durmuş, A. ve Aytakin M., 1986. Betonarme inşaatta hafif betonlar. *TMMOB Haber Bülteni*, 8, 12-15, İzmir.
- Düzgün, OA, Gül, R., Aydın AC, Effect of steel fibers on the mechanical properties of natural lightweight aggregate concrete, *Materials Letters*, 59, 3357-3363, (2005).
- EFNARC, 2002. Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete. EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, 32p.
- Erdoğan, T.Y., 1997. Admixtures for Concrete. METU Press, Ankara. Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayın ve İletişim Şti, Ankara.
- Fang W., Jianxiong C., Changhui Y., 1999. Studies on self-compacting high performance concrete with high volume mineral additives, *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, 569-578.
- Felekoglu B., Yardimci M.Y., Baradan B., 2003. A Comparative Study on the Use of Mineral and Chemical Types of Viscosity Enhancers in Self-Compacting Concrete. *3rd International Symposium on Self-Compacting Concrete*, Iceland, (Accepted to be published), 12.
- Felekoğlu, B., 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İzmir
- Felekoğlu, B., 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Ferraris C.F., 1999. Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete: State of the Art Report. *Journal of the National Institute of Standards and Technology*, Volume 104, 461-478 p.
- Gaimster R., Dixon N., 2003, *Advanced Concrete Technology-Processes*, Elsevier Ltd.,

- Oxford, 9/7-8-14 p.
- Gao, X.F., Lo, Y.T., Tam, C.M., 2002. Investigation of Micro-Cracks and Microstructure of High Performance Lightweight Aggregate Concrete. *Building and Environment*, 37,485-489
- Gençten, O., 2005. Hafif ve Normal agregalı Özelliklerine Farklı Kür Şartlarının Etkisi. *Betonların Fiziksel ve Mekanik Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.*
- Ghezai A., Khayat K.H., Beaupre D., 2002. Effect of High-Range Water Reducer-Viscosity Enhancing Admixture Combination on Rheological Properties of Concrete Equivalent Mortar. *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 159-166.
- Gül, R. ve Geçten, O., 1993. Elazığ ferrokrom işletmesi granüle cürufun hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB Ankara Şubesi*, s 291.
- Gül, R. ve Geçten, O., 1994. Hafif agregalı betonun kullanılabilirliği, *DSİ Teknik Bülteni*, sayı 81, sayfa 31-36, Ankara.
- Gül, R., Şahin, R. ve Demirboğa, R., 1997. Kocapınar Pomzası ile Üretilen Hafif betonların Mukavemetlerinin Araştırılması, *İnşaat Müh. Gelişmeler, 3.Teknik Kongresi, Cilt.3, ODTÜ*, s 903-912.
- Gül, R., Türkmen, İ., 1998. Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması. *DSİ, Beton-Çimento Ve Boya Semineri, Ankara.*
- Gül, R., 1996. Hafif İnşaat Malzemeleri, MİM 525 Lisansüstü dersi notları. *Atatürk Üniversitesi Müh. Fak. İnş Müh Bl. Erzurum.*
- Gül R., Yavuz M., and Aydın, A.C., Predicting The Chloride Content From The Color Analysis For Various Cement-Based Materials, *Scientific Research and Essays Vol. 5(15)*, pp. 2004-2015, 4 August, 2010.
- Gül, R., Okuyucu E., Türkmen İ., and Aydın, A.C., Thermo-mechanical properties of fiber reinforced raw perlite concrete, *Materials Letters*, 61/29, 5145-5149 (2007).
- Hasar, U.C., Simsek, O., Aydın, A.C., Application Of Varying-Frequency Amplitude-Only Technique For Electrical Characterization Of Hardened Cement-Based Materials, *Microwave And Optical Technology Letters / Vol. 52, No. 4, April 2010*, pp.801-805.
- Hasar, U.C., Akkaya, G., Aktan, M., Gozu, C., Aydın, A.C., Water-To-Cement Ratio Prediction Using ANNs From Non-Destructive And Contactless Microwave Measurements, *Progress In Electromagnetics Research, PIER 94,2009*, pp. 311-325.
- Haist, M., Mechtcherine V., Beitzel, H., Müller, H.S., 2003, Retrofitting of Building Structures Using Pumpable Self-Compacting Lightweight Concrete. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, RILEM Publications*, 776-785
- Haykawa, M., 1993. Development and Application of Super Workable Concrete. *Proceeding of International RILEM Workshop on Special Concretes Workability and Mixing*, Edited by Prof P.J.M. Bortos, 183-190, Paisley.
- Ho D.W.S., Sheinn A.M.M., Ng C.C., Tam C.T., 2002. "The use of quarry dust for SCC

- applications , Cem. Concr. Res., Vol: 32, 505-511.
- Hollingsworth D., 2002. Design and Use of Self-Consolidating Concrete”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 429-432.
- Hughes D.G., Knight G.F., Mansky E.F., (2002). “Self-Consolidating Concrete – Case Studies Show Benefits to Precast Concrete Producers”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 405-412.
- Hughes J.J., 2002. Evaluation of Self-Consolidating Concrete – Summary Report, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 287-294.
- Hüsem, M. ve Durmuş, A., 1993. Karadeniz Bölgesi Hafif Agregaları ile Üretilen Taşıyıcı Betonlar İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, 1. Teknik Kongre, Gazimagusa, Kuzey Kıbrıs, 1, s 580-588.
- Hüsem, M., 1995. Doğu karedeniz hafif agregalarından biriyle yapılan hafif betonun geleneksel bir betonla karşılaştırılması olarak incelenmesi. K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Izumi, T., 1990. Special Underwater Concrete Admixtures, Concrete Engineering, V. 28, No.3, Mar.1990, p.23.
- Jacobs F., Hunkeler F., 1999. Design of self-compacting concrete for durable concrete structures, Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, 397-410. Jianxiong C., Xincheng P., Yubin H., 1999. A study of self-compacting HPC with superfine sand and pozzolanic additives, Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, pp. 549-560.
- JSCE, 1992. Japan Society of Civil Engineers. Recommendations for Design and Construction of Antiwashout Underwater Concrete, Concrete library of JSCE, 19 (1992) 89.
- Kadri E.-H., Aggoun S., Duval R., Petruk M.P., 2000. Influence of C3A on physico-chemical and mechanical properties of high performance concretes, Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s, Volume II, Istanbul, Turkey, 31-39.
- Kawai, T., 1987. Non-Dispersible Underwater Concrete Using Polymers, Marine Concrete, International Congress on Polymers in Concrete, Brighton, England, Sept. 1987, Chapter11.5, p.6.
- Khayat K.H., 1995. Effects of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties. ACI Materials Journal, March-April, pp. 164-171.
- Khayat K.H., Assaad J., Mesbah H., 2002. Variations of Formwork Pressure of Self-Consolidating Concrete – Effect of Section Width and Casting Rate. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 295-302.
- Khayat, K.H., 1999. Workability Testing and Performance of Self Consolidating Concrete. ACI Material Journal, Vol. 96, 346-353 p.
- Khayat, K.H., Yahia, A., 1997. Effect of Welan Gum-High-Range Water Reducer Combinations on Rheology of Cement Grout. ACI Materials Journal V.94, No.5, October 1997, 365-372.
- Khurana R., Topçu O., 2000. Role of Superplasticizers in the development of self compacting concrete. Second International Symposium on Cement and Conc.

- Tech. in the 2000s, Volume I, 473-482 p, Istanbul, Turkey.
- Klug, Y. and Holschemacher, K., 2003. Applications of Self-Compacting Concrete in Japan. Proceedings of the 3rd International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, RILEM Publications, 596-605
- Kohno, K., Okamoto, T., Isikawa Y., Sibata, T., Mori, H., 1999. Cement and Concrete Res.
- Kurita, M., Nomura, T., 1998. Highly-Flowable Steel Fiber-Reinforced Concrete Containing Fly Ash. ed: Molhotra, V.M., ACI, SP 178, 159-175.
- Kurt, M., 2009. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Lachemi, M., Hossain, K.M.A., Lambros, V., Nkinamubanzi, P.-C, Bouzoubaa, N, 2004. Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures, Cement and Concrete Research, 34, (2004), 917-926.
- Lawrence, P., Cyr, M., Ringot, E., 2004. Mineral Admixtures in Mortars Effect of Type, Amount, and Fineness of Fine Constituents on Compressive Strength. Cement and Concrete Research, (35), 1092-1105
- Li L.-S., Hwang C.-L., 2002. A Quality assurance System of SCC in Taiwan. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 275-280.
- Long A.E., Henderson G.D. and Montgomery F.R., 2001. Why assess the properties of near surface concrete. Construction and Building Material 15, 65-79
- Lura, P., Breugel, K., Maruyama, I., 2001. Cem. Concr. Res., 31, 1867-1872
- Martin D.J., 2002. Economic Impact of SCC in Precast Applications. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 153-158.
- Mehta P.K., Monteiro P.J.M., 1997. Concrete Microstructure, Properties and Materials. Indian Concrete Institute, 548p.
- Mehta, P. K. ve Monteiro, P. J. M., 2001. Concrete (microstructure, properties and materials). Second Edition, University of California, Berkeley, 167-171.
- MTA, 1985. Türkiye Perlit Envanteri. MTA genel müdürlüğü yayınları, Ankara.
- Nagataki S., 2000. Advanced technology for high fluidity concrete. Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s, Volume I, Istanbul, Turkey, 87-102.
- Neville, A. M., 2003. Properties of Concrete. 4th Edition. Pitman Publishing, London
- Okamura H., Ouchi M., 1999. Self-compacting concrete. Development, present use and future. Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, p. 3-14.
- Okamura, H. and Ouchi, M., 2003. Self Compacting Concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, 1(1), 5-15 p, April 2003, Japan Concrete Institute.
- Okamura, H., Ouchi M., 1999. Self-compacting concrete. Development, present use and future. Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, p., 3-14.
- Ouchi M., 1999. Self-compacting concrete—Development, applications and investigations. Nordic Concrete Research Committee Publications, 5p.
- Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, M. and Okamura, H., 1989. Development of high performance concrete based on the durability of concrete structures. Proceedings

- of the second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction(EASEC-2), 1, 445-450
- Ozawa, K., Tagtermsirikul, S. and Maekawa, K. 1992. Role of materials on the filling capacity of fres concret. Proceedings of the Fourth CANMET and ACI International Conference on Flay Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, 212-237 p., Istanbul.
- Oğuz, E., Aydın, A.C., Prediction Of Adsorption Velocity Of Phosphate Removal From Wastewater With Gas Concrete, Including Ph, Temperature, And Agitation Speed, Int. Journal of Environment and Pollution, 19, 603-614, (2003).
- Özkul M.H., Doğan Ü.A., Çavdar Z., Sağlam A.R., Parlak N., 2000. Effects of self compacting concrete admixtures on fresh and hardened concrete properties.Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s, Volume I, Istanbul, Turkey, pp. 493-502.
- Özkul, H., Taşdemir M. A., Tokyay M., Uyan M., 1999. Her Yönüyle Beton”, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Erkek Teknik Öğretim Genel Müdürlüğü, Hazır Beton Birliği, Aralık, 1999.
- Perez N., Hermida G., Romero H., Cuellar G., 2002. Self-Compacting Concrete, on the Search and Finding of an Optimized Desig., First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 105-112.
- Persson, B., 2001. A comparision between mechanical properties of self compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete. Cement and Concrete Research, 31, 193-198.
- Petersson Ö., 2000. Limestone Powder as Filler in Self-Compacting Concrete – Frost Resistance, Compressive Strength and Chloride Diffusivity. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 391-396.
- Phyfferoen A., Monty H., Skaggs B., Sakata N., Yanai S., Yoshizaki M., 2002. Evaluation of the Biopolymer, Diutan Gum, for Use in Self-Compacting Concrete. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 147-152.
- Punkki J., Golaszewski J., Gjorv O.E., 1996. Workability Loss of High-Strength Concrete. ACI Materials Journal, September-October, pp. 427-431.
- Raghavan K.P., Sarma B.S., Chattopadhyay D., 2002. Creep, Shrinkage and Chloride Permeability Properties of Self-Consolidating Concrete. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 341-348.
- Richtie A. G. B., 1962. The Triaxial Testing of Fresh Concrete. Mag. Concr. Res., Vol: 14 (40), 37-41 p.
- Rols S., Ambrosie J., Pera J., (1999). Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete. Cem. Concr. Res., Vol: 29, pp. 261-266.
- Roshavelov T., 2002. Concrete Mixture Proportioning Based on Rheological Approach, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 113-120.
- Saak A.W., Jennings H.M., Shah S.P., 2001. New Methodology for Designing Self-Compacting Concrete. ACI Materials Journal, November-December, 429-439 p.
- Sağlam A.R., 2000. Süperakışkanlaştırıcı ve viskozite arttırıcı katkıların kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisi. Sika Teknik Bülten, 2000/4,s. 9-16.
- Sağsöz, A. E., 2007. Farklı Kür Şartlarının Doğal Perlit Agregalı Betonların Mekanik

- Özelliklerine Etkisi Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Sakamoto, J., Matsuoka, Y., Shindoh, T. and Tagtermsirikul, S. 1991. An application of super workable concrete to construction of actual structures. Transaction of the Japan Concrete Institute,13.
- Sari M., Prat E., Labastire J.-F.,1999. High strength self-compacting concrete – Original solutions associating organic and inorganic admixtures. Cem. Concr.Res., Vol: 29, pp. 813-818.
- Schuietemaker, E.J., Van Breugel, K., Den Uijl, J.A., 2003, Design of Self-Compacting Lightvweight Concrete with Environment-Friendly Lightweight Aggregate, Proceedings of the 3rd International Syposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, RILEM Publications, pp.725-731
- Shadle R., Somerville S., 2002. The Benefits of Utilizing Fly Ash in Producing Self-Consolidating Concrete. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 235-244.
- Sheinn, A.M.M., Ho, D.W.S., Tam, C.T., 2003. Effect of Partide Shape on Paste Rheology of SCC. Proceedings of the 3rd International Syposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, RILEM Publications, pp.232-239
- Shi C., Wu Y., Shao Y., Riefler M., 2002. Comparison of Two Design Approaches for Self-Consolidating Concrete. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 349-354.
- Siddique, R., 2002, Composite Materials in Concrete Construction, Thomas Telford Publishing, p. 51
- Sonebi M., Bartos P.J.M., 1999. Hardened SCC and its bond with reinforcement. Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, pp. 275-290.
- Su N., Hsu K.-C., Chai H.-W., 2001. A simple mix design of self-compacting concrete. Cem. Concr. Res., Vol: 31, pp. 1799-1807.
- Şahin, R., 1996. Kocapınar pomzası ile üretilen Hafif Betonların Mukavemetinin Araştırılması, Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Şahin, R., Demirboğa R., Uysal H., Gül R., 2003. The effects of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratios on the compressive strength and densities of concrete. Cement and Concrete Research,33 (2003), 1245–1249.
- Tandırılı E., Akalın Ö., Arca E., 2000. The effect of melamine based superplasticizers on the properties of concrete. Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s, Volume I, Istanbul, Turkey, pp. 453-462.
- Taşdemir, C., 2003. Hafif betonların ısı yalıtım ve taşıyıcılık özellikleri. TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 427 -2003/5, sayfa 61
- Taşdemir, M. A., 1982. Taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları. İTÜ İnşaat Fakültesi, Doktora tezi, İstanbul.
- Taşdemir, M.A., 1984. Taşıyıcı Hafif Betonların Mukavemet ve Deformasyon Yeteneğine Hafif Agregata Boyutunun Etkisi. Kuzey Doğu Anadolu I. Ulusal Deprem Sempozyumu, 367-384, Erzurum.
- Termkhajornkit P., Nawa T., Ohnuma H., 2002. Role of Fly Ash and Naphthlene Sulfonate Superplasticizers on Fluidity of Paste. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 39-46.

- Tokuyay, M., 1997. Hafif Beton Özelliklerine Çimento Miktarının Etkisi, TÇMB
- Topcu. İ.B., 2006. Beton Teknolojisi. Uğur Ofset. Eskişehir
- TS 1114 EN 13055-1., 2004. Hafif Agregalar. Bölüm 1, Beton Harç ve Şerbette Kullanım için, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1114 EN 13055-1., 2004. Hafif Agregalar. Bölüm 1, Beton Harç ve Şerbette Kullanım için, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 12390-3., 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyle, Bölüm 3, Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 12390-6., 2002. Beton-Sertleşmiş Deneyle, Bölüm 6, Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 2511., 1977. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, Ankara.
- TS 2511., 1977. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2823.,1986. Bims betondan mamul yapı elemanları, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara
- TS 3234, 1978., Bimsbeton Yapım Kuralları. Karışım Hesabı ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3234, 1983., Bimsbeton Yapım Kuralları. Karışım Hesabı ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3322., 1979. Çimento Harcı ve Beton Numunelerinde Boy Değişimi Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3453., 1981. Beton Elemanlarda Büzülme Oranı (Rötre) Tayin Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3527, (1980). Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3529, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlık Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3530 EN 933-1., 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyle. Bölüm 1, Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini, Eleme Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3624., 1981. Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620., 2003. Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620., 2003. Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 1097-6,2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyle Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1227 ISO 3310-1, 1996. Deney Elekleleri -Teknik Özellikler ve Deneyle -Kısım 1: Tel Örgülü Deney Elekleleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1, 2000. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyle-Bölüm 1: Kimyasal Analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206-1., 1997. Beton. Bölüm 1, Özellik , Performans, İmalât ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206-1., 1997. Beton. Bölüm 1, Özellik, Performans, İmalât ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 993-2, 1996. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyle Kısım 2: Tane Boyutu Dağılım Tayini-Deney Elekleleri, Elek Göz Açıklıklarını Anma

- Büyüklikleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turcay P., Loukili A., Haidar K., 2002. Mechanical Properties, Plastic Shrinkage and Free Deformations of Self-Consolidating Concrete. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 335-340.
- Turgutalp, Ü., 1978. Sarıkamış Yöresi Doğal Hafif Agregaları ile Üretilen Betonların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilir Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Doçentlik Tezi, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Erzurum.
- Türkel S., Felekoglu B., (2003). "Silika Dumanı ve Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Betonda Kendiliğinden Yerleşebilirlik ve Basınç Dayanımı Üzerine Etkileri", Kocaeli 2003 Deprem Sempozyumu, Kocaeli Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Araştırma Merkezi, 8s.
- Türkmen, İ., and Kantarcı H., 2006. Effect of Expanded Perlite Agregate and Different Conditions on the Drying Shrinkage of Self Compacting Concrete, Indian Journal of Engineering and Sciences, vol. 13, pp 247-252
- Türkmen İ., Öz A., and Aydın, A.C., Characteristics Of Workability, Strength, And Ultrasonic Pulse Velocity Of SCC Containing Zeolite And Slag, Scientific Research and Essays Vol. 5(15), pp. 2055-2064, 4 August, 2010.
- Tviksta L.-G., 2000. Brite Euram Project: Rational Production and Improved Working Environment Through Using Self Compacting Concrete-FINAL REPORT: TASK 8.4 Quality control", NCC AB, 28p.
- Tortum, A., Celik, C., Aydın A.C., Determination of the Optimum Conditions for Tire Rubber In Asphalt Concrete, Building and Environment, 40, 1492-1504, (2005).
- Urhan, S., 1997. Hafif ve çok hafif agregaların karakteristik özellikleri ve teknik kapasiteleri. TÇMB Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, sayı 7, 19-28.
- Ürün kataloğu, 2004. Kyoto Electronics Manufacturing Co. Ltd. Japan.
- Vachon M., Daczko J., 2002. U.S. Regulatory Work on SCC, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 423-428.
- Vachon M., Kaplan D., Fellaki A., 2002. A SCC Application with Eccentric Sand. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 469-474.
- Walraven J., 2002. Self-Compacting Concrete in the Netherlands. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 399-404.
- Walraven, J., 2003. Structural Aspects of Self Compacting Concrete. Proceeding of 3rd International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Iceland.
- Yahia A., Tanimura M., Shimabukuro A., Shimoyama Y., 1999. Effect of rheological parameters on self compactability of concrete containing various mineral admixtures. Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A. Skarendahl and Ö. Petersson, pp. 523-536.
- Yahia A., Tanimura M., Shimoyama Y., (2002). "Evaluation of Deformability of Different Types of Self-Consolidating Concrete", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 303-310.
- Yaprak, H., Şimşek, O., Aruntaş, H.Y., 2004. Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Beton Özelliklerine Etkisi, Beton 2004 Kongresi Bildirileri, İstanbul, 707-712s.
- Yeğinobalı, A., 1997. Hafif beton ve yüksek dayanımlı hafif beton. TÇMB Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, sayı 8, 20-30.
- Yen T., Chang C.-S., Chen H.-J., 2000. New index for flowability of fresh concrete.

Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s,
Volume II, Istanbul, Turkey, pp. 3-12.

Yoshioka K., Tazawa E.-I., Kawai K., Enohata T., 2002. Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals. *Cem. Concr. Res.*, Vol: 32, pp. 1507-1513.

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Said GÜL 1983 Yılında Elazığ'da doğdu. 2000 yılında Erzurum Merkez İmam Hatip Lisesinden mezun oldu ve 2002 yılında Atatürk Üniversitesi Erzurum Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümüne girdi. 2004 yılında Atatürk Üniversitesi Erzurum Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümünden mezun oldu ve Dikey geçiş sınavı ile Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve İstanbul Pendik Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğünde 15.11.2007 tarihinde inşaat Mühendisi olarak çalışmaya başladı ve halen aynı yerde çalışmaktadır.