

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞIR AGREGALI
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN ÖZELLİKLERİ

Başak ZENGİN

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cengiz ÖZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2012

TEZ ONAYI

Başak ZENGİN tarafından hazırlanan “**Ağır Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cengiz ÖZEL

Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

(İmza)

Yrd. Doç. Dr. Osman GENÇEL

Bartın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

(İmza)

Jüri Üyeleri:

Yrd. Doç. Dr. Melda ALKAN ÇAKIROĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

(İmza)

Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN
Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton	3
2.1.1. Tanım	3
2.1.2. Kendiliğinden yerleşen betonun tarihsel gelişimi	4
2.1.3. KYB'nin bileşimi	6
2.1.3.1. KYB'de agrega	6
2.1.3.2. KYB'de çimento	8
2.1.3.3. KYB'de ince malzemeler	9
2.1.3.4. KYB'de kimyasal katkı	10
2.1.4. KYB'de karışım tasarımı	12
2.1.5. Kendiliğinden yerleşen beton özellikleri	13
2.1.6. Kendiliğinden yerleşen taze betonun sınıflandırılması	17
2.1.7. KYB'larda deney metotları	19
2.1.7.1. Kendiliğinden yerleşen taze beton deneyleri	20
2.1.7.2. KYB'de sertleşmiş beton özellikleri	24
2.1.8. Kendiliğinden yerleşen beton kullanımının avantajları	25
2.1.9. Kendiliğinden yerleşen betonun kullanımının dezavantajları	26
2.1.10. Kendiliğinden yerleşen beton ile ilgili yapılmış önceki çalışmalar	27
2.1.10.1. KYB'de agrega ile ilgili çalışmalar	27
2.1.10.2. KYB'de çimento ile ilgili çalışmalar	29
2.1.10.3. KYB'de katkı ile ilgili çalışmalar	30
2.1.10.4. KYB'de yüksek sıcaklık ile ilgili çalışmalar	31
2.2. Ağır Agregalı Beton	34

2.2.1. Tanımı	34
2.2.2. Ağır beton agregası ve çimentosu	35
2.2.3. Ağır betonun özellikleri	39
2.2.4. Ağır betonlarla ilgili yapılmış önceki çalışmalar	39
2.2.4.1. Ağır betonlarda agrega ile ilgili çalışmalar	39
2.2.4.2. Ağır betonlarda radyasyon ile ilgili çalışmalar	41
2.2.4.3. Ağır betonlarda yüksek sıcaklık ile ilgili çalışmalar	43
2.3. Yüksek Sıcaklık	44
2.3.1. Yüksek sıcaklığın çimento hamuruna etkisi	44
2.3.2. Yüksek sıcaklığın agregaya etkisi	46
2.3.3. Yüksek sıcaklığın betona etkileri	48
2.3.3.1. Isıl iletkenlik	48
2.3.3.2. Özgül ısı ve ısıl genleşme	49
2.3.3.3. Isıl yayılma	49
2.3.3.4. Isı şoku parametresi	50
2.3.3.5. Kütle kaybı	50
2.3.3.6. Birim hacim ağırlığı	50
2.3.3.7. Boşluk oranı	51
2.3.3.8. Renk	51
2.3.3.9. Basınç dayanımı	52
2.3.3.10. Çekme dayanımı ve elastisite modülü	53
2.3.4. Yüksek sıcaklıkla ilgili yapılmış önceki çalışmalar	54
2.3.4.1. Yüksek sıcaklık da agrega ile ilgili çalışmalar	54
2.3.4.2. Yüksek sıcaklık da ilave malzeme ile ilgili çalışmalar	55
3. MATERYAL ve YÖNTEM	57
3.1. Kullanılan Malzemeler	58
3.1.1. Agregaların seçimi ve sağlanması	58
3.1.2. Çimento	58
3.1.3. Kimyasal katkı	58
3.1.4. Karışım suyu	58
3.1.5. Beton karışım hesapları	59
3.2. Yöntem	59

3.2.1. Birim hacim ağırlık	59
3.2.2. Taze beton deneyleri	61
3.2.3. Hava miktarı tayini deneyi	61
3.2.4. Doldurma yeteneğinin ölçülmesi	62
3.2.5. Sertleşmiş beton deneyleri	64
3.2.5.1. Mekanik özellikler için yapılan deneyler	65
3.2.5.2. Tahribatsız sertleşmiş beton deneyleri	68
3.2.5.3. Yüksek sıcaklık deneyi	69
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	72
4.1. Agregaların Kimyasal Özellikleri	72
4.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri	72
4.3. Agregaların Granülometrik Özellikleri	74
4.4. Agregaların Karışım Oranları ve Granülometreleri	75
4.5. Çimento	76
4.6. Kimyasal Katkı	77
4.7. Beton Karışım Hesabı	78
4.8. Taze Beton Deney Sonuçları	79
4.8.1. Hava ölçer deney sonuçları	79
4.8.2. Birim hacim ağırlık deney sonuçları	80
4.8.3. KYB' nin doldurma yeteneği	81
4.8.4. Geçebilme yeteneği	85
4.8.5. Ayrışmaya karşı direnç	87
4.9. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	88
4.9.1. Sertleşmiş beton deney mekaniksel özellikleri	88
4.9.2. Sertleşmiş betonun fiziksel özellikleri	91
4.10. Yüksek Sıcaklık	95
4.10.1. Yüksek sıcaklığın kyb basınç dayanımına etkisi	95
4.10.2. Yüksek sıcaklığın kyb ultrases geçiş hızına etkisi	97
5. SONUÇ	99
6. KAYNAKLAR	102
ÖZGEÇMİŞ	113

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AĞIR AGREGALI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN ÖZELLİKLERİ

Başak ZENGİN

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cengiz ÖZEL

Bu çalışmada, ağır beton üretimindeki zorlukları azaltmak amacıyla kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) avantajlarından faydalanılmış ve ağır agregalı kendiliğinden yerleşen beton üretimi yapılmıştır. Bununla birlikte ağır agregalı betonların nükleer santrallerde daha yaygın kullanıldığı dikkate alındığında, nükleer patlamalar sırasında oluşacak yüksek sıcaklık ve patlama ile yayılacak olan erimiş metalin betona vereceği zararı aza indirebilmek için refrakter malzeme kullanılarak yüksek sıcaklığa da dayanıklı beton üretilmiştir.

Numune üretiminde ağır agrega olarak demir içerikli hematit tercih edilmiş ve kırmataşla alternatif beton dökülmüştür. İki farklı çimentoyla (CEM I 42.5 R ve Alüminatlı) birlikte yeni nesil süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Su/çimento (s/ç) oranı sabit tutulmuş (0.42) ve üç farklı (500, 400 ve 300 kg/m³) çimento dozajında betonlar üretilmiştir.

Hazırlanan bu karışımlarda taze beton deneyleri (hava miktarı, BHA, çökme yayılması, L kutu ve V huni) uygulanıp 28 gün kürde kaldıktan sonra sertleşmiş beton deneyleri (basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, schmidt ve ultrases geçiş hızı) uygulanmıştır. Bunlarla birlikte numuneler 3 saat boyunca 20 °C, 100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. 1 saat boyunca havada ve suda soğutma işlemine tabi tutulup ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır.

Sonuç olarak; ağır agregalı kendiliğinden yerleşen beton üretimi yapılmıştır. Taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları KYB özelliklerini sağlamıştır. Yüksek sıcaklığa dayanıklı KYB üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: KYB, hematit, yüksek sıcaklık, taze ve sertleşmiş beton.

2012, 113 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETE WITH HEAVY AGGREGATE

Başak ZENGİN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Construction Education**

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Cengiz ÖZEL

Benefited from advantages of self-compacting concrete in order to reduce the difficulties during production of heavy concrete as a result of them targeted to produce heavy aggregate self-compacting concrete. At the same time, considering that heavy aggregate concretes are more widely used in nuclear power plants, by using refractory material high temperature resistant concrete produced to reduce harm of the molten metal which is spread with the high temperature and explosion during the nuclear explosions to the concrete.

Hematite iron content preferred as the heavy aggregate during the production of the sample and alternative concrete poured by using normal aggregate. Used two different cement and new generation süper plasticizer. Water/cement ratio kept constant (0.42) and three different cement dosage is preferred.

Fresh concrete experiments (air proportion, uvw, slump flow, L box and V funnel) are applied in these mixtures after that hardened concrete experiments (Compressive strength, elastic model, tensile strength, schmidt and ultrasonic velocity test) are applied the concretes which are exposed to cure for 28 days. In addition to this, samples are subjected to 20 °C, 100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C and 800 °C temperatures during 3 hours. Samples are subjected to air and water cooling process for 1 hour after that ultrasonic velocity test and compressive strength are applied.

Finally self compacting concrete with heavy aggregate is produced. The results of the experiments of fresh and sclerous concrete are provided SCC properties. High temperature resistant SCC is produced.

Keywords; SCC, hematite, high temperature, fresh and hardened concrete

2012, 113 pages

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı sürdürdüğüm dönemde, çalışma disiplini sağlayan, gösterdiği büyük sabrı, öneri, eleştiri ve düzenlemeleriyle çalışmanın gerçekleşmesine katkıda bulunan tez danışmanım saygıdeğer hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Cengiz ÖZEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince her türlü konuda desteklerini esirgemeyen Sayın Doç.Dr. Ali KOÇAK ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan YILDIRIM'a teşekkürlerimi sunarım.

2985-YL-11 No'lu projeler ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Yönetim Birimi Başkanlığına teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımın gerçekleşmesini sağladıkları destekten dolayı İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuvarı çalışanlarının her birine ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Özellikle deneysel çalışmalarımda beni yalnız bırakmayan kardeşim M.Bahtiyar ZENGİN'e teşekkür ederim.

Tez ve lisans dönemim boyunca çalışmalarına destek sağlayıp yanımda olan arkadaşlarım Hasan POLAT ve Oktar SOYKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Başak ZENGİN
ISPARTA, 2012

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kendiliğinden yerleşen betonun şantiye ortamında dökümü.....	3
Şekil 2.2. KYB bileşimi	6
Şekil 2.3. Kendiliğinden yerleşen betonun reolojik özellikleri.....	12
Şekil 2.4. V hunisi deney aleti	22
Şekil 2.5. L kutusu deney aleti	23
Şekil 2.6. Hematit agregası	36
Şekil 2. 7. Boşluk suyu transferi	45
Şekil 2.8. Yüksüz olarak ısıtılan ve sıcak olarak test edilen çimento hamurunun basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi	45
Şekil 2.9. Beton basınç dayanımının agrega türüne göre sıcaklıkla değişimi	47
Şekil 3.1. Üretilen beton dizaynları ve uygulanan araştırma deneyleri	60
Şekil 3.2. Hava ölçer aletine ait şematik görünümü ve kullanılan hava ölçer deney aleti.....	62
Şekil 3.3. Yayılma deneyi	63
Şekil 3.4.V huni deney aparatı	64
Şekil 3.5. L kutu deneyi	64
Şekil 3.6. Numunelerin başlıklanması	66
Şekil 3.7. Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi	67
Şekil 3.8. Eğilme dayanım deney düzeneği	68
Şekil 3.9. Ultrases geçiş hızı deneyi	69
Şekil 3.10.Yüksek sıcaklık fırınındaki malzemeler ve fırını.....	70
Şekil 4.1. Hematit tüvenan agregası.....	73
Şekil 4.2. Agregayı tane sınıflarına ayırmak için kullanılan cihaz	73
Şekil 4.3. İnce agreganın granülometresi	74
Şekil 4.4. İri agrega granülometresi	75
Şekil 4.5. Kalkerli seriler için karışım granülometreleri	76
Şekil 4.6. Hematitli seriler için karışım granülometresi	76
Şekil 4.7. Beton karışımlarında kullanılan malzemenin miktarları ve ağırlıkça oranları	78
Şekil 4.8. Beton karışımlarında kullanılan malzemenin hacim oranları	79

Şekil 4.9. Taze betonda hava miktarının agrega tipi, çimento tip ve dozajına göre değişimi.....	80
Şekil 4.10 Çimento dozaj miktarı ile agrega tipine göre taze BHA değişimi	81
Şekil 4.11. Agrega ve çimento türüne göre çökme yayılması-çimento dozajı ilişkileri	82
Şekil 4.12. Çökme yayılım süreleri ve beton serileri	83
Şekil 4.13. Agrega ve çimento türüne göre V hunisi yayılması-çimento dozajı ilişkileri	84
Şekil 4.14. Çökme yayılması ve V huni yayılması deneylerinin karşılaştırılması.....	85
Şekil 4.15. L kutu (H2/H1) oranının çimento dozajına göre değişimi.....	86
Şekil 4.16. L kutu ve beton serileri geçiş süresi.....	87
Şekil 4.17. V huni, Tson ve V huni yayılma	88
Şekil 4.18. Agrega ve çimento türüne göre basınç dayanımı-çimento dozajı ilişkileri	89
Şekil 4.19. Agrega ve çimento türüne göre elastite modülü-çimento dozajı ilişkileri	90
Şekil 4.20. Agrega ve çimento türüne göre eğilme dayanımı-çimento dozajı ilişkileri	91
Şekil 4.21. Agrega ve çimento türüne göre ultrases geçiş hızı-çimento dozajı ilişkileri	92
Şekil 4.22. Agrega ve çimento türüne göre schmidt-çimento dozajı ilişkileri.....	93
Şekil 4.23. Sertleşmiş beton deneylerinden basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve schmidt yüzey sertliği değerlerinin değişimleri.....	94
Şekil 4.24. Taze beton deneylerinden BHA ve HVÖ değerlerinin değişimleri	94
Şekil 4.25. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonun havada ve suda soğutmayla beton serilerinde basınç dayanımı	96
Şekil 4.26. Agregaların çatlaması	96
Şekil 4.27. Bağların kopması	96
Şekil 4.28. Sudaki soğutma işleminden sonra dağılan numune	97
Şekil 4.29. Ultrases geçiş hızı ve beton serilerinin ilişkisi.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Taze KYB için önerilen deney aralıkları	18
Çizelge 2.2. Taze beton sınıflandırılması.....	19
Çizelge 2.3. Türkiye’de başlıca yüksek tenörlü demir madenleri	38
Çizelge 3.1. Uygulan deney metotları.....	57
Çizelge 3.2. KYB’nin taze haldeki özellikleri ve belirlenme için yapılan deneyler..	61
Çizelge 4.1. Agregaların kimyasal özellikleri.....	72
Çizelge 4.2. Agregaların tane yoğunlukları ve su emme oranları.....	73
Çizelge 4.3. Gevşek ve sıkışık birim hacimleri.....	74
Çizelge 4.4. Agregaların karışım oranları	75
Çizelge 4.5. CEM I 42.5R’nin özellikleri	77
Çizelge 4.6. Kimyasal katkı özellikleri	77

SİMGELER DİZİNİ

KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
SCC	Self Compacting Concrete
ACI	American Concrete Institute
SA	Süperakışkanlaştırıcı
SD	Silis dumanı
PÇ	Portland çimento
SF	Akıcılık
VS	Viskozite
PA	Geçebilme yeteneği
SR	Ayrışma Direnci
CSH	Kalsiyum silikat hidrate
K.K	Kızdırma Kaybı
Ç.K	Çözdürme Kaybı
T ₅₀	Çökme yayılması ve V huni yayılmasında taze betonun 50 cm çapa yayılma süresi
T _{son}	Çökme yayılması ve V huni yayılmasında taze betonun yayılım süresi
T ₄₀	L kutu taze betonun 40 cm'ye gelme süresi
T ₂₀	L kutu taze betonun 20 cm'ye gelme süresi
ASTM	American Society for Testing Materials
EFNARC	European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
P	Basınç
A	Alan
σ_b	Basınç Mukavemeti
ε	Şekil değiştirme
σ	Gerilme
σ_e	Eğilme Dayanımı
V	Ultrases Geçiş Hızı
Mev	Mega electron volt
Gy	Grey

1. GİRİŞ

Beton tasarımının kolaylığı, dayanıklılığı, işlenebilirliği ve sürdürülebilir oluşu ve ekonomik gibi nedenlerden dolayı kullanılan en yaygın malzemedir. Beton bileşimi ve üretim süreci teknolojik gelişmelere paralel olarak sürekli gelişmektedir. Beton özelliklerindeki en büyük gelişmeler başlangıçta bileşenler üzerinde olmuştur.

Öncelikle beton içeriğinde kullanılan malzemeler; çimento çeşitleri, farklı agregalar mineral ve kimyasal katkıları geliştirilmiştir. Bununla birlikte çimento türleri daha da gelişmeye devam etmektedir, son dönemlerde yüksek sıcaklığın etkisini azaltmak için refrakter malzeme özelliğine sahip alüminatlı çimento yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çimento dışında betonun özelliğini etkileyen ve betonun % 75 civarını oluşturan agregalarında betonun gelişmesi için önemli etkisi bulunmaktadır. Agregalar türlerinin artmasıyla kullanılan agregaların farklı birim ağırlığına sahip olmasından dolayı farklı beton türleri (hafif beton, normal beton ve ağır beton) oluşmuştur.

Beton üretiminde içeriği kadar üretim işlemi ve döküm hizmetlerinde de teknolojiye faydalanılmaktadır. Bunların başında betonun içindeki hava boşluklarını azaltabilmek için vibrasyon işlemi yapılmasıdır. Beton üretiminde vibrasyon önemli yer tutmaktadır ancak vibratörün ulaşamadığı yerler bulunmaktadır. Ayrıca vibrasyon işçilik ve gürültü açısından da zarar vermektedir. Ağır betonda segregasyona yol açmaktadır. Bunlardan yola çıkarak kimyasal ve mineral katkılardan da yararlanarak kendiliğinden yerleşen beton üretimi yapılmış ve geliştirilmiştir. Vibratörün ulaşamadığı yerlerde, donatıların çok yoğun olduğu alanlarda, yüksek perdelerin üretiminde ve betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kendiliğinden yerleşen beton kullanımı yaygınlaşmıştır.

Bu çalışmada, ağır agregayla (hematit) üretilen kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Birinci bölümde çalışma genel olarak anlatılmıştır.

İkinci bölüm üç ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım; kendiliğinden yerleşen betonun tanımı, gelişmesi, bileşimi, özellikleri (doldurma yeteneği, geçebilme yeteneği ve ayrışmaya karşı direnci), sınıflandırması, taze ve sertleşmiş beton deneyleriyle birlikte konuyla ilgili çalışmalara yer verilmiştir. İkinci kısımda ağır agregalı betonların ağır agregaları, betonun özellikleri, yapılan deneyler ve konuyla ilgili önceki çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü kısım ise yüksek sıcaklığın etki parametleri ve konuyla ilgili önceki yapılmış çalışmalar anlatılmıştır.

Materyal ve yöntemlerin anlatıldığı üçüncü bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, bu malzemeler üzerinde yapılan tanımlayıcı ön deneyler ve araştırma deneylerinde kullanılan cihazlar ve deneylerin yapılış şekilleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler sunulmuştur.

Beşinci bölümde ise, elde edilen verilere göre çıkarılan sonuçlar tartışılmış ve öneriler yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton

2.1.1. Tanım

Kimya alanındaki gelişmeler ve polimer teknolojisinin ilerlemesi, 1980'li yılların ortalarından itibaren çok etkili akışkanlaştırıcıların keşfine sebep olmuştur. Yüksek oranda su kesme yeteneğine sahip bu akışkanlaştırıcılar aynı zamanda taze betonun işlenebilirliğini de arttırmaktadır. Yeni nesil akışkanlaştırıcıların sağladığı bu etki bilim adamlarını taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken sıkıştırma ve yerleştirme işlemini ortadan kaldırmak için araştırma yapmaya yöneltmiştir. Böylece kendiliğinden yerleşen beton kavramını ortaya çıkarmıştır (Felekoğlu, 2003).

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığının etkisiyle akabilen, içinde sık ve yoğun donatı ağı bulunan bir kalıbı tamamen dolduran ve bu esnada bozulmayan betondur (Özkul, 2002).

Daha geniş KYB tanımı ise, 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 yaratmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür (Felekoğlu, 2003). Kendiliğinden yerleşen beton dökümü Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Kendiliğinden yerleşen betonun şantiye ortamında dökümü

Kendiliğinden yerleşen beton literatürde üç farklı isimde anılmaktadır. Literatürde en yaygın kullanılanı Kendiliğinden Sıkışan Beton (Self-Compacting Concrete - SCC)'dur. Özellikle döşeme tipi, geniş boyutlu yüzeysel alanlarda kullanılması halinde, Kendiliğinden Yüzeyleyen Beton (Self-Levelling Concrete - SLC) adı kullanılmaktadır. Kendiliğinden Yüzeyleyen Beton'dan kendi ağırlığı ile her 4 m'de 1 mm'den fazla kot farkı oluşturmaksızın, akarak yatay konum alması beklenmektedir. Kuzey Amerika'da Kendiliğinden Konsolide Olan, Çöken Beton (Self-Consolidating Concrete – SCC) adını kullanmaktadır. Kullanım alanı ve bölgeye göre değişen bu isimler birbiri yerinede kullanılmaktadır. Türkiye'de çoğunlukla Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) terimi kullanılmakta olup Kendiliğinden Sıkışan Beton (KSB) veya Kendiliğinden Sıkışarak Yerleşen Beton isimleri de alternatif olarak kabul görmektedir (Felekoğlu, 2003).

2.1.2. Kendiliğinden yerleşen betonun tarihsel gelişimi

1983'lü yılların başlarında Japonya'da beton yapılarda durabilite önemli bir problem olmuştur. Dayanıklı beton yapıların gelişimde başarı için en etkin çözüm olarak kendi ağırlığında vibrasyonsuz beton üretilmiştir (Okamura ve Ouchi, 2000).

Betonda kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı ilk olarak Tokyo Üniversitesinde, 1986 yılında Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından ortaya atılmıştır. Su altında beton dökümü uygulamalarında, vibrasyonsuz beton dökümlerinden edinilen tecrübe ile KYB üretilmesi amaçlanmıştır. Okamura'nın başlattığı çalışmaları Ozawa, Ouchive Maekawa gibi birçok araştırmacı tarafından devam ettirilmiştir. 1988 yılında aynı üniversitede yüksek performanslı KYB örneği üretilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu özel tip betonun geliştirilmesinde öncelikli amaç, dayanımın yanı sıra dayanıklılık açısından da yüksek performans sağlamaktır (Topçu vd., 2006).

Kendiliğinden yerleşen yüksek performanslı betonuda aşağıda sıralanan 3 aşamada belirli artıları yerine getirmesi öngörülmüştür;

1. Taze halde iken kendiliğinden sıkışabilme,
2. İlk olumsuz etkilere direnebilecek derecede yüksek erken dayanım,
3. Sertleşme halde tüm dış etkilere karşı bozulmadan kalabilme (Okamura, 2003).

Kendiliğinden yerleşen beton konusunda ilk makale, 1989 yılında Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansında (EASEC) sunulmuştur. KYB konusunda ilk kitap Okamura tarafından yazılmış olup, 1993 yılında Japonca olarak yayınlanmıştır. Kendiliğinden yerle en betonun dünyaya tanıtılmasında, Ozawa'nın 1992 yılında İstanbul'daki Uluslararası CANMET-ACI konferansında yaptığı sunum hızlandırıcı bir etki yapmıştır (Felekoğlu, 2003).

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. Almanya'da KYB, 1998 yılından itibaren ilgi görmeye başlamıştır (Walraven, 2002).

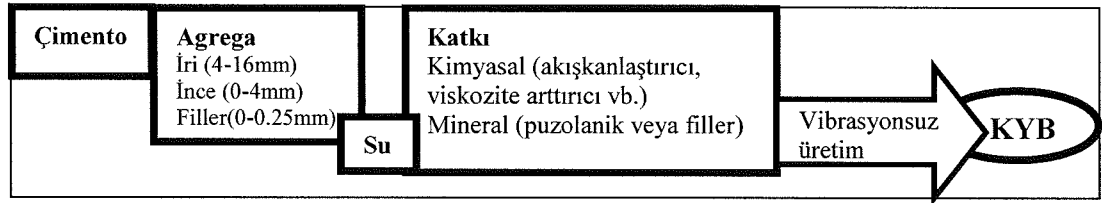
KYB dizaynının ve kıvamının DIN 1045 ve DIN 4227'ye göre standart dışı olmasından dolayı, mevcut standartların yenilenmesi ve KYB için ilave yapılması amacıyla, Alman Betonarme Komitesi (DafStb) ve İnşaat Mühendisliği Enstitüsü (DIBt), çalışmalar yapmış ve standartlara KYB için ilave bölümler eklenmiştir. Almanya'da standartların yeni oluşmasına rağmen prefabrike beton sektöründe "Drössler Easyflow" ve hazır beton sektöründe "Dyckerhoff Liquidur" isimleriyle markalaşmış KYB üretilmekte ve kullanılmaktadır (Felekoğlu, 2003).

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), 2002 yılında kurduğu ACI 236 B grubu ile KYB konusunda dokümantasyon çalışmalarına başlamıştır. Aynı zamanda Amerikan Prefabrike Beton Birliğinde (PCI) Nisan 2002'de prefabrike beton endüstrisinde KYB kullanımı ile ilgili standart oluşturma çalışmalarına başlanmıştır (ACI 236, 2002).

2.1.3. KYB'nin bileşimi

KYB'nin bileşimi, etkin bir süperakışkanlaştırıcının yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı, su-bağlayıcı oranı, en büyük agrega boyutu, kum toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar göstermektedir.

KYB'nin bileşenler açısından normal betondan en büyük farkı, 100 μ altındaki ince malzemedir. Bu ince malzemeler genel olarak betonda kullanımı kanıtlanmış olan silis dumanı, uçucu kül, taş tozu, tuğla tozu ve mermer tozu gibi atık malzemelerdir (Sahmaran vd., 2006; Topçu vd., 2007). Bunun yanında, KYB'deki iri agrega miktarı da normal betondakine göre daha az olup, iri agreganın yerini genellikle ince agregalar almaktadır (Uygunoğlu, 2008).



Şekil 2.2. KYB bileşimi

2.1.3.1. KYB'de agrega

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak % 60–75 civarında yer işgal eden agrega önemli bir bileşendir. Agreganın kirli (kil, silt, mil, toz vb.) olması aderansı olumsuz etkilemekte, ayrıca bu küçük taneler su ihtiyacını da artırmaktadır (THBB, 2012).

Dayanıklı ve ekonomik bir beton elde etmek için karışımda kullanılan agregaların bazı özelliklere sahip olması gerekir. Uygun agrega ile betonda dayanıklılık, işlenebilirlik ve mukavemet gibi önemli özellikler sağlanarak yüksek kaliteli beton elde edilebilir (Taşkın, 2008).

Agrega boyutu olarak EFNARC (2002) tarafından 20 mm tane çapı üzerindeki agregaların kullanılmaması ön görülmekteyse de bu konuda kesinlik yoktur. Ancak kendiliğinden yerleşen betonun özelliği gereği akışkanlığını ve sık donatılar arasından geçebilme yeteneğini gösterebilmesi gereklidir. Bunun için en uygun agrega tane boyutunun 16 mm olduğu yapılan çalışmalardan görülmektedir (Uygunoğlu, 2008).

Collepardi (2005), hareket sırasında ayrışmayı engellemek için 15 mm'yi uygun bulmuştur. Kendiliğinden yerleşen betonun, prefabrike beton üretiminde kullanılması halinde, en büyük tane çapının 10 mm ile sınırlandırılması önerilmiştir.

Agrega açısından taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğini etkileyen en önemli parametre iri agrega/kum oranıdır. İçsel sürtünme katsayısını azaltmak için bu oran mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır (Sari vd., 1999). Tüm karışımdaki iri agrega oranının % 29'un üzerine çıkması halinde, iç sürtünme açısında artış meydana gelmektedir. Bu artış plastik viskozitenin yükselmesine sebep olmaktadır (Fugiwara, Nagataki 1999; Gürol 1999; Uygunoğlu, 2008).

Kendiliğinden yerleşen betonda kullanılacak agrega gradasyonu mümkün olduğunca ince seçilmelidir. EFNARC Komitesi'ne göre (EFNARC, 2002), kesikli gradasyon iç sürtünmeyi azaltıp, akışı kolaylaştırdığından sürekli gradasyona tercih edilmelidir (EFNARC 2002). Kendiliğinden yerleşen betonda geleneksel betondan farklı olarak kum oranı da arttırılmakta, buna karşılık iri agrega miktarı azaltılmaktadır. Diğer yandan 0.125 mm elek altında kalan agregalar ince malzeme miktarına ilave edilmektedir (Sağlam vd., 2004).

Geleneksel betona göre daha çok kum ve daha az iri agrega kullanımı donatılar arasından geçiş yeteneğini de arttırır. Ancak iri agrega oranının azalması basınç dayanımını da bir miktar azaltır. Bu konuda Fang vd. (1999)'nin yaptığı çalışmada deney sonuçlarına göre karışımdaki kum oranı arttıkça yayılma çapı artmaktadır. Basınç dayanımına bakıldığında belli bir orandan sonra düşüş görülmektedir.

Fang vd. (1999), kum oranının toplam hacmin % 45 - 48'i arasında tutulması halinde kendiliğinden yerleşebilirliğin en yüksek dayanımda sağlanacağını belirtilmiştir (Felekoğlu, 2003).

Genel olarak kübik veya küre şekilli agregalar tercih edilmelidir. Uzun silindir ve yassı disk şekilli taneler KYB'nin işlenebilirlik özelliklerini olumsuz etkileyeceğinden bunların miktarının sınırlanmasında yarar vardır (Özey, 1992).

Su/toz oranı 0.35 ve en büyük agreganın çapı 20 mm olan, KYB dizaynı için iri agreganın toplam agreganın hacmine oranının 0.52 olması halinde, en düşük hamur hacmi kullanılarak kendiliğinden yerleşebilirlik sağlanmaktadır (Bui vd., 2002).

KYB'nin özellikleri, agreganın nem içeriği değişiminden etkileneceğinden agreganın nem içeriği mutlaka belirlenmeli ve dizayna yansıtılmalıdır. Agreganın yüzey neminden kaynaklanan su fazlalığının olumsuz etkisi geleneksel betonda emniyet paylarıyla engellenebilir. Agreganın mineralojik kökeni açısından normal betonda kullanılacak özellikte olmalıdır. Kırma kireçtaşı iri agreganın olarak kullanılabilir. Doğal kum, kırma kuma göre işlenebilirlik açısından avantajlıdır. Aynı şekilde iri agreganın olarak dere çakılı kullanılması iç sürtünmeyi azalttığı için akışkanlığı artırır (EFNARC, 2002; Topçu vd., 2008). Fakat kırmanın kenetlenme etkisiyle dayanıma katkısı da göz önünde bulundurulmalıdır. Öte yandan agreganın mineralojik kökeninin de basınç dayanımını etkileyeceği unutulmamalıdır. Bu iki etkinin (işlenebilirlik, basınç dayanımı) optimizasyonu için hem kırma hem de doğal agregayı bir arada kullanmak en uygun çözümdür (Uygunoğlu, 2008).

2.1.3.2. KYB'de çimento

Geleneksel betonda kullanılan çimentolar KYB'de kullanılmaktadır. KYB ile ilgili literatürde CEM I 42.5 tipi çimento kullanımı öngörülmektedir (Özkul, 2002; Sağlam vd., 2004).

Genel olarak çimento dozajının 350 kg/m^3 ile 450 kg/m^3 arasında olması önerilmektedir. Çimento dozajının 500 kg/m^3 ve daha fazla olması betonun kuruma büzülmesini artırma riski oluşturacaktır ve dolayısıyla betonda kuruma büzülmeden dolayı oluşacak çatlakların artacağı belirtilmektedir (EFNARC, 2002).

Çimento tipi açısından dayanım ve dayanıklılık kriterleri dikkate alınarak seçim yapılmalıdır. Özellikle çimentonun C_3A oranı % 10'un üzerindeyse, kullanılmaması EFNARC Komitesi (EFNARC, 2002) tarafından tavsiye edilmektedir.

Yüksek C_3A oranı, hızlı etrenjit oluşumu ve hidrasyon ısı artışından kaynaklanan su buharlanması nedenleriyle işlenebilirlik kaybına sebep olacağından, taşıma ve yerleştirme sırasında betonun kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini hızla kaybetmesine sebep olur. Kimyasal etkiler, özellikle sülfat saldırısı açısından da C_3A 'ı fazla olan çimento kullanmak sakıncalıdır. Çimentoda yüksek C_3A oranı aynı zamanda sabit işlenebilirlik için katkı ihtiyacını göreceli olarak arttıracığından maliyette de artışa sebep olacaktır. C_3A 'ı düşük çimentolar kullanarak akışkanlaştırıcıdan alınacak verim artırılabilir. Ancak diğer yandan C_3A oranı yüksek çimento kullanımının az da olsa erken dayanımı artırıcı etki gösterdiği de unutulmamalıdır (Roshavelov, 2002).

Dowson (2002), ön gerilmeli yüksek dayanımlı prefabrike beton üretiminde kendiliğinden yerleşen beton için 500 kg/m^3 'lük çimento dozajı tavsiye etmiştir.

2.1.3.3. KYB'de ince malzemeler

KYB'nin özel reolojik gereksinimlerin hidrasyon ısılarından dolayı çimento miktarını ile viskoziteyi düzenleyerek ve akışkanlığı sağlayarak işlenebilirliği düzenlemek için filler (dolgu) malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemeler genellikle kırmataş tozu, uçucu kül, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve öğütülmüş cam tozu gibi filler malzemelerdir (EFNARC, 2002).

Ancak gün geçtikçe KYB üzerine yapılan çalışmalarla bu filler malzemelerden başka, özellikle atık durumdaki malzemelerin filler malzeme olarak KYB içerisinde kullanımları araştırılmaktadır. Bu malzemelerden bazıları da öğütülmüş tuğla tozu ve mermer tozudur. KYB’de kullanılacak olan filler malzemelerde aranan en önemli özelliklerden biri en büyük tane çapı olup genellikle 0.125 mm’nin altında olması istenir. Bu durumda KYB üretiminde kullanılan kum ve agrega içerisinde bulunabilecek 0.125 mm altındaki ince maddeler de filler malzeme içerisine dahil edilmelidir. Filler malzemelerin optimum kullanım miktarları bu maddelerin mineralojik kökenine ve mekanik performansına bağlıdır.

Örneğin, silis dumanı toplam toz miktarının (çimento+silis dumanı) 400 kg/m³ ile 450 kg/m³ arasında olduğu bir KYB’de 50 kg/m³ içeriğinde kullanılırken, uçucu kül toplam toz miktarının 500 kg/m³ ile 600 kg/m³ arasında olan bir KYB’de 100 kg/m³ ile 150 kg/m³ içeriğinde kullanılmaktadır (Uygunoğlu, 2008).

2.1.3.4. KYB’de kimyasal katkı

İşlenebilirlik sıradan beton karışım dizaynında birim su içeriği ile belirlenir. Su içeriği düşük olduğu zaman işlenebilirlik süperakışkanlaştırıcı (SA) ile iyileştirilebilir. SA ilavesi ile taze betonun işlenebilirliği artar ve taze beton kolaylıkla akar. KYB uygun bir viskozite ve düşük bir kayma eşiği gerektirir. Bu yüzden KYB üretiminde, SA katkısı ile yüksek akışkanlık sağlanmakla birlikte 0.4’den daha düşük s/ç oranı ile çalışılması gerekmektedir. Su miktarının artışı ile beton kararsız hale gelmekte ve ayrışmaktadır. Yeni nesil polikarboksilsüper akışkanlaştırıcılar, naftalin ve melamin esaslı süper akışkanlaştırıcılara göre betonda çok daha yüksek oranda su kesmekte ve daha kohezif bir beton oluşturmaktadır (Gürol vd., 2003).

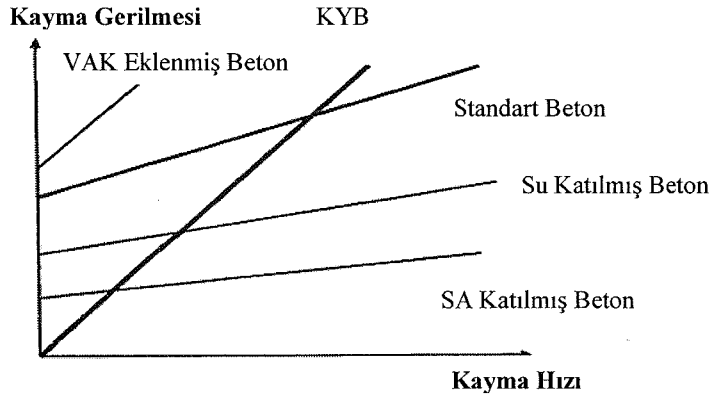
Betonun kolayca şekil değiştirebilmesi için kayma eşiğinin küçük olması gerekir. Bu özelliğin su miktarını artırarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta, yani ayrışma eğilimi ortaya çıkmaktadır.

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde genellikle süperakışkanlaştırıcı ve polikarboksilat bazlı katkıların kullanımının yanısıra, KYB üretiminde kimyasal katkı olarak naftalin sulfonat formaldehit, melamin sulfonat formaldehit polikondanseleri, vinil kopolimerler ve polikarboksilik asit bazlı katkıları da kullanılabilir (Sağlam vd., 2004).

Polikarboksilik bazlı katılara göre diğer katkıların kullanıldığı taze betonun su gereksiniminin göreceli olarak fazla olması, bu tip betonlar için istenilen akıcılıkta beton üretilmemesine yol açmaktadır. Bu nedenle polikarboksilik bazlı kimyasal katkıları tercih edilmektedir (Sağlık vd., 2007).

Aytaç vd. (2005), linyosülfat esaslı normal akışkanlaştırıcı, naftalin esaslı süper akışkanlaştırıcı, polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları içermeyen, yüksek oranda alkali içeren çimentolarla hazırlanan betonların genellikle daha kötü reolojik davranış sergilendiğini belirtmiştir. Süper akışkanlaştırıcı katkıları çimento hamurlarında, çimento-süper akışkanlaştırıcı uyumsuzluğunun çimentodaki kalsiyum sülfat yetersizliğinin bir sonucu olduğu ileri sürülmüştür. Sülfatın varlığı viskoziteyi azaltmakta ve sülfatın varlığı sebebiyle C_3A ve C_4AF tarafından emilen katkı miktarı azalmaktadır. Bu nedenden dolayı, kalsiyum sülfatın varlığında silikat fazları daha iyi dağılır ve akışkanlık artmaktadır. Süper akışkanlaştırıcı etkinliğinin $C_3A/CaSO_4$ oranına bağlı olduğunu, bu oranın yüksek olması durumunda akışkanlığın azaldığı yine Aytaç vd. (2005) tarafından bildirilmiştir.

Polikarboksilat bazlı katkıları, çeşitli kimyasal proseslerle ve değişik ham maddelerin kullanımıyla, çok farklı özelliğe sahip hale getirmek mümkündür (Sugamata, 2003; Felekoğlu, 2003). Şekil 2.3'de beton türlerinin kayma hızı ve kayma gerilmesine bağlı değişim gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kendiliğinden yerleşen betonun reolojik özellikleri (Özkul, 2002)

2.1.4. KYB’de karışım tasarımı

Kendiliğinden yerleşen beton tasarım yöntemleri genellikle hamur ve harç üzerinden ön çalışma gerektirmektedir. Bunun en önemli nedeni KYB’nin hamur fazının geleneksel betona göre fazla olması ve betonun karakteristik özelliklerinin oluşmasında önemli rol oynamasıdır. Kendiliğinden yerleşen betonda en çok kullanılan karışım yöntemi Okamura (2003) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre KYB için karışım tasarımı aşağıdaki adımlarla daha homojen bir şekilde yapılabilir:

- KYB’de istenen hava miktarının seçilmesi
- İri agrega hacminin belirlenmesi
- Kum içeriğinin belirlenmesi
- Pasta bileşenlerinin belirlenmesi
- Harçtaki optimum su-toz oranı ve kimyasal katkı miktarının belirlenmesi
- Standart test yöntemleriyle beton özelliklerinin belirlenmesi

KYB’de hava miktarı olarak % 2 oranında olması uygun görülmekteseyse de donma çözülme etkisi altında olan betonlar için hava miktarı daha yüksek oranlar seçilebilir. Bu yöntem viskoziteyi inert veya puzolanik filler ile arttırma ilkesine dayanır. Temel kural olarak toz hacmi, toplam hacmin % 36’sından az olmamalıdır. Çimento hamurunun hacmi, eklenen toz malzemeler ile arttırılarak taze betonun stabilitesinin korunması amaçlanmıştır (Felekoğlu, 2003).

KYB dizayn oranlarının ve miktarlarının belirlenmesinde hacimsel oranlar daha önemlidir. Su/toz oranı hacimce 0.80 – 1.10 aralığında olmalıdır. Toplam toz miktarı 1 m³'de 160 ile 240 litre arasında (400-600 kg) olmalıdır. İri agrega miktarı hacmin % 28 ile % 35'i aralığında olmalıdır (EFNARC, 2002).

Agrega hacmi birim hacim ağırlık yöntemiyle belirlenir. Genellikle iri agrega hacmi toplam agrega hacminin (> 4 mm) % 50 ile % 60 oranları arasında seçilmelidir. İri agrega hacmi sınır değer olan % 60'ın üzerine çıkarsa agregalar arası iç sürtünme hızla artar ve KYB'de, donatılar arasından geçerken bloklaşma riski oluşmaktadır. İri agrega hacminin % 50'den daha az olması durumunda ise KYB'nin su gereksinimi daha fazla olacaktır. Ayrıca betonun bağlayıcı miktarı artacağından rötresi de artacaktır. Genellikle 0.125 mm ile 4 mm arası parçacık boyutu aralığındaki agregaya kum veya ince agrega denilmektedir. KYB harcı içerisindeki kum içeriği % 40 ile % 50 arasında olmalıdır. Kum miktarı toplam agrega hacminin % 50'sinden fazla olmalıdır. Aksi takdirde taze KYB'nin su gereksinimi ve bağlayıcı içeriği artırmaktadır (Uygunoğlu, 2008).

2.1.5. Kendiliğinden yerleşen beton özellikleri

Bileşenleri açısından normal betona göre farklılık gösteren KYB'ler, taze beton özellikleri açısından da normal betona göre farklılık gösterir. Taze KYB'nin en önemli özelliklerinden birisi işlenebilirlik olup, hazırlanışı ve yerleştirilmesi aşamalarında karıştırma, pompalama, kendi ağırlığı veya vibrasyon etkisiyle akma gibi etkilerle deformasyona uğrar. Bu etkilere karşı betonun istenilen özelliklerini koruması reolojik açıdan KYB'nin kararlılığına ve seçilen bileşenlerin oranlanmasına bağlıdır (Wustholz, 2003).

İşlenebilirlik, betonun karıştırma ve yerleştirme işleminin minimum enerji ile ve homojenliğini yitirmeden, ayrışmadan yapılması ve kalıbını boşluksuz doldurabilmesi ile ilgili bir taze beton özelliğidir (Akman, 1987; Yücel, 1997).

İşlenebilirlik taze betonun karıştırılma, yerleştirilme ve tamamlanma kolaylığı ve homojenliğinin ölçüsüdür. İşlenebilirliği yüksek olan beton minimum enerjiyle karıştırılabilir ve kalıba yerleştirilebilir. Betonda işlenebilirliği etkileyen üç ana faktör vardır. Su/çimento oranı, agrega/çimento oranı ve su miktarıdır. Örneğin, agrega/çimento oranı azaltılırsa, su/çimento oranının sabit kalması için su miktarının artması gerekmektedir. İnce agrega/iri agrega oranındaki artış ise su miktarının artmasına neden olur. Agrega oranları göz önüne alınarak işlenebilirlik yeteneğinin arttırılması için su miktarının yükseltilmesi yerine iri ve ince agrega oranlarının iyi ayarlanması ve akışkanlaştırıcı katkı kullanılması gerekir (Wong vd., 2000).

S/ç oranı yüksek, akıcı betonlarda karıştırma ve yerleştirme işleri düşük enerjiyle yapılabilir. Ancak bu tür betonlarda kendini tutabilme özelliği (kohezyon) yeterli olmaz. Ayrıca tanelerin ayrışması ve karma suyunun beton yüzeyinde toplanması olasılığı artar. Bu durum karşısında işlenebilirliği, akıcılık ve kohezyon gibi iki özelliğin optimum çözümü olarak belirlemek gerekir. Kimyasal katkı maddeleri dikkate alındığında ise hava sürükleyici ve su azaltıcı katkılar işlenebilirliği iyileştirir. Hava sürükleyiciler çimento hamuru hacmini arttırarak terlemeyi ve segregasyonu azaltırlar (Felekoğlu, 2003).

Taze haldeki betonun üniformluğunu tüm karıştırma, taşıma ve yerleştirme işlemleri boyunca ve yerleştirme sonrasında koruyabilmesi, karışımın ayrışmaya ve terlemeye karşı direnebilme yeteneğine kararlılık denilmektedir (Ferraris, 1996; Doğan, 2000; Akman, 2000).

KYB uygun bir viskozite ve düşük bir akma gerilmesi gerektirir. Bu yüzden KYB üretiminde, SA katkısı ile yüksek akışkanlık sağlanmakla birlikte 0.4'den daha düşük s/ç oranı ile çalışılması gerekmektedir. Su miktarının artışı ile beton kararsız hale gelmekte ve ayrışmaktadır. Silis dumanı (SD) katkılı beton portland çimento (PÇ)'lu betondan daha koheziftir. Temas yüzeyi miktarı ve kohezyondaki artış yüzünden, SD segregasyon daha dirençli karışımların ortaya çıkmasını sağlar. KYB'ların işlenebilirliğini değerlendiren standart çökme hunisi, yayılma deneyi, kesme kutusu deneyi gibi birçok deney metodu vardır (Xie vd., 2002).

İlk etapta çökme hunisi deney metodu, çok akıcı durumdaki betonlar için uygun olmadığından geleneksel çökme dışındaki deneylerle taze betonun işlenebilirliği değerlendirilmelidir. Bu yüzden dikkatler yayılma deneyine yönelmiştir (Collins vd., 2000).

Yayılma deneyi Abrams hunisinin taze beton ile doldurulduktan sonra kaldırılarak ters çevrilerek daha dar ağızdan taze betonun boşaltılması ile elde edilmiştir.

Kendiliğinden yerleşen betonlar ile ilgili yapılan çalışmalarda taze halde kendiliğinden yerleşen taze betonun ortalama yayılma çapı 50-70 cm aralığında elde edilmiştir. KYB'un reolojisini, akma yeteneğini ve işlenebilirliğini test etmek için yayılma deneyi yaygın olarak kullanılmaktadır (Gürol vd., 2003; Djelal vd., 2004).

KYB'nin geleneksel yöntemlerle üretilen betondan farkları aşağıda belirtilmiştir (Djelala vd., 2004; De Schutter, 2005).

i) Doldurma Kabiliyeti: KYB kendi ağırlığı ile hareket edebilen ve bir kalıp içerisine hiç boşluk bırakmadan veya çok az boşluk içeriğiyle tamamıyla sıkışarak yerleşebilen ve dolabilen betondur. Bu özellik betonun işlenebilirliği ve reolojik özellikleriyle yakından ilgilidir.

KYB'nun kendi ağırlığı altında şekil değiştirip istenilen kalıba vibrasyona gerek duyulmadan boşluksuz yerleşebilmesi çimento hamurunun deformasyon (akış) yeteneğine ve taneler arası sürtünmeye bağlı olup doldurma yeteneğini tanımlayan unsurlardır.

İri agrega hacmini düşürüp kullanılan çimentoya da bağlı olarak en uygun gradasyonun geliştirilmesiyle taneler arası sürtünme azaltılabilirken s/b oranı dengelenip süperakışkanlaştırıcı kullanılmasıyla da çimento hamuru fazının deformasyon yeteneği artırılabilir.

Yayılma deneyi ile ölçülen yayılma çapı ve bu çapa ulaşması için geçen süre ile doldurma yeteneği olarak değerlendirilir (EFNARC, 2002; SCC, 2000).

ii) Geçebilme Kabiliyeti: KYB, uygun kıvamda akma yeteneğine sahip bir karışım olmalıdır, herhangi bir ayrışmaya uğramadan çok dar donatı açıklıklardan geçebilmeli ve aynı zamanda dışarıdan herhangi bir etki olmadan donatıyı sıkıca sarabilmelidir. Yerleştirme sırasında hiçbir şekilde bloklaşma olmamalıdır ve kendi ağırlığı ile akmalıdır. Bütün bunların sağlanabilmesi için KYB'nun sahip olması gereken viskozitesi en uygun seviyede tutulmalıdır.

KYB'nun dar kesitlerden ve sık donatılar arasından geçebilmesi için doldurma ve ayrışmaya karşı direnç özelliklerinin yanında geçiş yeteneğinin de incelenmesi ve geliştirilmesi gereklidir. İri agrega hacmi ve en büyük agrega tane çapı azaltılarak kullanımını sınırlandırmanın yanında s/b oranını düşürüp viskozite arttırıcı katkı kullanılarak kohezyon artışı sağlamak da agrega ayrışmasını azaltıp blokajlanmayı önleyeceğinden geçiş yeteneğinin artmasını sağlamaktır. L-Kutusu, U-kutusu, doldurma kutusu ve J-halkası deneyleri uygulanarak KYB'nin geçiş yeteneği değerlendirilir (EFNARC, 2002; SCC, 2000).

iii) Ayrışmaya direnç: KYB yukarıdaki özellikleri taşımanın yanında uniformluğunda korumalı ve ayrışmamalıdır. Bunu sağlamak amacıyla KYB karışımı içerisinde yeterli miktarda harç matrisi olmalıdır. Bu harç matrisi iri tanelerin arasında kaydırıcı ortam oluşturarak agregalar arasındaki iç sürtünmeyi azaltmalıdır.

Bir betonun KYB olarak kabul edilebilmesi için yukarıda verilen doldurma yeteneği, geçebilme yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç gibi üç temel özelliğe sahip olmalıdır. Yukarıda bahsedilen ve kendiliğinden yerleşen betonun sahip olması gereken bu özelliklerin belirlenmesi amacıyla birçok deney yöntemi geliştirilmiştir.

Betonun gerek durağan gerekse de akış halinde görülebilen terleme, çimento hamuru fazı ile agrega ayrışması, kaba agreganın ayrışarak blokaja neden olması, hava boşluğundaki dağılımındaki düzensizlik gibi problemler bileşenlerin düzensiz bir şekilde dağılıp segregasyon oluşumuna neden olurlar.

Süperakışkanlaştırıcılar ve vizkozite düzenleyici katkı kullanılarak su/bağlayıcı (s/b) oranı azaltılıp terlemenin minimuma indirilmesi segregasyonun önlenmesinde birinci yöntemken, iri agrega hacminin sınırlandırılması ve en büyük agrega tane çapının düşürülmesiyle katı maddelerin ayrışmasını azaltmak da diğer bir yöntemdir. V-hunisi deneyi ile ölçülen T50 dakika sonrası akış süresi ve elek ayrışma direnci (GTM) deneyleri ile KYB'nun segregasyon direnci değerlendirilir (Sertbaş, 2006).

2.1.6. Kendiliğinden yerleşen taze betonun sınıflandırılması

KYB'ların, özellikle taze durumdayken, kullanılacakları yapının özelliği ve uygulama tipine göre bazı karakteristik özelliklere sahip olması gereklidir. KYB'nun sahip olması gereken özellikler aşağıda verilen etkenlere bağlı olarak sağlanmalıdır.

- Beton elemanın geometrisi ve miktarı, donatının tipi ve yeri, astar, paspayı ve oyuk gibi sargı koşulları,
- Ekipman yerleştirme (örneğin pompa, kova, direk mikser kamyonundan),
- Yerleştirme yöntemleri (doküm noktalarının konumu ve sayısı),
- Bitirme yöntemi.

Yukarıdaki maddeler göz önüne alınarak taze haldeki KYB taze beton özelliklerine göre sınıflandırma işlerine tabi tutulmaktadır. EFNARC (2002) komitesi tarafından sınıflandırma işlemi, her taze beton deneyi için belirli değer aralıklarında kalmasının uygun olacağı belirtilerek yapılmıştır.

Bu değer aralıkları taze beton deneyine göre  izelge 2.1’de verilmiştir. Bu aralıklar uygun doldurma yeteneği, geçebilme yeteneği ve ayrırma direncine sahip KYB  retimi için önerilmiş olup değerler aşıldığında taze haldeki KYB’nin reolojik açıdan kararlılığının bozulma riski vardır.

Çizelge 2.1. Taze KYB için önerilen deney aralıkları (EFNARC, 2002)

No	Yöntem	Birim	Değer Aralığı	
			En küçük	En büyük
1	çökmede yayılma	mm	650	800
2	T500 çökmede yayılma	sn	2	5
3	Vkutusu	sn	6	12
4	Zaman artırır T5 dk Vkutusu	sn	0	+3
5	L kutusu	(h2/h1)	0.8	1.0
6	U kutusu	(H1-H2), mm	0	30
7	Doldurma kutusu	%	90	100
8	J halkası	mm	0	10
9	Elek ayrırma direnci (GTM)	%	0	15

KYB’nun taze durumdayken istenilen karakteristik özeliklere ve kararlılığa sahip olmaları için bir sınıflandırma yöntemi de Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) (2005) tarafından geliştirilmiştir. Sınıflandırma işlemi her bir deney için harflerle yapılmıştır. KYB’lerin sınıflandırma özelikleri ve bunlara ait simgeler aşağıda verilmiştir.

- Akıcılık, SF
- Viskozite, VS ya da VF
- Geçebilme yeteneği, PA
- Ayrırma direnci, SR

KYB'nin sınıflandırma kapsamındaki akıcılığın belirlenmesi için çökmede yayılma deneyi, viskozite için çökmede yayılma deneyinde T500 süresi ve V-kutusu akış süresi, geçebilme yeteneği için L-kutusu deneyi ve ayrışma direnci için de elek ayrışma deneyi uygulanmaktadır. Her bir deney için yapılan sınıflandırmaların alt ve üst sınır değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir. KYB'nin akıcılığını ve doldurma yeteneğini belirlemede en çok çökmede yayılma değeri kullanılmaktadır.

Çizelge 2.2. Taze beton sınıflandırılması

Özellikler	Deney Adı	Birim	Sınıflandırma	Ölçüt
Akıcılık/Doldurma yeteneği	Çökme Yayılma	mm	SF1	$\geq 520\text{mm}, \geq 700\text{mm}$
			SF2	$\geq 640\text{mm}, \geq 800\text{mm}$
			SF3	$\geq 740\text{mm}, \geq 900\text{mm}$
Viskozite/Akıcılık	T ₅₀₀ süresi	sn	VS1	-
			VS2	-
	V hunisi	sn	VF1	$\geq 10\text{sn}$
			VF2	$\geq 7\text{sn}, \geq 27\text{sn}$
Geçme Yeteneği	L kutusu	mm/mm	PA1	≥ 0.75
			PA2	≥ 0.75
	U kutusu	mm	-	-

Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) (2005) KYB'leri yayılma çapına göre SF 1, SF 2 ve SF 3 olarak üç grupta sınıflandırmıştır. Buna göre bu beton sınıflarına ait betonların yapıda kullanılabilecekleri yerleri de her bir sınıf için tanımlamıştır (THBB, 2007).

2.1.7. KYB'larda deney metotları

Kendiliğinden yerleşen betonlarda taze beton özelliklerini belirleyebilmek için çökmede yayılma deneyi, V-kutu deneyi, L-kutu deneyi, U-kutu deneyi, doldurma kutusu, J-halkası ve elek ayrışma direnci gibi deneyler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu çalışmalarda deneysel çalışmalarda kullanılan deneylerle ilgili literatür çalışmasına yer verilmiştir.

2.1.7.1. Kendiliğinden yerleşen taze beton deneyleri

a) Birim ağırlık

Geleneksel betona göre üretiminde daha fazla ince malzeme kullanılması ve yüksek akışkanlığından dolayı konulduğu kalıba daha boşluksuz yerleşebilmeleri sayesinde KYB'ler daha normal betona göre daha fazla birim ağırlığa sahiptirler. Bu nedenle teorik olarak normal betondan daha fazla kalıp basıncına sahip olacağı düşünülmektedir. Geleneksel betonların kalıba konulmaları ve yerleştirilmeleri sırasında kalıba tam olarak hidrostatik basınç yaptıkları kabul edilmektedir (ERMCO, 2005).

KYB'lerde ise betonun kalıba yavaşça konulması durumunda kalıba yaptıkları basıncın hidrostatik basınçtan daha az olduğu ve KYB'nin kalıba yaptığı basıncın yerleştirildikten çok kısa bir süre içinde azaldığı belirtilmiştir (Tejeda-Dominguez vd., 2005).

KYB'nin bu davranışında tiksotropik jelleşmeye sahip olmasının olumlu yönde oldukça büyük etkisi vardır (Khayat ve Assaad, 2005).

b) Serbest yayılma deneyi

İlk defa Japonya'da su altı betonlarının incelenmesi amacıyla geliştirilen bu yöntem daha sonra yüksek akışkanlı betonlarda ve kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılmaya başlanmıştır. Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini yani doldurma yeteneğini ölçmek amacıyla uygulanan bir yöntemdir.

Çok yaygın olarak kullanılan bu deney yönteminde betonun hiçbir engel olmadan, serbest olarak, kendi ağırlığı ile bir koniden akarak yayılma tablası üzerinde serbest yayılması sağlanır. 100x100 cm boyutlarındaki yayılma tablası düz bir zemine yerleştirilip yüzeyi nemlendirilir.

Boyutları; üst çap 10 cm, alt çap 20 cm, yükseklik 30 cm olan kesik koni tablanın merkezine yerleştirilerek yaklaşık 6 lt betonla şişleme yapılmadan doldurulur. Huni dik olarak çekilerek betonun önceden tabla üzerine çizilen 50 cm çaplı daireye yayılması için geçen süre ölçülür. Yayılma tamamlandıktan sonra birbirine dik iki yöndeki çap ölçülerek ortalaması alınır. Çökme-yayılma değeri olarak adlandırılan bu değerin yüksek olmasıyla betonun akıcılığının dolayısıyla doldurma yeteneğinin iyi olduğu sonucuna varılır. Kendiliğinden yerleşen beton için sınır değer 65-80 cm olarak belirlense de bazı araştırmalarda (Lars ve Tviksta, 2000) en az 60 cm'e kadar yayılma gösteren betonun kendiliğinden yerleşen beton özelliği gösterebileceği bildirilmiştir.

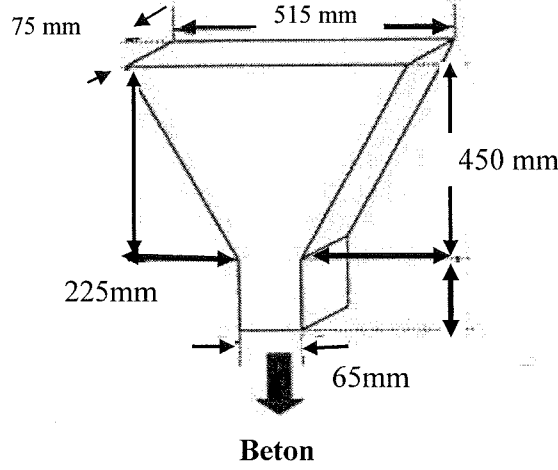
Akıcılığın diğer bir değerlendirme parametresi olan T50 süresi ise akıcılık ile ters orantılıdır. Bu süre ne kadar az ise akıcılık o kadar fazladır. T50 süresi için sınır değer 2-5 sn olarak kabul edilmektedir. Bu deney yöntemi betonun hiçbir engel bulunmayan bir ortamdaki akıcılık özelliği hakkında fikir verir. Buna karşılık donatıların var olduğu bir ortamda betonun tıkanma olmadan donatıların arasından geçebilme yeteneği ile ilgili bilgi edilemez. Yine de segregasyon direnci gözlemlenebilir (TBHH, 2002).

c) V-Hunisi deneyi

Japonya'da geliştirilen ve Ozawa tarafından kullanılan bu deney yöntemi betonun viskozitesini ve geçiş yeteneğini ölçmek amacıyla yüksek akışkanlı betonlar, su altı betonları ve kendiliğinden yerleşen betonlar için uygulanmaktadır. En büyük agregatane çapı 20 mm'nin altında olan betonlar için uygulanan bu deneyde, betonun dar bir kesitten kendi ağırlığı ile akışı sağlanarak geçiş yeteneği incelenir. Şekil 2.4'de V kutusu deney aparatının şekli gösterilmiştir. V şeklindeki huninin iç yüzeyi nemlendirildikten sonra en altta bulunan kapak kapatılır.

Yaklaşık 12 lt hacmindeki huni üst yüzeyine kadar şişleme yapılmadan betonla doldurulur. Yerleşmesi için 10 sn kadar beklendikten sonra alt kapağın açılmasıyla süre başlatılır. Akışın tamamen bitimine kadar geçen süre ölçülür.

Bitiş anı üstten bakıldığında alttan ışık geçmeye başladığı andır. Deney kullanılan betonla 5 dakika sonra huninin yüzeyi temizlenmeden tekrar uygulanır ve süre ölçülür.



Şekil 2.4. V hunisi deney aleti (Aktürk, 2007)

Kendiliğinden yerleşen beton için yaklaşık 10 sn olması beklenen akış süresinin azalması betonun yüksek akışkanlıkta olduğunu gösterir. 5 dakika beklendikten sonra betonda oluşabilecek segregasyon akışın homojenliğini bozup akış süresinin artmasına neden olabilir. İki değer arasındaki fark segregasyon direnci hakkında fikir verebilir (Bartos vd., 2000; EFNARC, 2002).

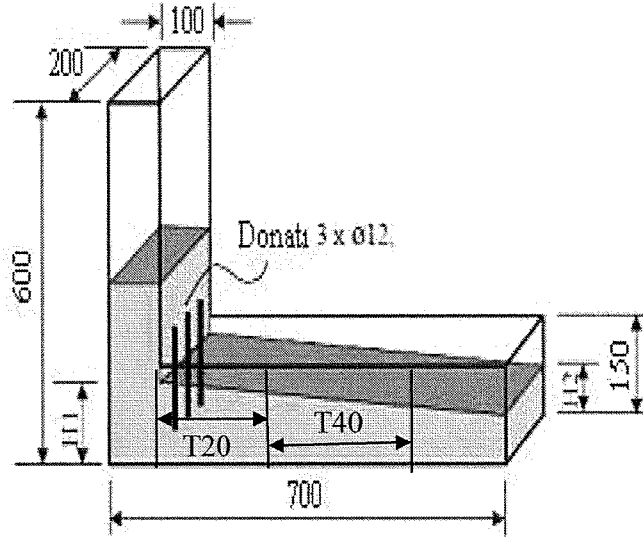
d) L- Kutusu deneyi

İlk olarak Japonya’da M.Sonebi tarafından L-Flow ismiyle su altı betonlarında kullanılan bu deney yöntemi daha sonra Ö.Petersson tarafından geliştirilmiş ve Fransa’da kendiliğinden yerleşen beton ön çalışmalarında önerilmiştir (Sertbaş, 2006) .

Kendiliğinden yerleşen betonun akıcılığının ve donatılar arasından geçiş yeteneğinin belirlenmesi amacıyla uygulanan bu yöntemle betonun tıkanma riski değerlendirilir. Deney düzeneği olarak yatay ve dikey hazneden oluşan, ahşap ya da çelikten yapılabilen L şeklindeki kutu kullanılır.

Şekil 2.5’de gösterilen L kutusu deney aletiyle dikey hazne ile yatay hazneyi birbirinden dik yönde yerleştirilmiş 3 adet 12 mm çaplı donatı ile ayrılır. Ayrıca dikey haznenin sonunda bir de kapak bulunmaktadır.

Düzenegın iç yüzeyi nemlendirilip ara kapak kapatıldıktan sonra dikey hazne yaklaşık 13 lt betonla, şişleme yapılmadan, doldurulur. 1 dakika beklenip betonun yerleşmesi sağlandıktan sonra ara kapak kaldırılarak betonun donatılar arasından geçip yatay hazneye dolması sağlanır. Deneye başlamadan önce yatay hazne üzerinde kapaktan itibaren 200 mm ve 400 mm lik mesafeler işaretlenir. Kapağın kaldırılmasıyla süre başlatılır ve betonun bu mesafelere kadar ulaşma süreleri ölçülür. Akış tamamlandıktan sonra düzenegın her iki ucundaki beton seviyeleri ölçülerek birbirine oranlanır. Bu değeri “bloklanma oranı” olarak adlandırılır ve KYB’nin akıcılık ve geçiş yeteneğinin bir ölçüsü olup en az 0.8 olarak kabul edilir. T20 ve T40 süreleri betonun akış özelliğii ile ilgili bilgi verirken sınır değeri konusunda bir kabul henüz yoktur. Bu deneyle; betonun donatılar arasından geçiş durumuna göre tıkanma olasılığı, iri agreganın hazne boyunca ilerleme durumuna göre de segregasyon direnci hakkında bilgi elde edilir (EFNARC, 2002).



Şekil 2.5. L kutusu deney aleti (Aktürk, 2007)

2.1.7.2. KYB’de sertleşmiş beton özellikleri

Beton bileşenleri ve taze beton özellikleri açısından normal betondan farklılık gösteren KYB’nin sertleşmiş beton özelliklerinden bazıları aşağıda incelenmiştir.

a) Basınç ve çekme dayanımı

KYB’nin basınç dayanımları genel olarak normal betonda olduğu gibi bileşen malzemelerinin seçimi ve oranlanmasıyla ayarlanır. Dolayısıyla KYB’ler normal betonlarla karşılaştırıldıklarında basınç dayanımları açısından önemli derecede bir fark olmadığı belirtilebilirse de, KYB üretiminde vibrasyon uygulanmaması ve yüksek akıcılığa sahip olmaları nedeniyle normal betona göre kalıba daha boşluksuz yerleşmelerinden dolayı agrega-çimento ara yüzü daha yoğun ve dayanıklıdır. Bundan dolayı da KYB’lerin basınç dayanımları normal betonun basınç dayanımlarına göre daha fazla olduğu çalışmalarda görülmüştür (Domone, 2006).

Domone (2007), KYB’de silindir-küp numune dayanım oranlarını incelemiştir. Deneysel çalışmasından KYB için elde ettiği silindir-küp dayanım oranlarını Smeplass (1990)’ın ve BS EN 206-1 (2000)’in önerdiği denklemlerden elde ettiği oranlarla karşılaştırmıştır. KYB’de numune tipleri arasındaki dayanım farkı dayanım yükseldikçe azaldığını belirtmiştir. Bunun nedeni de vibrasyonsuz olarak yerleştirilen KYB’de numuneler arasındaki vibrasyondan ve yerleştirmeden kaynaklanan kusurun azalmasından dolayı olduğunu belirtilmiştir.

KYB’de agrega-çimento ara yüzü normal betondakine göre daha iyidir. Buna rağmen, KYB’de harç fazının agrega fazından daha fazla olması ve harç fazının çekme dayanımı üzerinde fazla etkisinin olmamasından dolayı çekme dayanımları normal betonun çekme dayanımıyla benzerdir. Hem basınç hem de çekme dayanımlarının zamanla gelişimi, kullanılan katkı tipine göre değişmekte olup, genel olarak superakışkanlaştırıcı katkıların kullanılmasıyla ilk yaşlarda daha hızlı olduğu görülmüştür.

Bunun nedeni superakışkanlaştırıcı kimyasal katkıların beton karışımındaki çimento tanelerinin homojen bir şekilde dağılmasını sağlayarak daha iyi hidrate ürünlerinin oluşması şeklinde açıklanmaktadır (Ramachandran ve Malhotra, 1984).

b) Elastisite modülü

Agreganın elastisite modülü betondan ve çimento harcından çok daha yüksektir. Betonda agreganın hacminin artırılmasıyla betonun elastisite modülü de artmaktadır. KYB'larda ise agreganın hacmi normal betondakine göre azaltılıp, çimento hacmi artırıldığı için elastisite modülü de yine normal betonun elastisite modülüne göre daha düşüktür (Felekoğlu, 2007). KYB'ların elastisite modülü değerleri agreganın fazının harç fazından daha az olması nedeniyle normal betonun elastisite modülüne göre daha düşük değerler aldığı görülmüştür (Domone, 2006). Bununla birlikte KYB'nin üretiminde kullanılan agregaların elastisite modülünün de betonun elastisite modülü üzerinde etkisi büyüktür (Beshr vd., 2003).

2.1.8. Kendiliğinden yerleşen beton kullanımının avantajları

Taze beton üretiminde vibratör kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Vibratörün çevreye verdiği rahatsızlık ortadan kalkmış olacaktır. İnsan sağlığı açısından 80 DB üstünde ses; dalgınlık, stres ve yorgunluk gibi rahatsızlıklara sebep olmaktadır. 0.25 m/sn^2 'nin üzerindeki vibrasyon ivmesi kan dolaşımını bozmaktadır (Walraven, 2002). Prefabrike beton sektöründe vibratör kullanımının kalıplara verdiği zarar ortadan kalkacağından kalıpların ekonomik ömürleri artacaktır. Efektif kimyasal katkıların KYB üretiminde kullanımıyla, prefabrike sektöründe erken kalıp alma için, özellikle kış aylarında uygulanan buhar kürü ortadan kaldırılabilir (Corradi, 2002). Prefabrike beton sektöründe karşılaşılan önemli sorunlardan biri de sık donatılı narin elemanların kalıptan alınırken ince kesitlerinde yetersiz vibrasyondan kaynaklanan boşlukların ortaya çıkmasıdır. Bu durumda yama ile boşluklar kapatılmaktadır. KYB kullanımı ile rötuş işleminin % 25 ile % 75 oranında azaldığı belirlenmiştir (Martin, 2002).

2.1.9. Kendiliğinden yerleşen betonun kullanımının dezavantajları

KYB malzeme maliyeti açısından normal betona kıyasla daha pahalıdır. Maliyeti arttırıcı ana etken efektif kimyasal katkıları olup, gelecekte bu katkıların maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir. KYB'nin performansı malzeme tip ve oran değişkenliklerine hassastır (özellikle agrega nemi ve gradasyonu). Geleneksel betona göre yüksek oranda toz malzeme içerdiği için, boyutsal stabilitesi hakkında toz malzemenin tipine göre farklı sonuçlar elde eden araştırmacılar çoğunluktadır. Dizayn yöntemi ve kullanılan malzemelere göre değişmesine rağmen, genellikle kuruma büzülmesinin KYB'de geleneksel betona kıyasla daha yüksek olduğu kabul edilmektedir.

KYB tiksotropik yapısı gereği, belli bir süre karıştırılırsa akıcılığı artar başka bir deyişle viskozitesi düşer. Viskozitesinin kararlı bir konuma gelmesi için gereken karıştırma süresi normal betona kıyasla daha fazladır. Bu özellik zaman ve enerji kaybına yol açacaktır. Fakat bu kayıp yerleştirme işlemindeki kolaylıklar dikkate alındığında ihmal edilebilecek kadar azdır (Felekoğlu, 2003).

KYB'nin erken dönemde küre hassas olduğu çeşitli araştırmacılarca ortaya konulmuştur. Küre hassasiyet puzolanik aktivite gösteren toz maddelerin kullanılması halinde daha baskındır. KYB'nin en azından 7 güne kadar kür edilmesi tavsiye edilmiştir. Kür edilmemesi halinde sıcak havalarda plastik büzülme çatlakları meydana gelebilir (Turcry vd., 2002)

Prefabrike beton üretiminde mevcut kalıp sistemlerinin bir kısmı KYB kullanımına uygun değildir (çatı makası gibi eğimli elemanlar). Kalıp sistemlerinin KYB kullanımına göre modifiye edilmesi gereklidir. % 2'den fazla eğimli elemanlar KYB ile dökülemez. Yerleştirmenin kesikli yapılması halinde, iki karışım arasında derz oluşma riski vardır (Tviksta, 2000).

2.1.10. Kendiliğinden yerleşen beton ile ilgili yapılmış önceki çalışmalar

2.1.10.1. KYB’de agrega ile ilgili çalışmalar

Nanthagopalan ve Santhanam (2010), KYB’lerde farklı tür kumlarla kırmataştan elde edilen kum ve doğal kumun KYB üzerindeki etkisi araştırılmıştır. KYB’nin taze beton özellikleri için; çökme akışı, T500 ve J-halka deneyleri yapıp, sertleşmiş beton için basınç dayanımı testi yapılmıştır. Çalışma sonucunda, taze beton özellikleri çimentonun hacmi ve s/ç oranının etkilediği belirtilmiş, çökme akışı 500 ± 700 mm ve akış süresi 7sn-9sn arasında elde edilmiştir. 7 ve 28 gün basınç dayanımları sırasıyla 31 MPa ve 41 MPa arasında değişmiştir. Kırmataş kumunun farklı doku, şekil ve sınıflandırılmasıyla betonun işlenebilirlik özelliği, pompalanabilme, mukavement, sertlik, çekme, yoğunluk, geçirgenlik ve basınç dayanımını etkilediği belirtilmiştir.

Helal ve Heiza (2007), farklı agrega tipleriyle üretilen KYB’larda sıcaklığın KYB’nin mikro yapı davranışı, fiziksel ve mekanik özelliklerinin deki değişkenler incelenmiştir. KYB’deki taze betonlar için çökmede yayılma, J- halkası ve V hunisi deneylerini yapmışlardır. Çalışmada mekanik özelliklerdeki değişimlerin yanısıra porozite, su emme, kütle, yoğunluk ve yüksek sıcaklığın etkilerini de incelemişlerdir. Çalışma sonucunda agrega tipinin taze betonun özelliklerini etkilediği açık bir şekilde belirlemişlerdir. Yüksek sıcaklığın betonun fiziksel ve kimyasal özellikleri ile mineralojik yapısına etkisi olduğu saptanmışlardır.

Uygunoğlu (2008), çalışmasında farklı hafif agregalar (pomza, volkanik tüf ve diyatomit) ve beş farklı (0.28, 0.31, 0.34, 0.36 ve 0.38) su/toz oranı kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda (KYB), agrega türünün KYB özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla üretilen KYB’ların taze (birim hacim ağırlık, çökmede yayılma, V-kutu, L kutu, J halkası ve elek ayrışma) ve sertleşmiş (basınç dayanımı, elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı, ısı iletkenlik katsayısı) beton özelliklerini incelemiştir.

Çalışma sonucunda, düşük su-toz oranında üretilen KYB’lerde hafif agreganın kullanılmasıyla yüksek doldurma, geçebilme ve ayrışma direnci elde edilebileceği, hafif agreganın kullanılması ile sertleşmiş beton özelliklerinden mekanik özellikler azaltılırken, yüksek sıcaklık etkisindeki ısı genleşme katsayılarının azaldığı ve KYB yoğunluklarının da önemli derecede azaltılabileceği (1640 kg/m^3) sonucuna varılmıştır. Deney sonuçlarına göre; hafif agreganın kullanımı birim hacim ağırlığını düşürdüğünü ve hafif agregalı kendiliğinden yerleşen taze betonun doldurma yeteneğine sahip olduğu belirtilmiştir.

Şengül vd. (2005), karma lif kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonun iri agreganın/ince agregaya oranına bağlı olarak taze betonun 50 cm’lik çapa yayılma süresini etkileyen parametreler incelenmiştir. Taze beton deneyleri için çökmede yayılma ve V-hunisi deneyleri yapılırken sertleşmiş beton deneyleri için basınç, yarma-çekme ve eğilme dayanımları deneyleri yapılmıştır. En az sürede yayılma süresi ve toplam yayılmada da en büyük değerin iri agreganın/ince agregaya oranının 0.83 değerinde, diğer bir deyişle sürekli granülometri durumundaki karışımda gerçekleştiği görülmüştür.

Kısıtlanmış yayılma bakımından da optimum sonucun 0.83 de yine sürekli granülometri durumunda gerçekleştiği belirtilmiştir. V-hunisi deneyine göre iri agreganın oranı arttıkça akışkanlığın veya pompalanabilirliğin göreceli olarak güçleştiği anlaşılmıştır. Basınç, yarma-çekme ve net eğilme dayanımları artan iri agreganın/ince agreganın (C/F) oranı ile değişmezken, elastisite modülü C/F nin 1.00 oranında en yüksek değere ulaştığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca iri agreganın ince agregaya oranı arttıkça kırılma enerjisi belirgin biçimde arttığını ve malzemenin daha tok bir davranış sergilendiği belirtilmiştir.

Bouzoubaa ve Lachemi (2001), farklı F sınıfı uçucu kül oranları (% 40, % 50 ve % 60) ve s/ç (0.45 -0.35) oranları kullanılarak üretilen KYB özellikleri incelenmiştir. Taze betonun akışkanlık özelliğini değerlendirebilmek için, viskozite testleri her karışıma uygulanıp sonuçları karşılaştırılmıştır. Sertleşmiş beton özelliklerini basınç dayanımı deneylerine göre belirlenmiştir.

KYB 28 günlük basınç dayanımı 48-30 MPa arasında değişmiştir. Uçucu kül kullanımı KYB'nun özelliklerini etkilediği belirtilmiştir.

2.1.10.2. KYB'da çimento ile ilgili çalışmalar

Sağlam vd. (2007), iki farklı tip (CEMI ve CEM II) çimentolarla birlikte polikarboksilat katkıyla üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda çimento bileşenlerinin beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada karışımların çökme değerleriyle, sertleşmiş betonun basınç dayanımları incelenmiştir. CEM I (C2) çimentosunun denenen altı SA (modifiye linyosülfonat kökenli) ile de uyumsuzluk gösterdiği ve 60. dakikada bu çimento ile üretilen tüm betonların çökme değerlerinin 10 cm'nin altına indiği belirlenmiştir. Kullanılan CEM II çimentosunun ise diğer iki CEM I çimentosundan farklı davranmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle CEM II çimentolarının da polikarboksilat esaslı katkıları ile başarılı şekilde kullanılabilecekleri değerlendirilmesi yapılmıştır. Sertleşmiş betondaki çimento-katkı uyumsuzluğu 1 ve 7 günlük dayanımlarda düşük değerler elde edilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır. Yine CEM I çimentosu üç katkı ile uyumsuzluk göstermiş, diğer betonlara göre dayanımdaki farklar % 20'den fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Okazawa vd. (2000), iki farklı çimento tipiyle (TÇ 32.5 ve PZÇ 32.5) ilk kuşak katkı türlerinden üretilen kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri araştırılmıştır. KYB'ların genel özellikleri, bileşim özellikleri ve çalışma mekanizması gibi konulara değinilmiş, hazır beton ve prefabrike sanayisinde kullanılan farklı katkıların farklı çimentolarla uyumları incelenmiştir. KYB'un bileşimi, etkin bir süper akışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı kullanımı, s/b oranı, en büyük agrega boyutu, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir.

2.1.10.3. KYB’de katkı ile ilgili çalışmalar

Ramyar (2007), beton üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkının çimentonun fiziksel (çimentonun kompozisyonu ve inceliği) ve kimyasal sülfat formu yapısına bağlı olarak gösterdiği performans incelenmiştir. Çimento harcının reolojik özellikleri değerlendirilmiştir. Bununla birlikte katkının kökeni, moleküler ağırlığı, sülfonasyon ve polimerizasyon derecesi gibi kaynaklı parametrelerde incelenmiştir. Parametreler incelendiğinde, süper akışkanlaştırıcı katkı içeren çimento hamurunun viskozitesinin çimento inceliğine bağlı olduğu, çimento inceliği arttıkça karışımın viskozitesinin arttığı görülmüştür. Az oranda C_3A içeriğine ve düşük inceliğe sahip çimentoların daha iyi akışkanlık özeliği gösterdiği ve küresel tanelerden oluşan çimentonun daha düşük yüzey alanına sahip olmasından dolayı daha az katkı gereksinimi olduğu belirtilmiştir.

Kılınç (2007), farklı kimyasal katkı oranlarında üretilen karışımın üç farklı sıcaklığın ($15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $30\text{ }^{\circ}\text{C}$) KYB özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Karışımlarda çökme deneyi ve Image J programı ile yüzey görüntü analizi yapılarak, basınç dayanımı değerlendirilmiştir. Taze betonda sıcaklık artışı süper akışkanlaştırıcı katkının tutunma oranını arttırdığından katkının akışkanlık etkisi $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ayrıca katkı oranı arttıkça akışkanlık da artmıştır. Image J programı ile yüzey görüntü analizi sonuçlarına bakıldığında, $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de üretilen betonlarda katkı oranı arttıkça (% 1’den sonra) iri agregaların çökmesi sonucu alt kesitte toplam iri agrega alanı üst kesitten daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Çalışmada beton sıcaklığının katkının akışkanlaştırıcı etkisini katkı dozajına bağlı olarak etkilediği, beton sıcaklığı hariç diğer hesapların eşit olduğu % 1 katkıya sahip üç karışım incelendiğinde maksimum basınç dayanımı $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de elde edilmiştir. $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de üretilen beton $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ deki betondan % 19 oranında daha düşük dayanım göstermiştir.

Türkel ve Felekoğlu (2004), normal, süper ve hiper akışkanlaştırıcı sınıfına giren farklı kimyasal kökene sahip akışkanlaştırıcıları farklı dozlarda kullanarak taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Numune üretiminde katkı miktarı firmaların tavsiye ettiği katkı oranından fazla seçilmiştir. Taze beton için çökme deneyi yapılmış, sertleşmiş beton özellikleri için basınç dayanımı testi yapılmıştır. Malzeme bileşenlerinin sabit tutulmasıyla katkı dozajının artmasıyla betonun su kusmasıyla çökme değerlerinde azalma olmuştur. Süper ve hiper akışkanlaştırıcılar yüksek dozajlarda dahi erken dayanımı etkilememiş, fakat normal akışkanlaştırıcılar tüm dozajlarda priz gecikmesine sebep olmuştur.

Yıldırım vd. (2007), KYB’larda polipropilen lif (PP) miktarına bağlı olarak beton işlenebilirliğinde kimyasal katkı tipinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, üç farklı firmadan temin edilen polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı ile her seri için 0-3.5-5.0-7.0 kg/m³ polipropilen lif (hacimce % 3.68, 5.26, 7.37 olarak) kullanılarak 12 karışım üretilmiştir. Üretilen karışımlar üzerinde taze (Çökme yayılması, L ve U kutusu) ve sertleşmiş beton deneyleri (basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülü) yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalara göre, PP’nin taze beton işlenebilirliğini olumsuz etkilediği, % 3.68 fazla lif kullanılmasıyla KYB özelliği göstermediği, PP’nin basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerinde önemli etkisi olmadığı, eğilme mukavemetinde ise % 20’ye kadar artış elde edilebildiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

2.1.10.4. KYB’de yüksek sıcaklık ile ilgili çalışmalar

Bakhtiyaria vd. (2010), KYB ile normal betonun yüksek sıcaklığa karşı beton davranışları incelenmiştir. Numune üretiminde ASTM-C150 standart tip iki Portland Çimento (PC), kireçtaşı ve kuvars tozu kullanılmıştır. Çalışmada, çimento hamurundaki değişimlerle basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Çimento harcının bileşimleri yüksek sıcaklık altındaki değişimleri termal analiz ve X-ray ile incelenmiştir. Kuvars tozu kullanımı 500 °C’de çimento hamurunda hidrasyon göstermiştir.

KYB kullanılan toz tipi kum basınç dayanımı artırmıştır. Çalışmaya göre yüksek sıcaklığın betonun hamurunda kayba yol açtığı ve beton davranışı etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Seçer (2008), polipropilen lif kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonun yüksek sıcaklık (23 °C, 300 °C, 500 °C ve 700 °C) altındaki dayanımı lif oranlarına bağlı olarak incelenmiştir. Numune üretiminde hacimce % 0.7 oranlarında farklı uzunluklarda (6, 20 ve 35 mm) polipropilen (PP) lif, betonda % 4, % 6 ve % 8 boşluk oluşturacak miktarda hava sürükleyici (HS) katkı ve ince agregaya yerine (0–2 mm) yerine % 30, % 70 ve % 100 oranlarında genleştirilmiş pertlit agregası (GPA) kullanılmıştır. Üretilen bu betonlar ve kontrol numuneleri, 23 °C, 300 °C, 500 °C ve 700 °C'ye maruz kaldıktan sonra birim ağırlık, basınç ve eğilme dayanımları, kılcal geçirimsizlik, su emme gibi özellikleri belirlenmiştir.

Daha sonra yüksek sıcaklık etkisinden hasar görmüş numuneler ve kontrol numuneleri, cam fiber takviyeli polimer (GFRP) ile sarılmıştır. Sarılan numunelerin basınç dayanımları belirlenerek kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta numunelerin artan sıcaklıkla birlikte basınç ve eğilme dayanımlarında % 82'ye varan azalmalar meydana gelmiştir. Kullanılan PP lif tipleri içinde 20 mm uzunluğundaki lifler, betonun yüksek sıcaklık dayanımını özellikle 300 °C'de diğer lif tiplerine kıyasla % 19 oranında daha olumlu etkilemiştir. Betonlarda kullanılan HS katkı maddesi ve GPA oranları arttıkça, betonun yüksek sıcaklıklardaki dayanım düşüşlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Eğilme dayanımlarında da basınç dayanımlarına benzer eğilimler tespit edilmiştir.

Arı vd. (2004), kil yerine boksit ve kireçtaşı karışımının sinterleştirilmesi veya eritilmesiyle imal edilen özel bir çimento olan kalsiyum alüminatlı çimentonun (CAC) refrakter olarak kullanımı araştırılmıştır. CAC ve şamot toprağı ile oda sıcaklığında üretilen harçlarla hazırlanan kübik numunelere 100 °C ile 1200 °C arasında 100 °C'lik artışlardaki sıcaklıklar maruz bırakılmış ve hacim, basınç dayanımı ve Böhme aleti ile aşınma kaybı değerleri ölçülmüştür.

Ölçülen değerlerin sıcaklık karşısındaki değişimleri belirlenmiştir ve laboratuarda bekletilen referans numunelerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kalsiyum alüminatlı çimento kullanılarak üretilen betonların ısıya karşı dayanımın yüksek olduğu belirtilmiştir.

Fares vd. (2010), KYB'nun yüksek sıcaklık (150°C, 300°C, 450 °C ve 600 °C) altında fiziksel ve kimyasal olarak özellikleri incelenmiştir. Fiziko-kimyasal özellikleri için mikroyapısal özelliklerine bakılmıştır. Termogravimetrik analiz, thermodifferential analizi, X-ışını kırınım ve gözlemler kullanılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra KYB davranışında fiziksel ve kimyasal özellikleri ile arasında ilişki tespit edilmiştir. 20 °C ve 150 °C belirleyici fark C-S-H su bağlantısında olmuştur. 150 °C ve 300 °C arasında ilk çatlaklar görülmüştür. Bu çatlaklar artmasının sebebi betonun gözenekli olmasından kaynaklanabileceği olarak değerlendirilmiştir. 150 °C ve 300 °C arasında basınç dayanımında değişim artmaktadır.

300 °C'de çabuk bozulan betonun mikro yapısıyla birlikte, bazı kimyasal katı çözeltilerinde Fe_2O_3 veya Brusit kristal, portlandite ayrışması veya kuvars- β içine kuvars- α dönüşümüne sebep olduğu belirtilmiştir. Tüm bu dönüşümlerin gözeneklilik artışı sonucu daha fazla çatlaklar ürettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Hana vd. (2009), kendiliğinden yerleşen beton ve normal betonun yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonraki mekanik ve fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. KYB ve normal beton karışımından elde edilen numunelerin ortam sıcaklığının yanı sıra 150, 300, 450 ve 600 °C sıcaklıklarına 1 saat süre ile maruz bırakıldıktan sonraki dayanım, eğilme dayanımı, elastisite modülleri, doluluk ve geçirimsizlik özellikleri araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda sıcaklığın 300 °C'yi geçmesi ile KYB numunelerinde parçalanma görülüp, normal betonda bu parçalanmanın görülmemesi KYB karışımlarının normal betona göre daha yüksek parçalanma riski taşıdıklarını belirtmişlerdir. Genel olarak sıcaklığın artması ile numunelerin mekanik özelliklerinde düşme görüldüğü sonucuna varmışlardır.

20-150 °C sıcaklıkları arasında dayanım kaybının az olduğunu gözlemlenmiş, bunun serbest haldeki suyun buharlaşması gibi porozitedeki artışla ilişkilendirmişlerdir. Gözeneklerin boyutundaki artışla porozitenin yükselmesi, permabilitenin yükselmesini tetiklemiş olduğunu belirtilmiş. 150-300 °C sıcaklıkları arasında ise dayanımın azda olsa yükseldiğini gözlemlerken eğilme dayanımı ve elastisite modülündeki düşüşün devam ettiğini belirtmişlerdir.

Dayanım artışının, çimento hidratasyonun bağlayıcı özelliklerinin modifikasyonu ile ilişkilendirmişlerdir. Sıcaklığın 300 °C'yi geçmesi ile mekanik özelliklerindeki kayıp hızlandığını ve 600 °C'de oldukça zayıf mekanik özellikler gözlemlemişlerdir. Bunun nedeninin sıcaklık etkisi ile oluşan geri dönülmez birim şekil değiştirme ve mikro çatlaklar oluşması ile ilişkilendirmişlerdir.

2.2. Ağır Agregalı Beton

2.2.1. Tanımı

Betonlar birim hacim ağırlıklara göre üç farklı sınıfa ayrılmaktadır. Normal beton; etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2000 kg/m³'ten büyük, 2800 kg/m³ 'ten küçük olan betondur. Hafif beton; etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi yoğunluğu), 800 kg/m³'ten büyük, 2000 kg/m³'ten küçük olan betondur. Ağır beton; etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2800 kg/m³'ten daha büyük olan betondur (TS EN 206-1, 2002).

Ağır betonlar Radyografi tesislerinde ve nükleer santrallerde oluşabilen ışınlardan korunmak amacıyla üretilen bir beton türüdür. Ayrıca kütle betonu ve istinat duvarı yapılarında da kullanımı mümkündür. Bu tür betonlarda genellikle demir minerali içeren limonit, hematit gibi ağır agregalar kullanılabildiği gibi barit (BaSO₄) ve demir saçmaları da kullanılmaktadır (Baradan, 2000).

Ağır betonlar günümüzde, başka kullanım alanları da bulunmakla beraber, en yaygın olarak radyoaktif tesislerde meydana gelen radyasyondan (zararlı ışınlardan) korunmak için kullanılmaktadırlar. Bu betonların üretiminde kullanılan ağır agregaların; seçimi, bileşimlerinin belirlenmesi, üretimleri ve yerine konulmaları geleneksel betonlara göre oldukça farklı işlemler ve  zen gerektirmektedir. Bu betonlar üzerinde gerçekleştirilen incelemelerin çok sınırlı düzeyde olduğu da bir gerçektir (Akgün vd., 2007)

2.2.2. Ağır beton agregası ve  imentosu

Ağır betonlarda kullanılan agregaların özgül ağırlıkları genellikle 3.5 kg/dm^3 ' n üzerinde olur. Normal betonlarda ise bu değer 2.6 kg/dm^3 civarındadır. Demir cevheri içeren agregalar ya da demir kırıntıları gibi sanayi atıkları agrega olarak kullanılabilir. Ancak biçimleri genellikle bozuk olduğundan ya da yağlı olmasından kaynaklanan sorunlar yaşanabilir. Kullanılan diğer ağır agregalar şunlardır;

Limonit: Sertlik derecesi 4 ve 5.5 arasında olup özgül ağırlığı 2.7 ile 4.3 kg/dm^3 arasında değişmektedir. Rengi grimsi kahverengi, parlak sarı ve hematitten gelen bir kırmızılık vardır. Manyetik bir element olup, kullanımı oldukça yaygın bir ağır agregadır.

Manyetit: 5.5 ve 6.5 derecesinde sertliğe sahip olup 5.2 kg/dm^3 'd r. Magnetit cevheri metalik parlaklığındadır. Magnetit yüksek yoğunluklu agregalar arasında yaygın kullanıma sahip önemli bir maden cevheridir. Demir siyahı, grimsi siyah; opakdır.

Kuvvetli manyetiklik (mıknatıs)  zelliği, rengi ve çizgi rengi ile ayrılır. Sülfit yataklarında, metamorfik kayalarda, pegmatitlerde ve değişik magmatik kayalarda oluşabilen bir demir mineralidir. Kontakt ve rejyonal metamorfik kayalarla, yüksek sıcaklıklı hidrotermal damarlarda sıkça rastlanır.

Ferrofosfor: Fosfor üretiminde açığa çıkan bir yan üründür. İşlenmemiş ve saf agrega olarak, radyasyon zırh betonu üretiminde kullanılır. Bu cevher % 70 oranında demir içerir. Kaba agrega yaklaşık olarak $5.72-6.8 \text{ kg/dm}^3$ arasında bir özgül ağırlığa sahiptir. Ferrofosfor betonun oluşum zamanını köklü biçimde etkiler, sıkıştırıldığı zaman tehlikeli ve yüksek basınçlı gazlar üretir. Bu nedenle ferrofosfor içeren agregalar kullanılmadan önce mutlaka testten geçirilmelidir.

Barit: Genellikle beyaz renklidir, fakat sarı esmer, pembe, açık yeşil, açık mavi, gri ve siyah renkli olanlarına da rastlanmaktadır. Atom ağırlığı 137.06 olan baryum elementi yer kabuğunda bol miktarda bulunmaktadır (Topçu, 2000).

Hematit: Fe_2O_3 formundaki demir mineralidir. Kan taşı olarak da bilinen hematitin en yaygın rengi kırmızıdır-kahverengidir. Ayrıca siyahtan griye, sarıdan kahverengine kadar içerdiği diğer kayalardan ötürü farklı renkler de bulunur.

Kırmızı tebeşir işletimi, insanlığın ilk teşebbüs ettiği madencilik dallarından biri olmuştur. Tarih öncesi çağlarda ilk kullanımı 164.000 yıl önce Pinnacle-Point adamı tarafından yapılmıştır. Toz şeklindeki mineral, Güney Afrikada bulunan Pinnacle Point mağarasında sosyal farklılaşma için kullanılmıştır. Hematit artıkları, takriben M.Ö. 80000 yılına ait mezarlarda bulunmaktadır. Polonyada bulunan Rydno ve Macaristan'daki Lovas yakınlarında paleolitik hematit çukurları bilinmektedir (M.Ö. 60000). Avrupa'da bilinen en eski yeraltı maden ocakları Taşoz adasındaki Tzines ve Vaftochili'dedirler (M.Ö. 20000 ilâ M.Ö. 15000). Almanyada buna benzer kapsamda tarih öncesi çağa ait madencilik izlerine Bad Sulzburg ve Münster vadisinde (Kara Orman) rastlanır (M.Ö. 5000'de orada bulunmuş Band seramik kültürü) (Anonim, 2012a).



Şekil 2.6. Hematit agregası

Hematit demir cevheri içeren kırmızı renkli doğal bir mineraldir. Bünyesinde demir oksidi bulundurur ve saf hematit mineralinin Mohs sertliği 5.5 ile 6.5 civarında, özgül ağırlığı ise 4.5 ile 5.5 g/cm³ civarındadır. Saf olmayan hematit cevherinin ana içeriği önemli ölçüde değişim gösterebilir ve özgül ağırlığı ise 3.2 ile 4.3 civarında olabilmektedir. Bazı cevherleri ise yumuşak yapıdadır ve bir işlem gördükleri zaman parçalanabilirler ve toz şekline dönüşebilirler ve bunlar ağır beton üretiminde agrega olarak kullanılacaksa, zayıf agrega olarak düşünülürler. Hematit parçacıkları dilimli şekildedir (Kaplan, 1989).

Hematit iki cins olarak tanınır. Birincisi Spekulant (Olijist) ve diğeri kırmızı hematitidir. Çoğunlukla hematit deyince kırmızı hematit kastedilmektedir. Kırmızı hematit, kırmızı renkli, mat, porselen üzerinde kırmızı ve kahverengi bir renk bırakan bir mineraldir. Sertliği muhtelif olup yoğunluğu 4.6-5.3 arasında değişir. Saf halde % 70 Fe ihtiva eder. Tabiatla kütle halinde, lifi, pullu ve toprağımsı olarak bulunur. Spekülarit (Olijist), demir siyahı rengine kuvvetli metal parlaklığında, porselen üzerinde kırmızı ve kırmızı kahverengi bir çizgi bırakan gevrek yapılu bir mineraldir.

Sertliği 6.5 ve yoğunluğu 5.2-5.3 arasındadır. HCl'de yavaş yavaş erir, üfleçte erimez bariz romboedrik kristalleri olduğu gibi pullu cinsi demir mikası adını almaktadır. Manyetit, ilmenit ve kromit ile karıştırılabilir (Anonim, 1970).

Dünya'da başlıca hematit yatakları; İsviçre, İngiltere, Brezilya, A.B.D., Kanada ve Venezüella'da yer alır (Yeniyol, 2004). En önemli hematit çökelleri tortul kökenlidir. Dünyada üretilen hematitin büyük bölümü (yılda yaklaşık 75 milyon ton), Kuzey Amerika'da Superior Gölü yöresindeki tortul yataktan sağlanır. Öteki önemli yataklar Brezilya'daki Minas Gerais (hematit burada başkalaşım geçirmiş tortullar halindedir), Venezuela'daki Bolivar Dağı, Labrador ve Quöbec'tir. Korkayaçların çoğunda eklenti mineral olarak bulunan hematit, genellikle siderit, magnetit ve öteki demir minerallerinin ufalanması sonucunda oluşur. Bununla birlikte hidrotermal damarlarda ve magmatik kayalarda aksesuar minerali olarak bulunabilir. Volkanik kayalarda, birçok metamorfik kayada, kontakt metamorfik yataklarda, birincil veya ikincil olarak sedimanter kayalarda yaygın olarak oluşabilir (Anonim, 2012b).

Türkiye’de başta Sivas Divriği olmak üzere Edremit Eymir, Karasu, İçel Gülnar, İzmir Tobalı, Kütahya Simav, Malatya Hekimhan, Hasançelebi ve Pötürge ile Muğla Milas’ta bulunur (Yeniyol, 2004). Türkiye’de yüksek tenor ve büyük rezervli demir yatakları umumiyetle Sivas, Malatya ve Kayseri civarındadır. Bu yataklar teşekkül itibariyle daha çok üst kretaseden tersiyer öncesine kadar uzayan jeolojik zamanda, granit-granodiorit ve siyenitik entrüzyonları ile kalkerler arasında kontakt-pnömatotik ve tersiyer öncesi siyenitik entrüzyonları ile ilgili hidrotermal yataklardır.

Türkiye’de mevcut demir yatakları yüksek tenörlü ve düşük tenörlü olarak iki sınıfa ayrılabilir. % 45 ve daha fazla Fe ihtiva eden cevherlere yüksek tenörlü, % 45 den daha az Fe ihtiva eden cevherlere de düşük tenörlü olarak değerlendirilmektedir, Türkiye bugüne kadar bulunan yüksek tenörlü demir madenleri (Çizelge 2.3), 70.9 milyon ton görünür rezerv ve 27.3 milyon ton da muhtemel rezerv olarak tespit edilmiştir (Öncan, 1966). Hematit, Hidrotermal damarlarda ve magmatik kayalarda aksesuar minerali olarak bulunabilir. Doğada kütle halinde, lifli, pullu ve toprağımsı olarak bulunur (Ata, 2005).

Çizelge 2.3. Türkiye’de başlıca yüksek tenörlü demir madenleri (Öncan, 1966)

Madenin adı	Bağlı bulunduğu il	Tenor (% Fe)	Rezerv (milyon ton)
Divriği	Sivas	63	30
Çetinkaya	Sivas	52	10.2
Deveci	Malatya	50	9
Otlukilise	Sivas	53	6.8
Karakuz	Malatya	57	4.9
Karamadazı	Kayseri	56	2.9
Avnik	Bingöl	48-60	2.5
Ayazmant	Balıkesir	57	2
Akdağ	Sivas	60	1.5
Kesikköprü	Ankara	55	1
Kösedağ	Kayseri	52-58	0.1
Eynelli	Niğde	56	-
Avşar	Elazığ	60	-
			Toplam Rezerv 70.9

2.2.3. Ağır betonun özellikleri

Ağır beton üretiminde şu özelliklere dikkat edilmelidir;

- Betonun birim ağırlığı $2.8 - 5.0 \text{ kg/dm}^3$ arasında olmalıdır,
- Betonun homojen olmasına dikkat edilmelidir,
- Çatlak meydana gelmemesi için s/ç oranı 0.50'den küçük olmalıdır,
- Beton tabaka kalınlığı en fazla 25 cm olmalıdır (Topçu, 2003).

Ağır betonun dökümünde karıştırıcıların tam kapasite ile doldurulmamaları gerekir, ağır betonun hazırlanması sırasında karıştırma süresi önemlidir. Aşırı karıştırma iri agreganın çöküp taze betonun segregasyonuna yol açmaktadır (Topçu, 2000).

Segregasyonu önleyebilmek için betondaki boşluk oranının en az olabilmesi için, kullanılan kumun da ağır olması durumunda, kütlece en uygun harç/agrega oranı 0.70 civarında olmaktadır. Bu oranın daha küçük olmasının ağır betonlar üzerinde yapmış olduğu olumsuz etki geleneksel betonlarınkinden daha fazladır.

Durum böyle olunca harç/agrega oranını 0.70'in üstünde tutmak, boşluk oranını azaltmak dolayısıyla da zararlı ışınlarla karşı betonun koruyucu etkisini artırmak için, daha uygun olmaktadır (Akgün vd., 2007).

Ayrıca betonda çekme gerilmeleri yüksek olursa, gerilmeler nedeniyle oluşan çatlaklardan radyoaktif sızıntıların olacağı muhakkaktır. Aynı zamanda ağırlıklarının fazla olması da kullanılan yapı elemanının kayma ya da devrilmeye karşı mukavemetini artırır (Durmuş ve Gürsoy, 2000).

2.2.4. Ağır betonlarla ilgili yapılmış önceki çalışmalar

2.2.4.1. Ağır betonlarda agrega ile ilgili çalışmalar

Çoşkun (2010), çalışmasında ağır betonlarda barit ağır agregası kullanılarak üretilen betonların özellikleri ve betonun radyasyon zırhlanmasındaki etkisi incelenmiştir.

Bu amaçla üretilen ağır beton karışımlarında ağır agregalar olarak barit agregası seçilerek farklı tane boyutlarında karışıma katılmıştır. Karışımlarda tane boyutu 5-22 mm grubu sabit tutularak 0-5 mm ve taş unu miktarları değiştirilmiştir. S/ç oranı 0.46 ve 0.50 olarak belirlenen karışımlarda çimento miktarı 270 kg/m^3 seçilmiştir. Betonların yüksek işlenebilirliğini sağlamak amacıyla da % 1.5 oranında yeni nesil süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre iki farklı s/ç oranlarında üretilen numunelerde taş unu miktarının azalmasıyla karışımların yoğunluklarında artış eğilimi görülmüştür. Ayrıca boşluk miktarlarındaki azalmalarında betonun soğurma miktarlarını arttırdığı belirtilmiştir.

Bunun yanında barit kullanılarak istenilen basınç dayanımları da sağlanmıştır. Karışımlardaki taşunu miktarı artışı boşluk miktarında azalmaya neden olmuş fakat soğurma miktarlarının da azalmasına neden olduğu belirtilmiştir.

Akgün vd. (2007), Doğu Karadeniz Bölgesi doğal ağır agregalarından biri olan barit agregasıyla birlikte farklı s/ç (0.30, 0.35, 0.40, 0.50, 0.55 ve 0.60) oranıyla üretilen ağır betonun, agregalar petrografik yapısını da dikkate alarak, geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Numune üretiminde birim kütlenin 3.5 kg/dm^3 civarında olmasına dikkat edilmiştir. Silindir numuneler üzerinde fiziksel ve mekaniksel özelliklerini geleneksel betonunkilerle karşılaştırılarak irdelenmiştir. Ağır ve geleneksel betonların kırılma mekanizmalarının incelenmesiyle, kırılmaların agregalar petrografik yapısından bağımsız olmadığını ve kırılmaların agregalar dayanım yetersizliğinden ileri geldiğini göstermiştir. Yapı emniyeti için dayanım kadar sünekliğin de gerekli olduğu dikkate alındığında ağır betonların radyasyona karşı koruyucu beton perde ve ağırlık gerektiren özel yapılar hariç diğer yapılarda kullanılması pek uygun olmadığı belirtilmiştir.

Yılmaz (2009), Muş ilinden elde edilen baritin, betonun başta radyasyon geçirgenliği özelliği olmak üzere mekaniksel ve fiziksel özelliklerine nasıl etki ettiği araştırılmıştır.

Beton ağırlığının esas olduğu kuru birim ağırlık, su altı ağırlık ve doymuş yüzey kuru ağırlık ölçümlerinde barit kullanılmadan üretilen normal betonun ağırlığının en düşük olduğu, numunedeki barit yüzdesi arttıkça, ağırlığının da buna paralel olarak arttığı görülmüştür. Tamamı baritle yapılacak numunelerde kuru ağırlığın 3 kg/dm^3 'ün üzerinde olduğu belirtilmiştir. Numunelerin su emme yüzdeleri karşılaştırıldığında, numune içerisindeki normal agregaya göre yoğunluğu yüksek olan barit oranının artmasıyla birlikte su emme yüzdelerinde düşüş olduğu belirlenmiştir. Numunelerin ultrases geçiş hızı deney sonuçlarına bakıldığında betondaki barit oranının arttıkça ultrases geçiş hızının da arttığı görülmüştür. Isıl iletkenlik deneyinin sonuçları incelendiğinde baritli beton ile kontrol betonu arasında kayda değer bir fark olmadığı gözlenmiştir. Baritle oluşturulan betonların yalıtım açısından avantaj sağlamadığı ancak önemli kayıplara da neden olmadığı belirtilmiştir.

2.2.4.2. Ağır betonlarda radyasyon ile ilgili çalışmalar

Kana vd. (2004), radyasyon kalkanı için kullanılacak betonun deneyleri yapılarak betonun fiziksel ve mekaniksel özellikleri incelenmiştir. Çatlak örnekleri incelenip, boya tekniği kullanılarak çatlak analizi yapılmıştır. Ağır betonda demir içerikli maden kullanımı basınç dayanımını artırırken çekme kuvvetini düşürdüğü görülmüştür. Kullanılan betonun içindeki cevher arttıkça taze beton özelliğinde hava içeriğinde arttığı bununda dalga hızını düşürdüğü belirtilmiştir.

Filiz vd. (2009), bor içerikli kolemanitin ve demir içerikli hematitin beton agregası olarak kullanılmasıyla üretilen betonların mühendislik (fiziksel ve mekanik) özellikleri ile birlikte radyasyona karşı bir kalkan olarak kullanılabilirliği fiziksel ve biyolojik yöntemlerle araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kolemanit oranının artmasıyla mühendislik özelliklerinin azaldığı, hematitli karışımlarda ise birim hacim ağırlık haricinde önemli değişiklikler olmadığı sonucuna varılmıştır.

25 MeV foton enerjisi ve ortalama 4.5 MeV nötron ışınına karşı fiziksel yöntemle yapılan ölçümlerde, kolemanit katkılı betonun zırhlama performansının nötronlara karşı daha etkin olurken hematitli betonların gama ışınına zırhlama performansının daha etkin olduğu gözlemlenmiştir.

Ratlar üzerinde 7. ve 14. günde 7 Gy olarak gerçekleştirilen radyasyon uygulamalarında radyasyona bağlı serbest oksijen radikallerinin zararlı etkilerini belirlemek için karaciğer üzerinde lipid peroksidasyon düzeyleri ile glutatyon peroksidaz ve glutatyon düzeyleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kolemanit ve hematit katkılı betonların normal betona göre daha düşük lipid peroksidasyon değerleri verdiği ve radikallerin inhibe edilmesinde önemli rolü olan glutatyon ve glutatyon peroksidaz değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Gencel vd. (2010), Hematitli agreg, normal agregayla belli oranlarda yer değiştirerek zırhlama için beton üretimi araştırılmıştır. Hematit oranının artmasına bağlı olarak yoğunluk artışı olmuş ve bununla γ ışını yutulma katsayısında artış elde edilmiştir.

Kılınçarslan (2007), belli oranlarda barit ve normal agreg kullanılarak üretilen betonun radyasyon dayanımı araştırılmıştır. C20, C30 ve C40 dayanım sınıfına sahip üç farklı seri betonlar üretilmiştir. Elde edilen beton serilerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile radyasyon soğurma katsayıları bulunmuştur. Beton bileşimleri ve agregadaki barit miktarı değişiminin beton dayanım değerlerini ve lineer soğurma katsayılarının değişimi incelenmiş ve hangi oranlarda değiştirdiği istatistiksel analizler ile belirlenmiştir. Çalışma neticesi normal agreg yerine barit kullanılması ile barit oranı artışı ile lineer soğurma katsayısının arttığı, fiziksel ve mekanik dayanımlarda değişme olduğu tespit edilmiştir.

2.2.4.3. Ağır betonlarda yüksek sıcaklık ile ilgili çalışmalar

Gencel (2011), belli oranlarda (% 15-30-45-60) değişen hematit kullanılarak üretilen betonların yüksek sıcaklığa maruz bırakarak betonda basınç dayanımını araştırılmıştır.

Çalışmada beton 25 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C farklı sıcaklıklara 1, 2 ve 3 saat maruz bırakıldıktan sonra soğutma rejimleri havada ve suda yapılmıştır. Hematit kullanımının yüksek sıcaklığa karşı betonun basınç dayanımının azaldığı belirtilmiştir.

Sevon vd. (2010), nükleer santrallerdeki patlamalardan metalin erimesiyle betona verilen zararı azaltabilmek için hematiti içerikli potlarda eritilmiş metal dökülerek simülasyon yardımıyla araştırma yapılmıştır. Çalışma beş Hecla deneyiyle metalik erime ve beton arasındaki etkileşimi yaklaşık 1800 °C eritilmiş metaller beton potalara dökülerek uygulanmıştır.

Testlerin tam uygunluğunu ölçebilmek için simülasyon kullanılmıştır. Testlerin önemli sonucu da betonun mekanik özellikleri de ölçülmüştür. FeSi içerikli beton ablasyonun silisli beton arasında fark gözlenmediği görülmüştür. Termal şok etkileriyle betonda büyük parça çatlamlar gözlenmiştir.

Hakim vd. (2005), ilmenite ve barit kullanılarak üretilen beton yüksek sıcaklığa (250-500-750 ve 950 °C) maruz bırakılarak betonda fiziksel ve mekaniksel özellikler incelenmiştir. Soğutma işlemi ise hava, su ve köpük kullanılarak yapılmıştır. Dayanımın 500 °C'den sonra düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun nedeni yüksek sıcaklıkla birlikte betonun içinde su kaybı olarak açıklanmıştır. Suya maruz kalan betonlarda basınç dayanımının daha da az olduğu belirtilmiştir.

2.3. Yüksek Sıcaklık

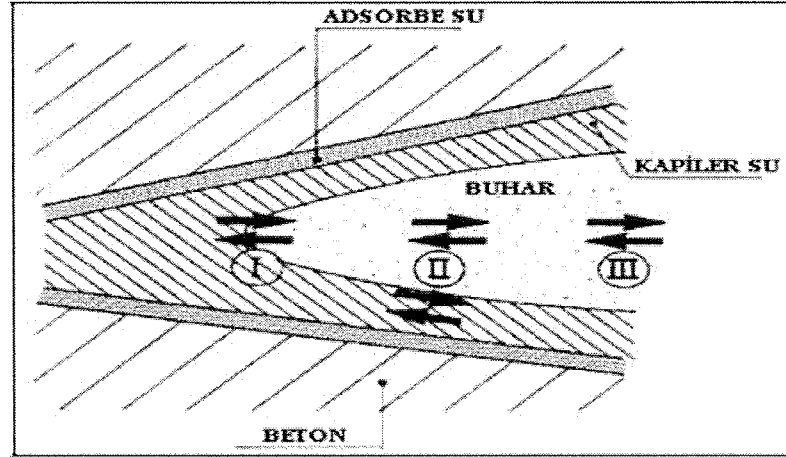
2.3.1. Yüksek sıcaklığın çimento hamuruna etkisi

Çimento hamurunun artan sıcaklıktan etkilenmesi nedeniyle çeşitli etkiler ortaya çıkmaktadır: Buharlaşabilen suyun 100 °C’de beton dışın açılması, hidrate kalsiyum silikatın dehidratasyonunun başlaması 180 °C’de, kalsiyum hidroksitin bozulması 500 °C’de ve hidrate kalsiyum silikatın bozulmaya 700 °C başlamasıdır (Seçer, 2008).

Çimento hamuru, betonun ilk ısıtma esnasında çok istikrarsız olan bir bileşenidir. Önemli düzeyde fiziksel ve kimyasal dönüşümler geçirir. Yapısındaki serbest su yaklaşık 100–200 °C ye varan düşük sıcaklıklarda buharlaşır. Yaklaşık 300 °C ve üzerinde yapısındaki bağlı su kaybı ve kimyasal çözülme önemlidir. Isıl etkiler yaklaşık 600 °C’nin üstünde erimeyle sonuçlanarak önem kazanmaktadır (Özbey, 2009).

Beton bünyesinde su üç farklı şekilde bulunmaktadır. Bunlar, jel yapılı çimento hamurundaki kalsiyum silikat hidratenin (CSH) katı ögelerini birbirine bağlayan adsorpsiyon suyu, hidratlardaki kimyasal bağlı su ve kılcal boşluklarda serbest sudur. Çimento türüne ve üretim sırasındaki s/ç oranına bağlı olarak, betonda hacminin % 4’ü kadar bulunabilen serbest su 100 °C’de, kimyasal bağlı su ise 300 °C’de buharlaşmaktadır.

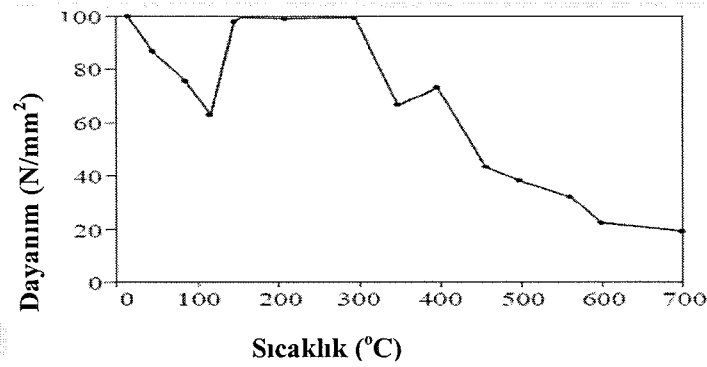
Sıcaklık etkisi ile bu mertebedeki suyun kaybı ile oluşacak büzülme ve beton içinde oluşan buhar basıncı, donatı beton örtüsünün çatlamasına ve parçalanarak kopmasına neden olur. Beton örtünün tahrip olması sonucu donatı daha yangının başlangıcında sıcak gazla temasa geçmektedir (Akman, 2000). Şekil 2.7’de basitleştirilmiş boşluk suyu transferi görülmektedir. I suyun buharlaşması veya yoğurması, II betonun içine suyun transferi, III ise suyun dış çevreye transferini temsil etmektedir (Özbey, 2009).



Şekil 2. 7. Boşluk suyu transferi (Özbey, 2009).

Şekil 2.8'de görüldüğü gibi, sıcaklığın 120 °C'ye kadar artmasıyla dayanım azalmaktadır. Bu durum, hamurdaki su tabakalarının şişmesi nedeniyle bağların zayıflamasına bağlanmaktadır. Bu davranış, Khoury (1992) tarafından C-S-H (kalsiyum silikat hidrat) tabakaları arasındaki azalan kohesif kuvvetlere (Van der Waals) ve azalan yüzey enerjisi şeklinde açıklanmıştır.

Dayanımların bu sıcaklıktan sonra tekrar kazanılması, kimyasal olarak bağlı olmayan buharlaşabilen suyun kaybına (termal kuruma) bağlanmıştır. Ayrıca, hamurdaki, hidrate olmamış çimento tanelerinin hidratasyonu da bu davranışta etkilidir (Çil vd., 2007).



Şekil 2.8. Yüksüz olarak ısıtılan ve sıcak olarak test edilen çimento hamurunun basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi (Çil vd., 2007).

2.3.2. Yüksek sıcaklığın agregaya etkisi

Yüksek sıcaklıklarda, yaygın olarak kullanılan agregaların pek çoğunda fiziksel ve/veya kimyasal değişimler meydana gelir ve parçalanırlar. Örneğin; nehir çakılı 350 °C civarında içeriğindeki bileşen minerallerin diferansiyel ısı genleşmesi sonucu parçalanır. Agregalarda meydana gelen bu parçalanma, betonda önemli genleşme ve parçalanmaya neden olmaktadır (Cülfik, 2001).

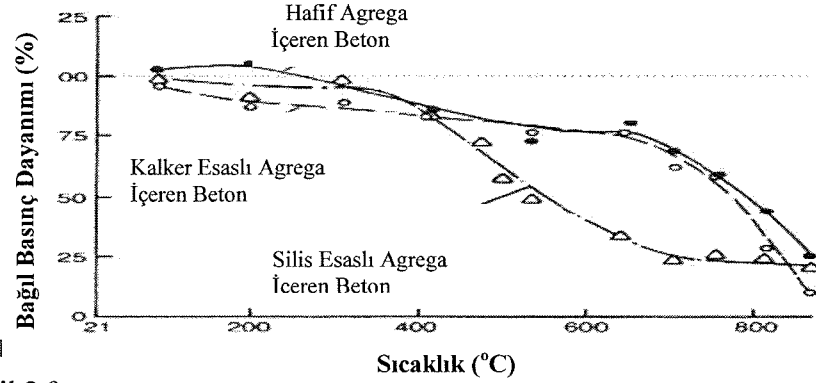
Yüksek dayanımlı betonların normal betonlara göre yüksek sıcaklık etkisine daha az dayanıklı oldukları düşünülmektedir. Betondaki boşluk miktarının azalmasıyla agrega tipine bağlı olarak, çimento jeli tarafından tutulan su buharlaşarak iç basınç oluşturur veya agregalardaki değişimden dolayı yüksek sıcaklık etkisinde beton ısı genleşme katsayısından dolayı genleşir ve hatta nem miktarının fazla olması durumunda parçalanabilir (Ye vd., 2007).

Silis esaslı agregalar için kritik sıcaklıklar 250 °C ile 575 °C'ler arasındadır. Yüksek sıcaklıklarda karbon bileşimi ayrışır ve 1200 °C'de erir. Kumların büyük çoğunluğunu teşkil eden kuvarz, 575 °C'de yaklaşık % 5.7'lik bir hacim artışı ve endotermik bir reaksiyonla α -kuvarztan β - kuvarza dönüşür (Alonso vd., 2003) .

Pomza, köpük cüruf ve genleştirilmiş kil ürünleri gibi hafif agregaların yangın dirençleri yüksektir. Hafif agregalardan üretilmiş betonların ısı iletkenliği düşüktür (Özbey, 2009).

Granit ve bazalt gibi volkanik kayalar ise 1000 °C'ye kadar kararlı yapıda kalabilmektedir. Ancak sıcaklığın aniden artması ve azalması parçalanmalara neden olabilir. Pomza, köpük cüruf ve genleştirilmiş kil ürünleri gibi hafif agregaların yangın dirençleri yüksektir. Hafif agregalardan üretilmiş betonların ısı iletkenliği düşüktür. Allen ve Desai (1967) tarafından yapılan deneysel bir çalışmada farklı tip agregaların kullanıldığı betonlar 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış, agrega olarak killi ateş tuğlasının kullanıldığı betonlar, en iyi mekanik özelliği göstermiştir.

Genellikle silis içermeyen agregalar, örneğin kalker ve volkanik kökenli agregalar ile üretilen betonlar yüksek sıcaklık etkisine karşı daha dayanıklıdır (Yüzer vd., 2004).



Şekil 2.9. Beton basınç dayanımının agrega türüne göre sıcaklıkla değişimi (Yüzer vd., 2004).

Tane yüzeylerindeki suyun 65–80 °C aralığında, ara yüzey suyunun ise 90–105 °C’de buharlaştığını göstermiştir. Termal dehidratasyonun bu yararlı etkisi, mekanik özelliklerin bozunmasına neden olan jelin dehidratasyonu ve mikro çatlakların oluştuğu 300 °C’nin üzerinde sona ermektedir.

Sıcaklık 300 °C’ye ulaştığında C-S-H ara yüzeylerindeki su ile C-S-H ve sülfoalüminattan gelen kimyasal bağ suyunun bir bölümü kaybolur. Mikro çatlaklar önce (yaklaşık 300°C’de) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’in toplandığı bölgelerde ve daha sonra hidrate olmamış tanelerin bulunduğu bölgede (yaklaşık 400 °C’de) görülür. Sertleşmiş çimento hamurunda mikro çatlakların oluşumu hamurdan ayrılan su miktarına karşın mikro gözenekliliğinin daha hızlı büyümesinden kaynaklanmaktadır. 400 °C’nin üzerindeki sıcaklıklara maruz kalan örneklerin parçalanması, bu sıcaklıkta kalsiyum hidroksitin ayrışması ve ardından soğuma sonunda tekrar hidrate olarak genişlemesine bağlıdır. Isınma esnasında kalsiyum hidroksitin kirece ayrışması ve suyun buharlaşması dayanım kaybı açısından kritik değildir. Oluşan çatlakların nedeni, çözünmüş $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’in hacminde % 44’lük bir artış meydana getiren yıkıcı bir şekilde tekrar hidrate olmasından dolayı meydana gelen genişlemedir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’in ayrışma sıcaklığı literatürde 400–600 °C arası olarak aktarılır. C-S-H’nin ise tamamen ayrışması ve kimyasal olarak bağlı suyun kaybı 900 °C civarında gerçekleşir.

Bununla birlikte, 800°C civarında oluşan seramik bağ çimento hamurunun sıcağa karşı direncimde olmasa bile, yüksek sıcaklık etkisinden sonra kalan dayanımında artışa neden olur. Seramik bağın oluşturulması işlemi, alüminli refrakter betonlarda kasıtlı olarak yapılan bir işlemdir. Bu betonlarda ilk yakma işleminden sonra seramik bağ hidrolik bağın yerini almaktadır (Erman, 2010).

2.3.3. Yüksek sıcaklığın betona etkileri

Yüksek sıcaklığın betona etkisi, betonun maruz kaldığı sıcaklık ve sürenin yanı sıra çimento hamuru fazı ve agrega türüne bağlı olarak da değişir ve bu etki betonun basınç dayanımının belirgin bir şekilde azalması ile sonuçlanmaktadır (Akman, 2000).

1–3 saat uygulanan yüksek sıcaklığın önemli etkisinin olduğu, uygulama süresinin artmasıyla etkinin azaldığı, bu nedenle meydana gelen dayanım azalmalarının ilk iki saat içerisinde gerçekleşmektedir (Topçu ve Demir, 2007).

Bu nedenle yüksek dayanımlı betonların daha az boşluk oranı içerdiklerinden yüksek sıcaklık etkisinde daha fazla zarar görebilirler. Yüksek dayanımlı betonların sınıfında olan KYB’ler için de benzer durum söz konusudur.

Yüksek dayanımlı betonlarda (YDB) ve KYB’lerde yüksek sıcaklık etkisinde oluşacak hasarın en aza indirilmesi için sıcaklıkla eriyip beton içinde boşluk oluşturan polipropilen liflerin kullanılması önerilmektedir (Ermco, 2005).

2.3.3.1. Isıl iletkenlik

Betonun ısı iletkenlik katsayısı, büyük oranda bileşenlerinin, yani çimento hamuru ve agreganın geçirgenliğine bağlı olmaktadır. Genel olarak bazalt ve trakit düşük bir geçirgenliğe, dolomit ve kireçtaşı ise orta düzeyde bir geçirgenliğe, kuvars ise en yüksek iletkenliğe sahiptir (Neville, 1995; Özbey, 2009).

Betonun kalker ve dolomit esaslı agregalarla üretilmesi durumunda λ büyük değerler almaz. Buna karşın silis esaslı agreganın kullanıldığı betonda λ 'nın % 15–20 daha büyük olduğu kabul edilir. Isı iletim katsayısına etki eden diğer iki önemli unsur, boşluk oranı ve boşluk yapısı ile su içeriğidir. Suyun ısıyı havaya göre daha fazla iletmesinden dolayı kuru haldeki bir cisimde, gözeneklerin fazla olması λ 'nın düşmesine yol açar. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun, gözeneklerinden su kaybettiği, çimentonun dehidratasyonu ile boşluklu bir yapıya dönüştüğü ve ısı iletim katsayısının azaldığı bilinir (Aköz ve Yüzer, 1994).

2.3.3.2. Özgül ısı ve ısı genleşme

Betonun özgül ısı, diğer bir deyişle bir gramının sıcaklığını 1 °C arttırmak için gerekli olan ısı enerjisi, sıcaklıkla çok az değişir. Bu büyüklüğe agreganın önemli etkisi yoktur (Aköz ve Yüzer, 1994). Ancak betondaki rutubet muhtevasının artışına bağlı olarak önemli ölçüde yükseliş ortaya koymakta; sıcaklığın artışıyla yükselmekte; ancak betonda bulunan buharlaşabilir suyun etkisiyle 100 °C civarında düşüş sergilemektedir (Özbey, 2009).

2.3.3.3. Isıl yayılma

Basitleştirilmiş hesaplamalar için ısı yayılma hızı genelde ($a = \lambda / c \cdot \rho$) ısı iletkenliğinin yoğunluk ile özgül ısı değerinin çarpımının bölümü hesaplanır (λ ısı iletkenlik (W/m°C), ρ yoğunluk (kg/m³) ve c özgül ısı (KJ/kg°C) indisidir).

Bu katsayı malzemenin sıcaklık özelliğine ilişkin geniş kapsamlı bir bilgi vermektedir. Bu nedenle sıcaklığa bağlı olarak özgül ısının nasıl değişim gösterdiğini öğrenmekte oldukça gereklidir. Isıl yayılma sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca agrega türünün de bu katsayı üzerinde etkili olduğu muhakkaktır. Betonun ısı yayılma değerini önemli ölçüde etkiler. Ayrıca betonun ısı yayılma değerinde 100 °C civarında serbest suyun buharlaşmasına bağlı olarak önemli bir azalma görülmektedir.

2.3.3.4. Isı şoku parametresi

Gevrek malzemelerde sıcaklık değişimleri hızlı ve sıcaklık gradyanı yüksek ise büyük ısıl gerilmeler ve dolayısıyla çatlamlar oluşabilir. Isı şoku denilen bu olay ısı iletimine ve ısıl genleşmeye büyük ölçüde bağlıdır. Isı iletimi yüksek ve ısıl genleşmesi küçük malzemelerde, ısıl enerji hızla çevreye yayılır bu nedenle sıcaklık gradyanı düşük, boyut değişimleri az, dolayısıyla gerilmeler küçük olur. Malzemelerin ısı şokuna dayanıklılığını belirtmek için ısı şoku parametresi kullanılır. Isıl şoka dayanıklılık yüksek ısı iletimli ve yüksek çekme dayanımlılarda büyük, ısıl genleşmesi ve elastisitesi büyük olanlarda ise küçük olur (Onaran, 2000).

2.3.3.5. Kütle kaybı

Yerleştirme sırasında beton ıslak, boşluklu bir malzemedir. Normal ve yüksek dayanımlı betonlar 70 °C'de ilk kütlelerinin % 99'a kadarını korumaktadırlar. Betonda bulunan serbest su 70 ile 120 °C arasında buharlaşmaktadır. Normal ve yüksek dayanımlı betonlar 120 °C'de aynı miktarda su kaybetmektedirler. Kütlelerindeki kayıplar sadece % 1.4 civarındadır. En yüksek kütle kaybı 120 ile 300 °C arasında % 7 civarındadır. Bunun nedeni sertleşmiş betonda bulunan bağlı suyun kurumasıdır. Kütle kaybı 300 ile 600 °C arasında kısmi olarak daha az önem taşımaktadır. Artan sıcaklıklarda yüksek dayanımlı betonlarda kayıp daha azdır. Bunun nedeni büyük olasılıkla yüksek dayanımlı betonun daha az kalsiyum hidroksit içermesidir, bu durum mineral katkıların puzolonik etkisinin sonucudur (Cülfik, 2001).

2.3.3.6. Birim hacim ağırlığı

Betonun yoğunluğu sıcaklık yükselmesi sırasında önemsiz bir değişim sergilenip, değişim özellikle serbest suyun buharlaşmasına bağlı olmakla birlikte, ısıl genleşmenin yol açtığı hacim artışıyla da ilişkilidir. Sıcaklığın artması ile boşluklardaki suyun buharlaşması sonucu ağırlık azalır, genleşme nedeniyle hacim artmaktadır (Cülfik, 2001).

2.3.3.7. Boşluk oranı

Betonda gözenek ölçümlerinin verdiği sonuçlara göre, 120 °C'nin altındaki sıcaklıklarda beton boşluk oranının çok az değiştiği görülmüştür. Yüksek performansa sahip betonun kalan toplam gözenekliliği 25, 70 ve 120 °C sıcaklıklarda neredeyse değişmemektedir. Katı mikro yapısı çok fazla değişime uğramamıştır (Cülfik, 2001).

2.3.3.8. Renk

Yüzer vd. (2004) yaptıkları çalışmada yangın nedeniyle yüksek sıcaklık etkisi ve soğutma türünün betona fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini araştırmak için, silis esaslı agrega kullanılarak üretilen normal ve silis dumanı katkılı harçlar 100, 200, 300, 600, 900 ve 1200 °C gibi farklı sıcaklıklara maruz bırakılmışlardır. Soğutma işlemi havada ve suda olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerde eğilme ve basınç deneyleri, ağırlık kaybı, su emme ve ultrases geçiş süresi ölçümleri yapılmıştır. Aynı numunelerde Munsell Renk bileşenleri olan tür, değer ve doymuşluk, dijital renk ölçer ile sayısal olarak belirlenmiştir.

Bunun sonucunda yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan yapıda renk ölçümü yapılarak elemanın maruz kaldığı sıcaklık derecesi ve basınç dayanımında meydana gelen kayıplar hakkında fikir edinilebileceği kanısına varılmıştır. Son yıllarda yüksek dayanımlı beton üretiminde yaygın olarak kullanılan silis dumanının, yüksek sıcaklık etkisindeki performansının göz önüne alınarak yangın yönetmeliğinde dikkate alınması gerektiğini önermişlerdir.

2.3.3.9. Basınç dayanımı

Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun basınç dayanımına, çimento tipi, agrega türü, s/ç oranı gibi kullanılan malzeme özellikleri ve sıcaklığa maruz kalınan süre, nem durumu, ısınma ve soğuma hızı, yükleme durumu gibi çevresel faktörler etken olmaktadır (Özbey, 2009).

Soğutma Türünün Basınç Dayanımına Etkisi; Soğutma türünün de yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun basınç dayanımına etkisi vardır. Su ile soğutulan numunelerin basınç dayanımlarındaki azalma havada soğutulan numunelere nazaran daha fazladır (Neville, 1995; Yüzer vd., 2004).

Betonda Isıtma Sürecinde Buharlaştırılabilir Suyun Basınç Dayanımındaki Rolü;

Genel olarak, ilk başta nemli ve su yalıtımsız betonun basınç dayanımı sıcaklık artışıyla beraber düşer. Dayanım 80–100 °C arasında önemli bir düşüş gösterir. Nem içeriği 20 ile 450 °C arasındaki sıcaklıklarda betonun dayanımında önemli bir rol oynar. Betondaki emilmiş suyun çimento jelini yumuşattığı veya jel partikülleri arasındaki yüzey güçlerini (Van der Waals güçleri) zayıflattığı, böylece dayanımı azalttığına inanılmaktadır.

Beton basınç dayanımının 100 °C ile 300 °C arasındaki sıcaklıklarda azalması, çimento hamuru boşluklarının suyla dolması sonucu oluşan gerilmelerden kaynaklanmaktadır. Betonun ısı genleşme katsayısının sıcaklıkla bağlantısı 200 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda düşük olmakta, ancak 600 °C civarına çıkıldığında kullanılan agreganın içerdiği kuantza bağlı olarak hızla yükselmektedir.

Döküldüğü durumda nem kürü uygulanan betonun oda sıcaklığıyla 200 °C arasındaki ısı genleşme katsayısı, havada kür uygulamasında elde edilen katsayıların yaklaşık % 75–85'i kadar oluşmaktadır. Bunun nedeni, betonda kuruma büzülmesinin gözle görülebilir genleşmeyi azaltmasıdır (Cülfik, 2001).

Özbey (2009), çalışmasında, yüksek sıcaklığın betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini araştırmak için beton numuneleri 28 ve 56 günlük kür sürelerinin sonunda, TS EN 1363-1'e uygun olarak 3 saat süreyle 150, 300, 450 ve 600 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta ısıtılmış, soğutma işlemi havada ve suda olmak üzere iki farklı grupta incelemiştir. Yüksek sıcaklıkların ve söndürme türünün betonlar üzerinde kayda değer fiziksel ve mekanik etkiler yaptığını göstermiştir. Özellikle 600 °C'de betonların dayanımlarında çok büyük kayıpların meydana geldiği, kayıpların havada soğutma uygulanan betonlarda suda soğutma uygulananlara göre daha az olduğu görülmüştür.

Fares vd. (2009), beton numuneleri yüksek sıcaklığa (150–300–450–600 °C) maruz bırakarak betondaki dayanım değişimlerini incelemiştir. Çalışmada numuneler yüksek sıcaklıklara maruz bırakılıp bir saatlik soğutma yapılmıştır. 20 °C ve 150 °C betondaki su kaybı az olduğundan dayanım kaybı da az olmuştur.

150 °C ve 300 °C de eğilmede fiziksel değişim başlamasına rağmen 300 °C ile 600 °C arasında çok daha belirgin elde edilmiştir. Geliştirilen modelde su geçirimsizliği ve rezidüel basınç dayanımı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışma sonucunda eğilme dayanımı ve elastisite modülündeki kayıpları porozite ve su geçirimsizliği değerleri ile açıklanmıştır.

2.3.3.10. Çekme dayanımı ve elastisite modülü

Betonun çekme dayanımı çoğunlukla eğilmede çekme ve yarma deneyi sonuçları ile araştırılmaktadır. Silindir numunelerde değişik sıcaklık etkisinde iken ve soğutulduktan sonra yapılan yarma deneyi ile elde edilen çekme dayanımlarında 100 °C'den itibaren önemli düşüşler olmakta ve 600 °C'de kayıp % 70'e varmaktadır (Ceb, 1991; Özbey, 2009).

Elastisite modülünün artan sıcaklığa bağlı olarak azalmaktadır. Kür koşullarının veya deney ortam sıcaklığının (sıcak ve soğuk) bir etkisi bulunmamaktadır (Cülfik, 2001).

Çimento hamurunun elastisite modülü, sıcaklığın 200 °C'ye kadar çıkması ile % 50 oranında azalır. 200 °C den 300 °C'ye kadar bir değişiklik göstermezken, 300 °C'nin üzerinde hem elastisite modülü hem de dayanım önemli derecede ani olarak düşer. 600 °C'den sonra elastisite modülü çimento hamurunun boşluklarındaki hızlı artıştan dolayı tekrar ani bir şekilde düşer (Çil vd., 2007).

Young modülünün azalması hızlanarak artan sünme ve çatlak oluşumu yüksek ısı ve yük altında mukavemetteki azalma soğuma döneminde gevrek betonun yapısını değiştirmektedir. Betonun mukavemeti çok azalmasına rağmen yüksek sıcaklıklarda sünek hale gelmektedir.

Bir yangında betonun içindeki suyun kuruyarak çekilmesi betonda büzülmelere, kristal yapının ve elastikiyetinin değişmesine, mukavemetin düşmesine, renkte ve kimyasal yapıda değişimlere neden olmaktadır (Bilal, 2006).

2.3.4. Yüksek sıcaklıkla ilgili yapılmış önceki çalışmalar

2.3.4.1. Yüksek sıcaklık da agrega ile ilgili çalışmalar

Erman (2010), uçucu kül miktarı ve kür süresinin KYB'lerde yüksek sıcaklık dayanımındaki etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, % 0, 20, 40 oranlarında uçucu kül kullanılarak üretilen beton örnekleri, 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerine tabi tutulmuştur. Üretilen numuneler 3 saat süreyle 20 °C, 100 °C, 400 °C, 700 °C ve 900 °C'lik sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda, uçucu külün artmasıyla basınç dayanımı değerlerinin azalma göstermesine karşılık yüksek sıcaklık etkisi sonrasındaki basınç kaybı değerlerini olumlu yönde etkilediği, KYB karışımlarında % 20'ye kadar uçucu kül kullanımının yararlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Topçu ve Uygunoğlu (2007), hafif agrega kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonda yüksek sıcaklık etkisi altındaki numunelerin termal genleşme katsayılarının ilişkisi araştırılmışlardır.

Deneysel çalışmada pomza ve kireçtaşı kullanarak değişik su/ince malzeme (çimento ve mineral katkıları) oranları ve değişik dozajlarda süperakışkanlaştırıcı ile numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin termal genleşme katsayılarının belirlenmesi için 28 günde dilatometre ile termal test yapılmıştır. 5 °C/dakika sıcaklık artışı ile 20 °C'den 1000 °C'ye kadar farklı sıcaklıklara tabi numunelerin boylarındaki lineer değişimlerin ölçümleri ile termal genleşme katsayılarını tanımlamıştır. Çalışmaların sonucunda KYB'nin termal genleşme katsayılarının normal betonlara göre daha yüksek olduğu gözlenmiş, hafif agrega kullanımının termal genleşme katsayısını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Böylece agrega tipinin termal genleşme katsayısına önemli derecede etkilediği belirtilmiştir.

Lee vd. (2009), beton içyapısıyla birlikte, çimento ve harçtaki değişimlerin yüksek sıcaklık etkisiyle değişimi incelenmiştirler. 20 °C–120 °C, 120 °C–400 °C, 400 °C–530 °C, 530 °C–640 °C, 640 °C–800 °C arasında yüksek sıcaklık uygulanmıştır. Bu inceleme elastisite modülündeki üç ayrı termal değişime (beton, harç ve çimento hamuru) dayanarak çok ölçekli chemo-mekanik modeliyle modellenmiştir. Isıtma işlemi sırasında serbest su sıfır modülü ile gözenek dağılımı bir parçası olarak kabul edilmiştir. Sıcaklık arttıkça gözenek hacminin değişimi, mevcut modele göre tahmin edilmiş ve test ile karşılaştırılmıştır. Çimento hamurunun elastik modülüne etkisi, çeşitli kum ve çakıl elastik modülü değişimleri mevcut test verilerine dayanarak kurulmuştur.

2.3.4.2. Yüksek sıcaklık da ilave malzeme ile ilgili çalışmalar

Behnood (2009), belli oranlarda polipropilen (% 6.2, % 7.7 ve % 10.2) ve polipropilensiz lifle birlikte, silis dumanı ve latex kullanılarak üretilen betona yüksek sıcaklık (100 °C, 200 °C, 300 °C, 600 °C) uygulanıp mekaniksel özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, basınç dayanımı, yarma-çekme dayanımı, ampirik genetik programlama yapılmıştır. Sonuç olarak 300–600 °C aralığı fazla yüksek dayanımına sahip beton için test sonuçlarına göre 2 kg/m³ ağırlığında kullanılan PP elyaf önemli etkisi olduğu belirtilmiştir. Boşluk oranları yüzünden mekanik bozulma görülmüştür. 600 °C maruz kaldıktan sonra bir güç kaybı betonların tümünde gözlenmiştir.

Özellikle silis dumanı içeren betonlarda iyi mekanik özellikler gözlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda betonun yarmada çekme dayanımı basınç dayanımdan daha duyarlı olduğu belirtilmiştir.

Ye vd. (2007), polipoliprenli lifle üretilen kendiliğinden yerleşen betonun ve normal betonun yüksek sıcaklık altında çimento harçları karşılaştırılıp betonun özellikleri araştırılmıştır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle çimento hamurundaki değişimler mikro boyutlarda incelenmiştir. Faz dağılımı ve kendiliğinden sıkışan mikroyapısal değişiklikler yüksek sıcaklıklarda çimento hamuru porozimetresi ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir.

Farklı sıcaklıklarda kendiliğinden sıkışan çimento hamurunun ayrıştırması termogravimetrik analizi ile belirlenmiştir. Deneysel sonuçların kendiliğinden yerleşen çimento hamuru yüksek performanslı çimento hamuru ve geleneksel çimento hamuru olanlar ile karşılaştırılmıştır. Çimento hamuru yüksek performanslı çimento hamuru ile karşılaştırıldığında, toplam porozite daha yüksek bir değişim göstermiştir. Kendiliğinden yerleşen betonun çimento hamuru içindeki polipropilen liflerin (0.5 kg/m^3) yüksek sıcaklıktan çok etkilenmediği belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde ağır agregalı (hematitli) kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılan malzemeler, tasarımı ve deneyler detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Öncelikle kendiliğinden yerleşen beton özelliklerini belirleyebilmek için doldurma yeteneği, geçebilme yeteneği, ayrışma direncini belirleyebilmek için ön deneyler anlatılmaktadır. Sonrasında ise üretilen betonların üzerine sertleşmiş beton deneyleri yapılarak mekaniksel ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. İlave olarak numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak betonun yüksek sıcaklık altındaki dayanımları incelenmiştir. Çalışma süresince yapılan deneyler Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Uygulan deney metotları

Agrega Deneyleri	• Elek Analizi; TS 130 (1978) ve TS 3530 EN 933-1 (1999) • Birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri; ASTM C 127 (2001) ve ASTM C 128 (1997) • Sıkışık ve gevşek birim hacim kütle (yığın yoğunlukları) deneyleri; ASTM C 29 (1997) ve TS 3529 (1980)
Taze Beton Deneyleri	• Çökme (Slump) deneyi; ASTM C 143 (2000) ve TS EN 12350-2 (2002) • Hava miktarı tayini; TS EN 12350-7 (2002) • Birim hacim ağırlık deneyi; TS EN 12350-6 (2002) • V-Kutusu Deneyi (EFNARC Standartları) • L-Kutusu Deneyi (EFNARC Standartları)
Sertleşmiş Beton Deneyleri	• Betonların bakımı ve kürü; TS 3323 (1979) ve TS EN 12390-2 (2002) • Basınç mukavemeti tayini; TS EN 12390-4 (2002) ve TS EN 12390-3 (2003) • Ultrases geçiş hızı tayini deneyi; ASTM C 597 (1997) • Schmidt yüzey sertliğinin belirlenmesi; TS 3260 (1978) • Eğilme dayanımı tayini; TS EN 12390-4 (2002) ve TS EN 12390-5 (2002) • Yüksek sıcaklık (20 °C, 100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C) (TS EN 13820-2004)

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Agregaların seçimi ve sağlanması

Elek analizinde TS 130 (1978) ve TS 3530 EN 933-1 (1999) göre elek serisi kullanılmıştır. Deneyler üç kez tekrarlanarak yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Deneysel çalışmada kırmataş ve ağır agrega olan hematit agregaları kullanılmıştır. Kırmataş Cebeci-İstanbul'dan temin edilmiştir. Hematit ise Hekimhan-Malatya bölgesinden temin edilmiştir. Kırmataş agregası 0-4, 0-8, 0-16 mm sınıflarına göre ayrılmıştır. Hematit agregası madenden tüvenan halde gelip öğütüldükten sonra 0-4, 0-8, 0-16 mm mm olarak elek aralıklarında ayrılıp sınıflandırılmıştır.

3.1.2. Çimento

Beton üretimlerinde TS EN 197-1 (2002) standartlarına uygun olan CEM I 42.5/R tip ve alüminatlı çimento kullanılmıştır. CEM I 42.5 R çimentosu 50 kg torbalar halinde refrakter malzeme özelliği gösteren alüminatlı çimentolar ise 25 kg torbalar halinde temin edilmiş olup hava almayacak şekilde poşetlenerek saklanmıştır. Çimentoların yanında ince malzeme olarak 100 mikronluk elekten geçmiş hematit ve kırmataştan elde edilmiş kırma taş tozu ve hematit tozu kullanılmıştır.

3.1.3. Kimyasal katkı

Betonların üretiminde kullanılan kimyasal katkı, polikarboksilat esaslı yeni nesil akışkanlaştırıcıdır. KYB içerisinde ağır agregaların ve kırmataşın homojen dağılımını sağlamak için tüm serilerde süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcı kullanılmış olup kullanım miktarı ön deneylerle belirlenmiştir.

3.1.4. Karışım suyu

Tüm kendiliğinden yerleşen beton üretimlerde şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.5. Beton karışım hesapları

Deneme çalışmasında 500 kg/m³ dozlu, CEM I 42.5 R ve Alüminatlı çimentolarıyla hematit agregası kullanılmıştır. Araştırma deneyleri ise 300, 400 ve 500 kg/m³ dozlu CEM I 42.5 R ve Alüminatlı çimentolarıyla hematit ve kırmataş agregası kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı katkı miktarı ve s/ç oranı ön deneyler sonucunda belirlenmiştir. Beton karışım oranlarında katkı oranı belirlenirken yayılma 650 mm-800 mm arasında olması hedeflenmiştir.

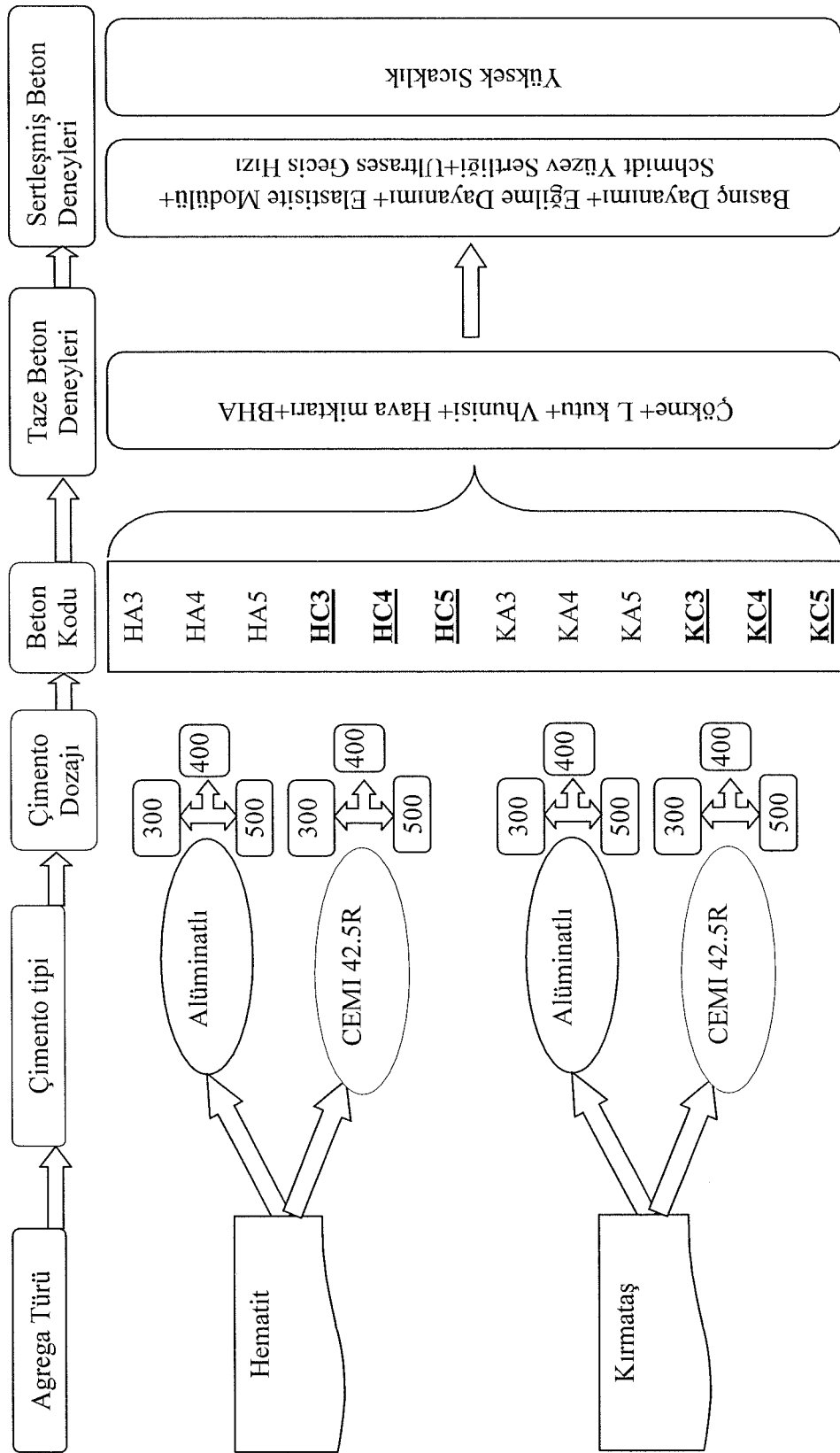
Şekil 3.1’de hazırlanan beton karışımının malzemeleri ve uygulanan deneyler verilmiştir.

3.2. Yöntem

Çalışmada öncelikle agrega deneyleri uygulanmış sonrasında, 12 farklı seri beton üretilmiştir. Karışımlara öncelikle taze beton deneyleri uygulanmış ve 28 gün kür sürecinden sonra sertleşmiş beton deneyleri uygulanarak betonun mekaniksel ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

3.2.1. Birim hacim ağırlık

Birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri; ASTM C 127 (2001) ve ASTM C 128 (1997)’e göre yapılmıştır. Sıkışık ve gevşek birim hacim kütle (yığın yoğunlukları) deneyleri; ASTM C 29 (1997) ve TS 3529 (1980)’a göre yapılmıştır.



Şekil 3.1. Üretilen beton dizaynları ve uygulanan araştırma deneyleri

3.2.2. Taze beton deneyleri

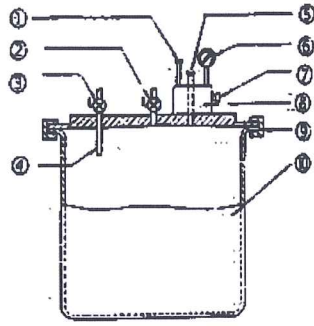
Kendiliğinden yerleşen betonun taze beton özelliklerini belirleyebilmek için doldurma yeteneği, geçebilme yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç deneyleri yapılmıştır. Çizelge 3.2’de karışım hazırlandıktan sonra doldurma yeteneği, geçebilme yeteneği ve ayrışmaya karşı direncin belirlenmesi için yapılan deneyler verilmiştir.

Çizelge 3.2. KYB’nin taze haldeki özellikleri ve belirlenme için yapılan deneyler

Belirlenen Özellik	Yapılan Deney
Doldurma Yeteneği	• Çökmede yayılma • İlk 500 mm lik çapa ulaşma süresi • V-kutusu akış süresi
Geçebilme Yeteneği	• L kutusu
Ayrışmaya Karşı Direnç	• T5 dak’da V kutusu akış süresi

3.2.3. Hava miktarı tayini deneyi

Taze betonda hava oranı tayini deneyi TS 12350–7 (2002)’ye uygun olarak yapılmıştır. Taze betondan numune alma talimatına göre harmanı temsil edecek en az 20 dm³’lük deney numunesi alınmıştır. Ölçü kabı üst yüzeyi mala ile sıyrılmış, bir bez ile ölçü kabı kenarları temizlenmiştir. Üst kapak kapatılarak mandallar aynı anda sıkıştırılmıştır. Hava ölçerin alt vanası kapatılmıştır. Üst vidalı kapak açılarak ölçülü kadranın sıfır (0) seviyesine kadar su doldurulmuştur. Su bu seviyeyi geçerse alt vana açılarak tahliye edilmiştir (Şekil 3.2). Stop vanaları kapatılarak hava pompası ile P bar hava basılmıştır (ibre sabit kalıncaya kadar) ve h_1 göstergeden okunmuştur. Hava boşaltılıp ve h_2 değeri okunmuştur. Hava miktarı $A_1 = h_1 - h_2$ şeklinde hesaplanmıştır.



1. Pompa
2. B vanası
3. A vanası
4. Kalibrasyon işlemi için uzatılmış boru
5. Ana hava vanası
6. Basınçölçer
7. Hava tahliye vanası
8. Hava hücresi
9. Kelepçeleme parçası
10. Kap



Şekil 3.2. Hava ölçer aletine ait şematik görünümü (Filiz, 2009) ve kullanılan hava ölçer deney aleti

3.2.4. Doldurma yeteneğinin ölçülmesi

a) Çökmede yayılma deneyi

Çökmede yayılma deneyi taze KYB'nin deformasyon hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini kapsamaktadır. Çökme (slump) deneyi 1910 yıllarında Amerika'da geliştirilmiştir. Bu deney ASTM C143, TS EN 12350- 2 (2002) ve birçok ülkede standart olarak kabul edilmiştir (Özel, 2007).

Deney Abrams konisiyle ve yüzeyi düzgün bir levha üzerinde gerçekleştirilmektedir. Levha ve koni deney öncesinde nemlendirilmiştir. Akışkanlığı yüksek olan beton çökmeden sonra yayılmaya başlamıştır. Yayılmaya başladıktan sonra öncelikle levha üzerine önceden çizilmiş olan 500 mm çapındaki çizgiye ulaşıncaya kadar geçen süre alınmıştır. Betonun yayılması durduktan sonra da birbirine dik olarak yayılma çapları ölçülmüştür. EFNARC'a göre yayılma değeri 650-800 mm arasında olmalıdır (EFNARC, 2002). Ölçülen yayılma çaplarının aritmetik ortalaması alınarak deney sonucu elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Yayılma deneyi

b) V-Kutusu deneyi

KYB'nin birim zamandaki yayılması değerlendirilir. Taze KYB'nin kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içermektedir. Huniye taze KYB, hiçbir sıkıştırma ve vibrasyon uygulamadan doldurulduktan sonra, huninin altındaki sürgülü kapak açılmış ve huni içindeki tüm betonun alttaki kovayı doldurma süresi kaydedilmiştir. KYB'nun akma değerlendirme değerini test etmek için ise, slump deneyinde kullanılan Abrams hunisinin içine taze KYB doldurulmuştur. Huninin etrafında 50 cm çapında daire çizilmiştir. Huni kaldırılıp ve betonun 50 cm çapındaki daireye ulaşma süresi kaydedilmiştir (EFNARC 2005). Betonun akış hızı ne kadar yüksek olursa, betonun ayrışma riski o kadar yüksek olur (Duyar, 2006).

Bu deney taze KYB'nin kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içerir. Deney, KYB'nin viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir vermektedir.

Huniye KYB doldurulduktan sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılarak akış başlatılır, üstten bakıldığında alttan ışık geçmeye başladığı ana kadar geçen süre ölçülür buna huni boşalma süresi denir (bu süre 6–12 sn arasında olmalıdır).



Şekil 3.4. V huni deney aparatı

c) L kutusu Deneyi

Kutunun alt ortasında sürgülü bir kapak ve aynı zamanda engel oluşturan demir çubuklar bulunmaktadır. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme 20 cm ve 40 cm ilerleme süreleri ölçülüp iki taraftaki yükseklik farkı belirlenir (Gürdal, 2004). Bu deney, taze KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncin L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesini kapsamaktadır. Şekil 3.5'de L kutusu deneyi gösterilmiştir. L kutusu kare kesitli kutu şeklinde bir bölüm ile bunun önünde yer alan bir yatay platformdan oluşmaktadır.



Şekil 3.5. L kutu deneyi

3.2.5. Sertleşmiş beton deneyleri

Üretilen betonlardan basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü tayini ve yüksek sıcaklık deneyleri için TS EN 12390-1 (2002)'e uygun numuneler alınmıştır.

3.2.5.1. Mekanik özellikler için yapılan deneyler

a) Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı tayini TS EN 12390-4 (2002)'e uygun olan manuel ve bilgisayarlı olarak kontrol edilebilen dijital göstergeli, 200 ton (2000 kN) kapasiteli tam otomatik beton basınç presine ile TS EN 12390-3 (2003)'e göre uygun olarak yapılmıştır.

28. günde kür havuzundan çıkarılıp bir gün bekletilen 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler ile basınç deneyi yapılmıştır. Yükleme hızı sabit olan basınç presinde deneye tabi tutulan numunelerin kırılma yükleri (P) tespit edildikten sonra kesit alanına (A) bölünerek basınç dayanımları denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Basınç mukavemeti} = \sigma_b (\text{MPa}) = P / A \quad (3.1)$$

b) Elastisite modülü deneyi

Ağır agregalı KYB'ların gerilme-şekil değiştirme özellikleri basınç altında 28 günlük 10x20 mm silindir numuneler üzerinde belirlenmiştir. Silindir numunelerde boyuna kısaltmalar ölçülüp, ilk boylarına oranlanmasıyla şekil değiştirmeler belirlenmiştir. Bu şekil değiştirmeler, gerilmelerle ilişkilendirilerek grafik ortamına aktarılmasıyla belirlenmiştir. Silindir numuneler deney gününden bir gün önce kür havuzundan çıkartılarak yüzeyindeki nemi bırakması sağlanmıştır.

Silindir numunelere basınç deneyi uygulanmadan önce numunelerin düşey yer değiştirmelerini ölçmek amacıyla her bir silindir numuneye çerçeve takılmıştır. Çerçeve üzerinde bulunan kompratör yardımıyla her 25 kN'luk yüke karşılık gelen eksenel şekil değiştirme değeri okunmuştur. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinde, yükün 1/3'üne kadar olan eğrinin eğiminden elastisite modülü hesaplanmıştır.

Ayrıca döküm yüzeyinin düzgün hale getirilmesi için tüm silindirlere çimento harcıyla başlık yapılmıştır. Bu şekilde silindir numuneler eksensel olarak yüklenmiştir.



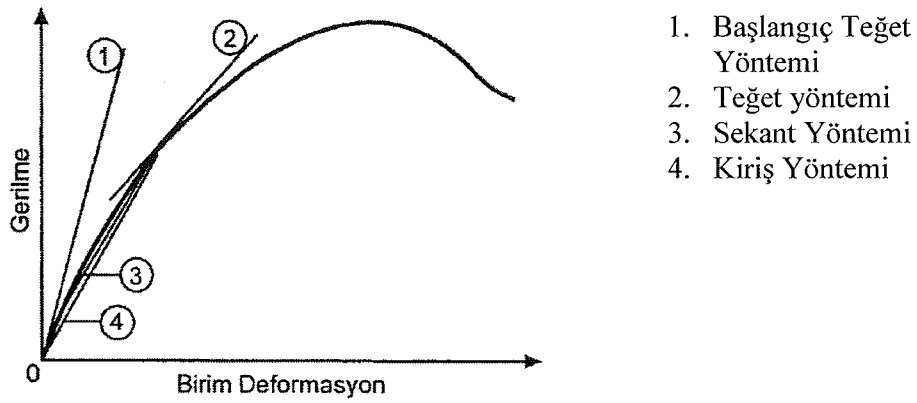
Şekil 3.6. Numunelerin başlıklanması

Silindirlerin boyuna kısılma değerlerinin ölçülmesinde 200 tonluk tam otomatik ve tek eksenli basınç presi ile bu makineye bağlı ve 0.002 ölçüm hassasiyetine sahip olan potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Potansiyometrik cetvelin silindir numune üzerine sabitlenmesinde silindir numuneler için tasarlanmış çerçeve kullanılmıştır. Üzerine çerçeve takılan silindirler basınç presine yerleştirildikten sonra makine tarafından otomatik olarak ayarlanan yükleme hızı ile numune üzerine yük uygulanmıştır.

Cihazdaki özel bir yazılım sayesinde numunelere uygulanan gerilmelere karşılık gelen kısılmalar ölçülmüştür. Silindir numuneler üzerinden elde edilen kısılmalar ilk boya oranlanarak KYB'lara ait birim şekil değiştirme oranları belirlenmiştir.

Betonun elastiklik modülünü bir eğriden hesaplamak mümkün değildir. Ancak, betonun elastiklik modülünü elde edebilmek için, betondaki " σ - ϵ " ilişkisi sanki bir doğrusal bir ilişkiymiş gibi kabul edilmekte ve gerçek olan eğriyi temsil ettiği varsayılan böyle bir doğru çizginin eğimi hesaplanabilmektedir.

Bu amaçla dört şekilde; Başlangıç Teget Yöntem, Teget yöntemi, Sekant Yöntemi ve Kiriş Yöntemi (Şekil 3.7) yapılmaktadır.



Şekil 3.7. Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Erdoğan, 2003)

Silindir numunelere uygulanan gerilmeler ve bu gerilmelere karşılık gelen şeklin değişimleri belirlendikten sonra, yatay eksen de şekil değiştirme oranı ve düşey eksen de uygulanan gerilmeler olacak şekilde her seri için gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. Genel olarak betonların gerilme-şekil değiştirme eğrilerinde belirli bir bölüm doğrusal olup, bu doğrunun eğimi ile betonun elastisite modülü belirlenebilmektedir (Şekil 3.7). Bu doğrusal bölümün başlangıcı gerilme şekil değiştirme eğrisinin başlangıç noktası olup, bitiş noktası da genel olarak en yüksek gerilmenin (σ_{maks}) % 40'ına karşılık gelen gerilme değeridir (Erdoğan, 2003).

Yapılan deneysel çalışmalarda basınç dayanımından elde edilen en büyük basınç dayanımının % 40'ına karşılık gelen yüke kadar yükleme yapılmış ve gerilme-şekil değiştirme grafiği elde edilmiştir. Bu grafikten Sekant yöntemi kullanılarak elastisite modülü değerleri belirlenmiştir.

c) Eğilme deneyi

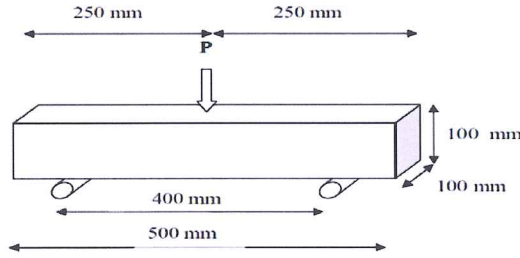
Eğilme dayanımı tayini TS EN 12390-4 (2002)'e uygun olan manuel olarak kontrol edilebilen 1 ton (10 kN) kapasiteli cihaz ile eğilme dayanımı tayini TS EN 12390-5 (2002)'e göre uygun olarak yapılmıştır.

28. günde kür havuzundan çıkarılan numuneler üzerinde 3 noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır (Şekil 3.8). Deney yapılırken kaymayı engellemek için mesnetler ile numune arasına plastik levhalar konulmuştur. Numunelerin kırılma yükleri cihazdan okunup denklem 3.2 bağıntısı kullanılarak eğilme dayanımları hesaplanmıştır.

$$\sigma_e (\text{MPa}) = 3(P.l) / 2(d_1.d_2^2) \quad (3.2)$$

σ_e : Eğilme dayanımı (N/mm^2)
 l : Mesnetler arası uzaklık (mm)
 d_2 : Numune kesitinin yüksekliği (mm)

P : kırılma yükü (N)
 d_1 : numune kesitinin genişliği (mm)



Şekil 3.8. Eğilme dayanımı deney düzeneği

3.2.5.2. Tahribatsız sertleşmiş beton deneyleri

a) Ultrases geçiş hızı

Numuneler üzerinde uygulanan ultrases hız ölçümünde önce numunelerin boyları ölçülmüş sonra numunenin karşılıklı iki yüzüne gres yağı sürülüp numune ses verici ve ses alıcı probların arasına yerleştirilerek sesin numune boyunca ultrases geçiş süresi (t) mikrosaniye (μsn) cinsinde ölçülmüştür. Daha sonra bulunan bu değer numunenin proplar arası mesafeye (L) bölünerek ultrases geçiş hızı km/sn cinsinden hesaplanmıştır (denklem 3.3). Şekil 3.9'da ultrases geçiş hızı deneyi uygulaması gösterilmiştir.

$$V(\text{km/sn}) = L / t \quad (3.3)$$



Şekil 3.9. Ultrases geçiş hızı deneyi

b) Schmidt yüzey sertliği

Schmidt yüzey sertliğinin belirlenmesinde N tipi beton test çekici (Schmidt) kullanılmış olup, deney TS 3260 (1978)'a göre yapılmıştır. Schmidt yüzey sertliği belirlenirken numunenin oynamaması ve geri sekmemesi için Özel (2007)'in önerileri doğrultusunda beton basınç presi altında 3~5 t'luk yükleme altında yapılmış olup, deneyler 90°'lik açıyla ve beş farklı noktadan alınmıştır. Beş değerın ortalaması bir numune için değer olarak kaydedilmiştir. Schmidt ölçümleri 15x15x15 cm boyutundaki basınç numuneleri üzerinde yapılmıştır.

3.2.5.3. Yüksek sıcaklık deneyi

28 günlük kür surelerini dolduran oluşan 12 numunelik ilk seri havuzdan çıkarılıp kurulanmasının ardından oda sıcaklığında 2-3 saat bekletilmesiyle yine oda sıcaklığında (20 °C) diğer deneylere tabi tutulmuşlardır. 100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C'de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılacak diğer 12 numunelik üç seri öncelikle etüvde 100 °C'de 24 saat bekletildikten sonra yüksek sıcaklık deneylerine tabi tutulmuşlardır. Numunelerin 100 °C'de kurutulmasının sebebi yüksek sıcaklık etkisi altında sertleşmiş betondaki boşluklarda bulunan suyun meydana getirdiği buhar basıncının numunenin patlatmasını önlemektir. Etüvde kuru duruma getirilen beton numuneleri yüksek sıcaklık aşamasında TS EN 1363-1 (2004)'e göre ısınma hızı 10 °C/dak.'lık fırına alınarak etki edecek sıcaklığa 3 saat maruz kalmışlar, ardından havada ve suda soğumaya bırakılmışlardır. Şekil 3.10'da yüksek sıcaklık fırını ve malzeme örneği verilmiştir.



Şekil 3.10. Yüksek sıcaklık fırınındaki malzemeler ve fırını

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Agregaların Kimyasal Özellikleri

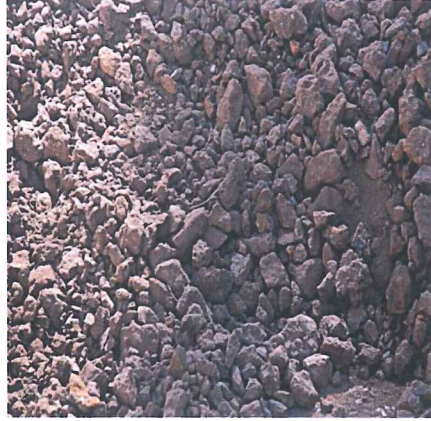
Beton karışımında kullanılan hematit ve kalkerin (kırmataş) kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Agregaların kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	Kalker	Hematit
CaO	47.89	4.80
SiO ₂	1.97	4.20
Al ₂ O ₃	0.86	0.57
Fe ₂ O ₃	-	81.13
MnO	-	0.14
MgO	1.78	1.55
AlO	0.86	-
TiO ₂	-	0.003
FeO	0.84	
A.Z	45.86	

4.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Kırmataş agregası ocaktan istenen boyutlarda (0-4, 0-8, 0-16 mm) sınıflandırılmış şekilde temin edilmiştir. Hematit agregası ise tüvenan halde temin edilmiştir. Tüvenan agregası (Şekil 4.1) öncelikli olarak çeneli kırıcıda öğütülmüş ve Şekil 4.2’de gösterilen cihaz ile kırmataş agregasıyla aynı sınıflara ayrılmıştır.



Şekil 4.1. Hematit tüvenan agregası



Şekil 4.2. Agregayı tane sınıflarına ayırmak için kullanılan cihaz

Agregaların fiziksel özelliklerini belirleyebilmek için Bölüm 3.2.1’de belirtildiği gibi tane yoğunlukları ve su emme oranları (Çizelge 4.2) ile sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlıkları (Çizelge 4.3) deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 4.2. Agregaların tane yoğunlukları ve su emme oranları

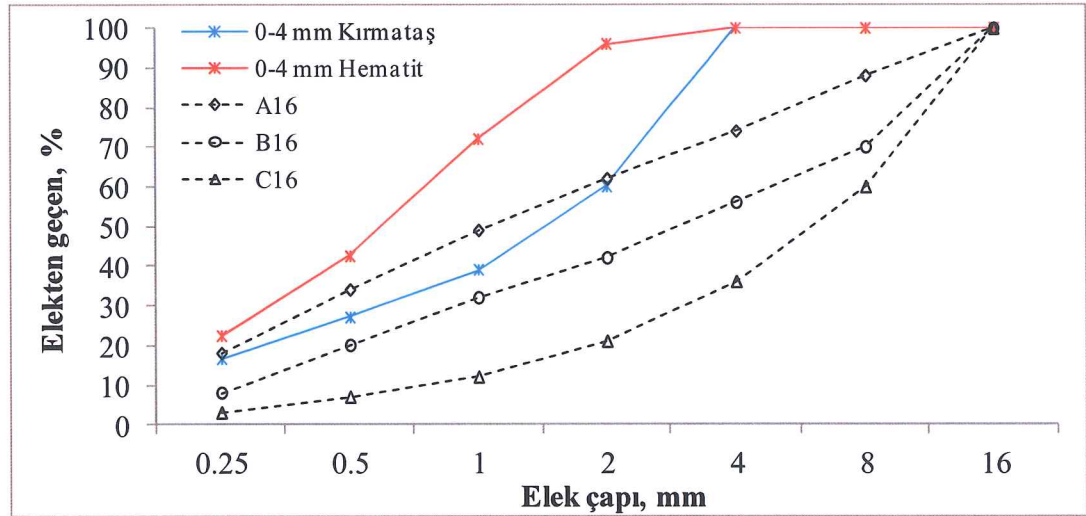
	Tane yoğunluğu (Doygun Kuru Yüzey), kg/dm ³	Tane yoğunluğu (Etüv Kuru), kg/dm ³	Su emme oranı (%) Kütle oranı
Kırmataş (0-4)	2.58	2.45	5.2
Kırmataş (0-8)	2.53	2.32	4.6
Kırmataş (0-16)	2.38	2.38	4.4
Hematit (0-4)	4.10	3.67	10.4
Hematit (0-8)	3.95	3.48	8.6
Hematit (0-16)	3.76	3.12	7.90

Çizelge 4.3. Gevşek ve sıkışık birim hacimleri (kg/dm^3)

Agrega tipi ve boyutu Özellik	Kalker (Kırmataş)			Hematit		
	0-4 mm	0-8 mm	0-16 mm	0-4 mm	0-8 mm	0-16 mm
Gevşek	1.534	1.450	1.242	1.779	1.699	1.631
Sıkışık	1.653	1.590	1.401	1.998	1.844	1.802

4.3. Agregaların Granülometrik Özellikleri

Temin edilen agreların tane boyut dağılımı (granülometrilere) analizleri Bölüm 3.1.1’de belirtildiği gibi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ince agregalar için Şekil 4.3, iri agregalar için Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.3. İnce agreganın granülometresi

Çizelge 4.5. CEM I 42.5R'nin özellikleri

Kimyasal Analiz (% kütlece) CEM I 42.5R												
SiO	AlO	FeO	CaO	MgO	SO ₃	K.K	Ç.K	Cl	S.CaO	A.Z		
17.52	4.06	3.45	56.56	1.66	2.44	2.99	0.24	0.001	1.35	3.41		
Karma Oksit Bileşenleri (bogue)(% Kütle)												
C ₃ S			C ₂ S			C ₃ A			C ₄ AF			
54.57			8.26			4.92			10.49			
Fiziksel ve Mekaniksel Özellikler												
İncelik		Priz Süreleri		Tane Yoğ. (g/cm ³)	Blanine (m ² /kg)	Le Chatelier (mm)	Mukavemet Değerleri (N/mm ²)					
200µ	90µ	Baş.	Bitiş				2 gün		7 gün		28 gün	
							Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
2.5	0.1	2s/55dk	3s/45dk	3.12	311	1.0	4.4	28.2	6.1	43.2	7.1	53.1

Çizelge 4.5. Alüminatlı çimento özellikleri

Kimyasal Analiz (% kütlece) Alüminatlı Çimento									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Cr ⁶	Na ₂ Ep	Cl ⁻	K.K	S	
3.50	40.30	16.60	36.10	0.60	0.14	0.0010	0.30	0.0	
Fiziksel ve Mekaniksel Özellikler									
İncelik		Priz Süreleri		Tane Yoğuluğu (gr/cm ³)	Blaine (m ² /kg)	Mukavemet Değerleri (N/mm ²)			
0.045 mm	0.09 mm	Başlangıç	Bitiş			Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
						6 saat	6 saat	24 saat	24 saat
22.5	5	175dk	225dk	3.26	2.88	5	37	9	72

4.6. Kimyasal Katkı

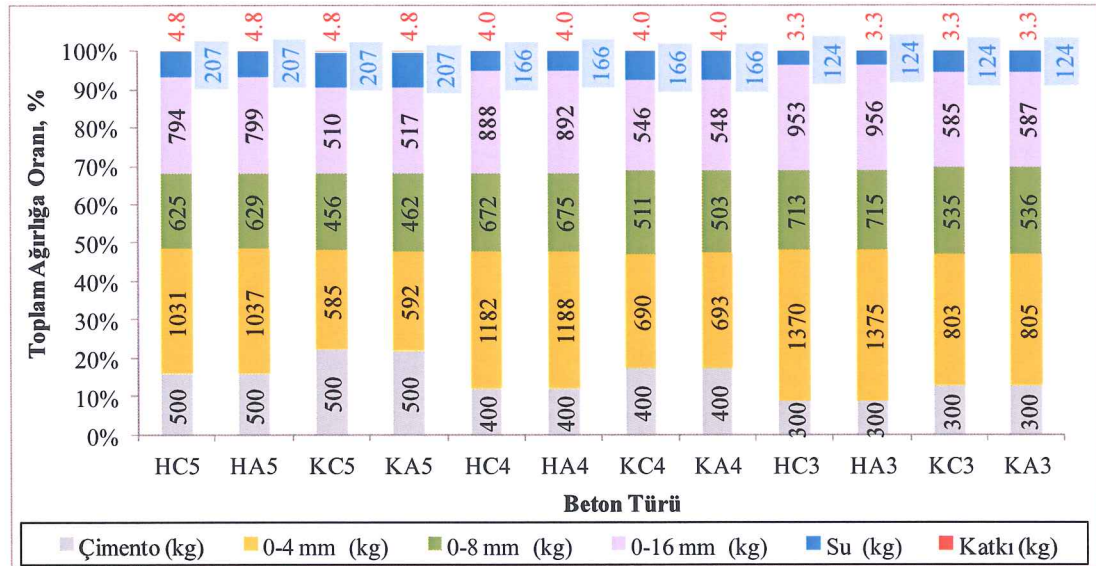
Beton üretimlerinde polikarboksilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltan, erken ve nihai yüksek dayanım ve dayanıklılığa gereksinim duyulan hazır beton ve prekast endüstrisi için geliştirilmiş, yeni nesil süperakışkanlaştırıcı beton katkı malzeme kullanılmıştır. Kullanılan katkıların özellikleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kimyasal katkı özellikleri

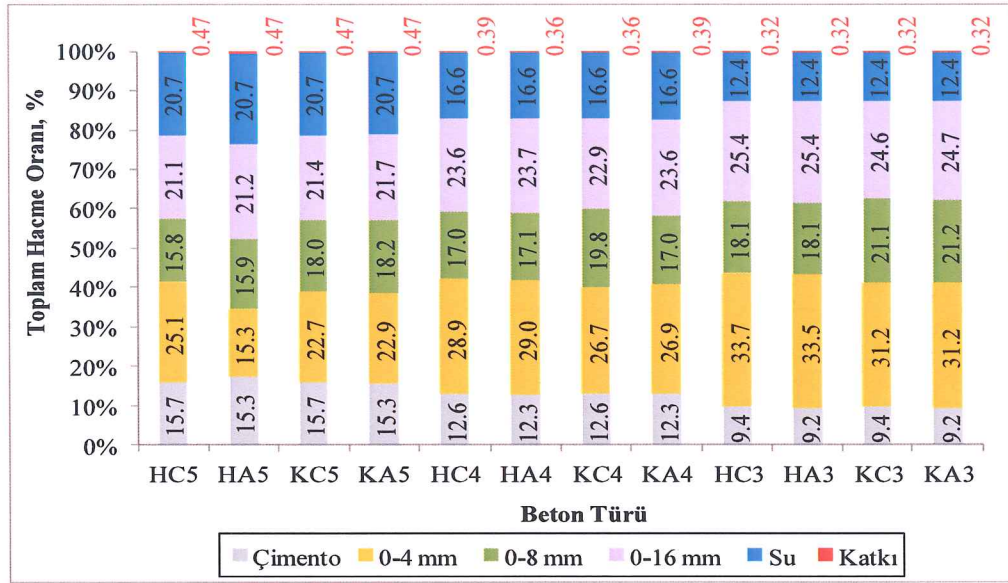
Kimyasal Katkı	Yoğunluk	Alkali içeriği, % (EN 480 -12)	Klorür, % (EN 480 -10)
Süperakışkanlaştırıcı Polikarboksilat eter esaslı	1.082-1.142 kg/litre	<0.1	<3

4.7. Beton Karışım Hesabı

Üretilen betonlarda s/ç ve kimyasal katkı oranı ön deneylerle belirlenmiştir. Ön deneylerde kalker esaslı olan kırmataşlı serilerde yayılma (65-80 cm'yi sağlayan), hematitli serilerde ise yayılmanın yanısıra segregasyon ve kuma kriterleri ön deneylerde dikkate alınarak bu değerler belirlenmiştir. Üretilen betonların karışım dizaynı ağırlıkça miktarlar ve oranları Şekil 4.7'de, hacimsel olarak ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Beton karışımlarında kullanılan malzemenin miktarları ve ağırlıkça oranları



Şekil 4.8. Beton karışımlarında kullanılan malzemenin hacim oranları

Yapılan her üretim sırasında öncelikle mikserde iri agrega ve ince malzeme konulup 2 dk karıştırılmıştır, suyun üçte biri konulup agregalar nemli hale getirilmiş ve 2 dk daha karıştırılmıştır, suyun üçte ikisi katkıyla birlikte konulup 2 dk daha karıştırılmıştır. Son olarak kalan su konulup 3 dk daha karıştırma işlemi tüm karışımlar için standart olarak yapılmıştır.

4.8. Taze Beton Deney Sonuçları

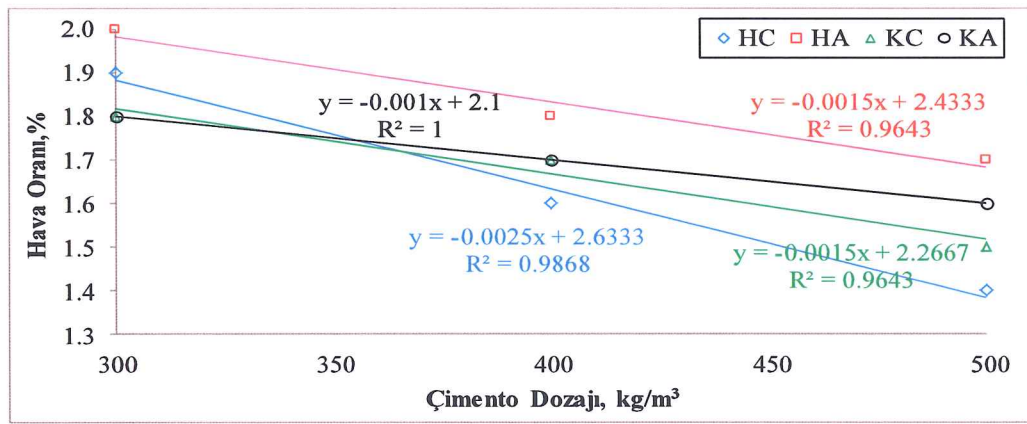
Kendiliğinden yerleşen beton üretimde taze beton özellikleri sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Taze beton deneylerinde deney sonuçlarını değerlendirirken kendiliğinden yerleşen betonun doldurma yeteneği, geçebilme yeteneği ve ayrışmaya karşı direncine göre sınıflandırılıp incelenmiştir.

4.8.1. Hava ölçer deney sonuçları

Taze beton da hava yüzdesi ölçme deneyi Bölüm 3.2.2’de belirtildiği gibi yapılmıştır.

Üretilen taze betonlardaki hava yüzdelерinin agrega tipi, çimento dozajı ve tipine göre değişimi Şekil 4.9’da verilmiştir. Üretilen betonlardan % 1.2-2.0 arasında değişen hava oranı elde edilmiştir.

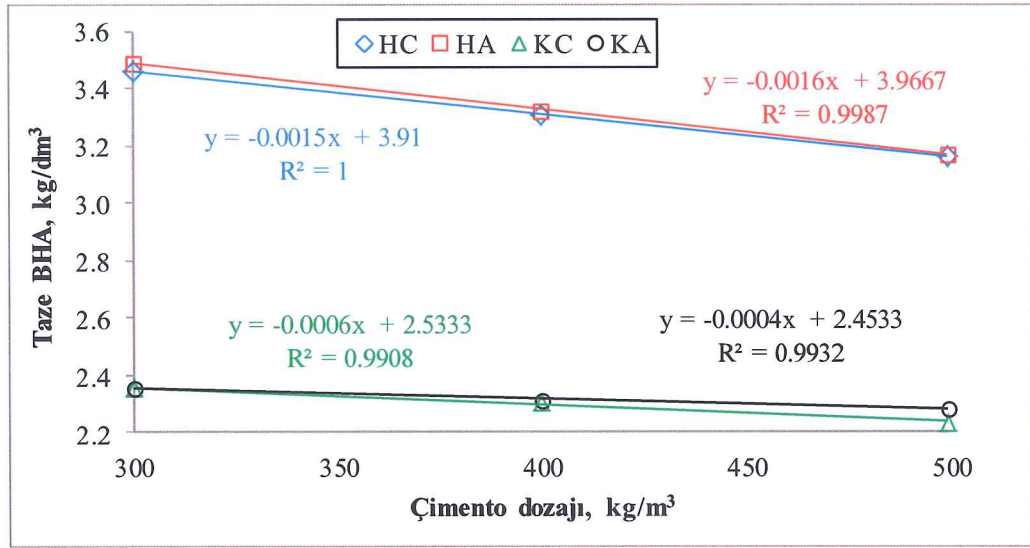
Tüm serilerde çimento dozajının azalmasıyla hava yüzdelерinde azalma elde edilmişken en çok azalma CEM I-hematitli serilerde “HC”, en az azalma oranı ise Kırmataş-Alüminatlı “KA” seriden elde edilmiştir.



Şekil 4.9. Taze betonda hava miktarının agrega tipi, çimento tip ve dozajına göre değişimi

4.8.2. Birim hacim ağırlık deney sonuçları

Üretilen betonların agrega tipi, çimento dozajı ve tipine göre Taze BHA değerlerinin değişimi Şekil 4.10’da verilmiştir. Hematitli beton serileri için Taze BHA değerleri 3.16-3.47 gr/cm³ arasında değişirken, kırmataşlı serilerde bu özellik 2.23-2.35 gr/m³ arasında değişmektedir.



Şekil 4.10 Çimento dozaj miktarı ile agrega tipine göre taze BHA değişimi

Şekil 4.10'dan görüleceği gibi tüm serilerde çimento dozajının artmasıyla betonların Taze BHA değerlerinde azalma elde edilmiştir. Çimento tipinin etkisiyle, kırmataşlı serilerin düşük çimento dozajında taze BHA değerleri benzer iken artan çimento dozajında Taze BHA değerinde farklılıklar elde edilmiştir. Hematitli serilerde ise kalkerli serilerin aksine düşük çimento dozajlarında taze BHA değerlerinde farklılıklar, artan çimento dozajında ise benzerlikler elde edilmiştir.

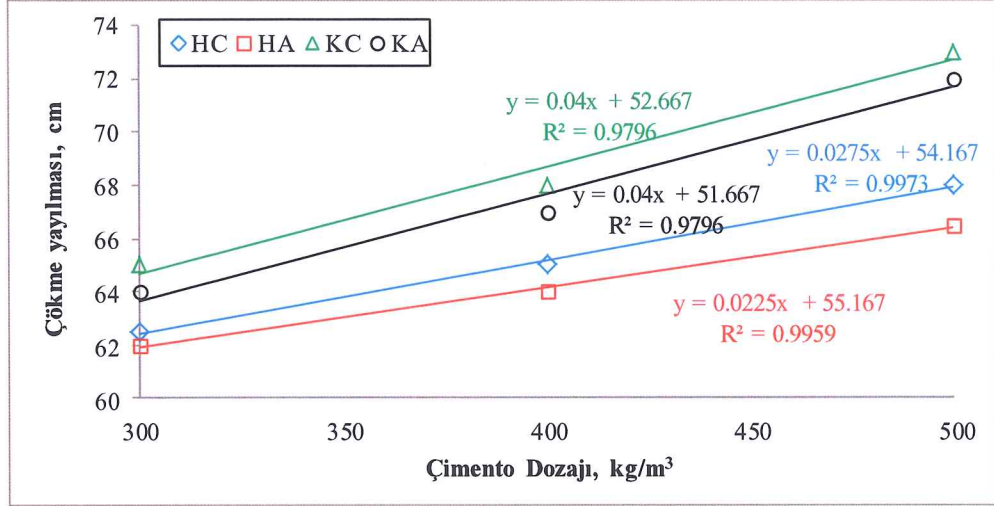
4.8.3. KYB' nin doldurma yeteneği

Farklı dozajlarla birlikte hematit ve kırmataşla birlikte üretilen KYB'lerin doldurma yetenekleri, çökmede yayılma değeri ve V-kutusu akış süreleriyle belirlenmeye çalışılmıştır.

a) Çökme yayılması

KYB doldurma yeteneğinin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem çökmede yayılma değeridir. Üretilen betonların doldurma yetenekleri Bölüm 3.2.3'de belirtildiği gibi çökme yayılma deneyine göre belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 4.11 ve 4.12'de gösterilmiştir.

Çökme yayılma değeri en yüksek yayılma (73 cm) 500 kg/m³ dozlu kırmataş-CEM I'li seride “KC”, en düşük ise (62 cm) 300 kg/m³ dozlu hematit-alüminatlı seriden “HA” elde edilmiştir.



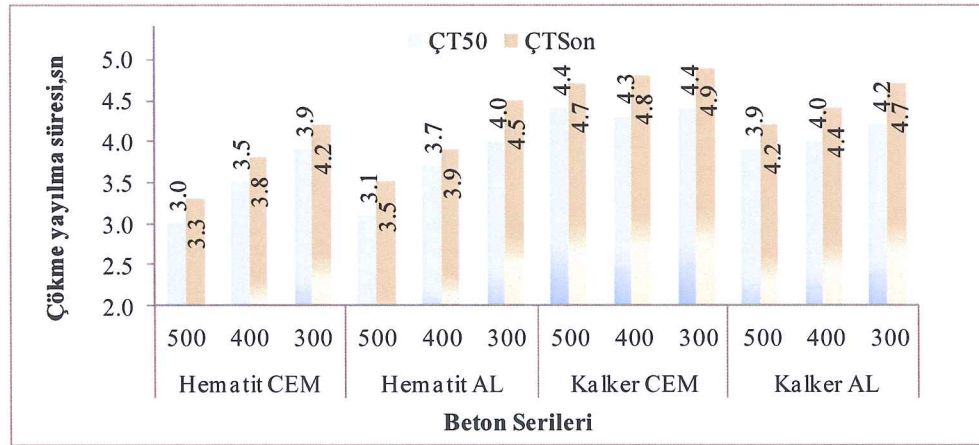
Şekil 4.11. Agrega ve çimento türüne göre çökme yayılması-çimento dozajı ilişkileri

Şekil 4.11’den görüleceği gibi çimento dozajının artışıyla birlikte tüm serilerin yayılma çapı değerlerinde artış elde edilmiştir. Bununla birlikte hematitli betonların Taze BHA değerleri daha yüksek olmasına karşılık kırmataşlı (kalkerli) karışımlardan daha fazla yayılma değeri (% 3.1-7.6) elde edilmiştir. 500 dozlu betonların yayılma değerlerine göre 400 dozlu betonlarda % 3.9-7.5, 300 dozlu betonlarda ise % 7.3-12.5 oranlarında daha az yayılma çapı değeri elde edilmiştir. Alüminatlı çimentoların çökme yayılma değerleri CEM I 42.5 R’li betonlara göre daha düşük olmasına rağmen bu etki oldukça azdır (CEM I 42.5 R’li serilere göre alüminatlı betonlar % 0.8-2.3 arasında daha azdır).

Yine üretilen taze betonlar üzerinden yayılma çapı ölçümlerinin yanısıra betonların 50 cm çapa yayılma süreleri (ÇT₅₀) ve yayılmanın tamamlandığı son çapa kadar geçen süre (ÇTSon) ölçümleride alınmıştır. Tüm serilerde yüksek çimento dozajında yayılma ve ÇT₅₀ süreleri daha kısa elde edilmişken çimento dozajının azalmasıyla bu değerlerin arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.12).

En yüksek yayılım süreleri kırmataş-500 dozlu CEM I'li betondan “KC5” (Ç_{50} 4.4sn, ÇT_{Son} 4.9 sn), en düşük yayılma süresi ise hematit-500 dozlu alüminatlı “HA5” betondan elde edilmiştir (Ç_{50} -3 sn, ÇT_{Son} -3.3sn) dir. Hematitli seriler çimento tipinden bağımsız olarak kırmataşlı serilere göre yayılmalarını daha kısa sürede tamamlamışlardır (ÇT_{50} için % 4.8-31.8, ÇT_{Son} için % 4.3-29.8).

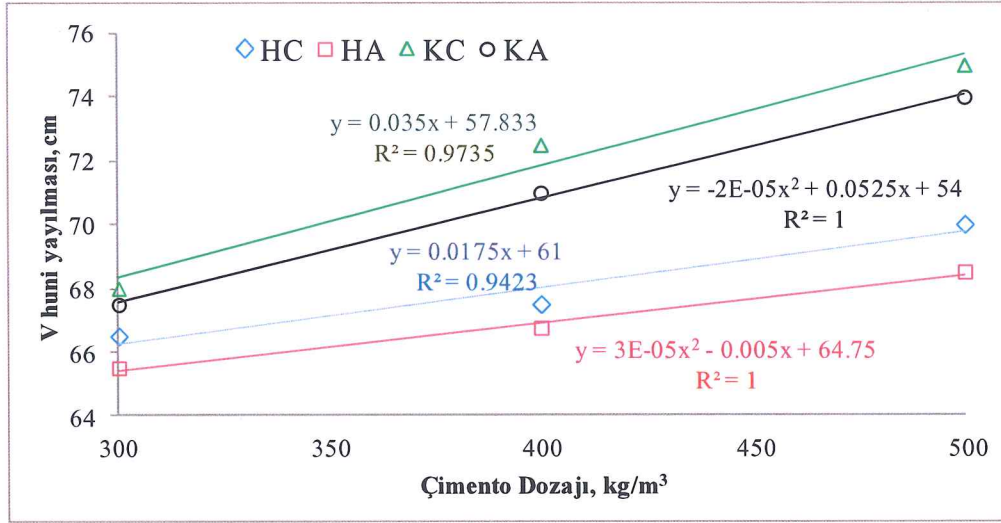
Alüminatlı çimentonun etkisi incelendiğinde hematitli serilerde yayılma süreleri alüminatlı serilerde daha fazla iken (ÇT_{50} için % 2.5-5.4, ÇT_{Son} için % 2.6-6.7) kırmataşlı serilerde (ÇT_{50} için % 4.8-12.8, ÇT_{Son} için % 4.3-11.9) daha azdır.



Şekil 4.12. Çökme yayılım süreleri ve beton serileri

b) V huni yayılması

KYB'nun birim zamandaki yayılmasını değerlendirebilmek için V huni deneyi uygulanmaktadır. Üretilen betonların doldurma yetenekleri Bölüm 3.2.3'de belirtildiği gibi V huni yayılma deneyine göre belirtilmiştir. Deney sonuçları Şekil 4.13'de çimento dozajına göre verilmiştir. V huni yayılma sonucuna göre en yüksek yayılma (75 cm) 500 kg/m³ dozlu kırmataş-CEM I'li “KC”, en düşük ise (65.5 cm) 300 kg/m³ dozlu hematit-alüminatlı serilerden “HA” elde edilmiştir.



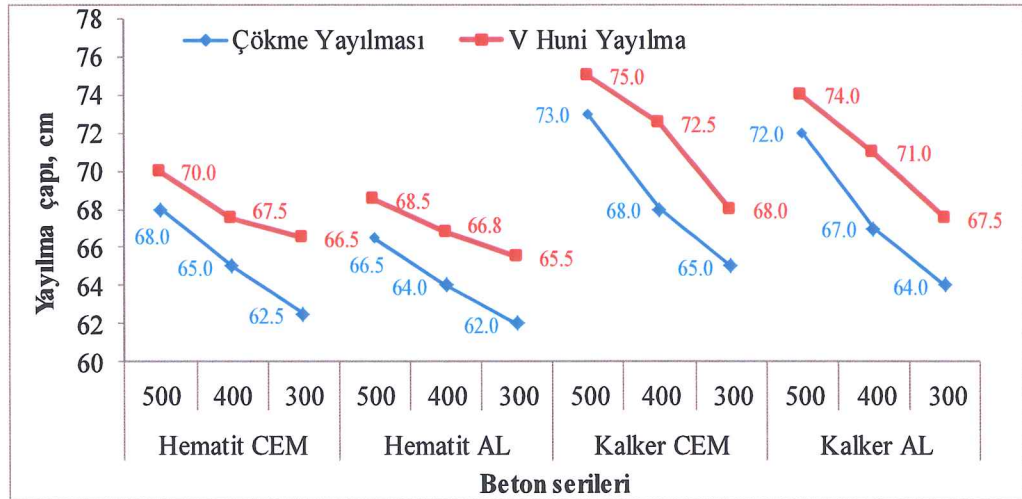
Şekil 4.13. Agrega ve çimento türüne göre V hunisi yayılması-çimento dozajı ilişkileri

Şekil 4.13'den görüleceği gibi çimento dozajının artışına bağlı olarak tüm serilerin V huni yayılma değerlerinde artış elde edilmiştir. Çökme yayılmasındaki gibi V huni yayılması kırmataşlı (kalkerli) karışımların yayılmasından (% 3.0-7.4 oranında) daha fazladır. 500 dozlu betonların yayılma değerlerine göre 400 dozlu betonlarda % 2.6-4.2, 300 dozlu betonlarda ise % 4.6-9.6 oranlarında daha az yayılma çapı değeri elde edilmiştir. Alüminatlı çimentoların çökme yayılma değerleri CEM I 425 R'li betonlara göre daha düşük olmasına rağmen bu etki oldukça azdır (CEM I 425 R'li serilere göre alüminatlı betonlar % 0.7-2.2 arasında daha azdır).

Üretilen taze betonlar üzerinden yayılma çapı ölçümlerinin yanısıra betonların 50 cm çapa yayılma süreleri (VT_{50}) ve yayılmanın tamamlandığı son çapa kadar geçen süre (VT_{Son}) ölçümleride alınmıştır. Tüm serilerde yüksek çimento dozajında yayılma ve VT_{50} süreleri daha kısa elde edilmişken çimento dozajının azalmasıyla bu değerlerin arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.14). En yüksek yayılım süreleri kırmataş-500 dozlu CEM I'li betondan "KC5" (V_{50} 9.4sn, VT_{Son} 10.5 sn), en düşük yayılma süresi ise hematit-500 dozlu alüminatlı "HA5" betondan elde edilmiştir (V_{50} 3 sn, VT_{Son} 3.3 sn) dir. Hematitli seriler çimento tipinden bağımsız olarak kırmataşlı serilere göre yayılmalarını daha kısa sürede tamamlamışlardır (VT_{50} için % 6.3-12.4, VT_{Son} için % 1.1-21.7).

Alüminatlı çimentonun etkisi incelendiğinde hematitli serilerde yayılma süreleri alüminatlı serilerde daha fazla iken (VT_{50} için % 4.7-10.6, VT_{Son} için % 5.7-10.3) kırmataşlı serilerde (VT_{50} için 1.3-10.5, VT_{Son} için % 2.2-12.5) daha azdır.

Çökmede yayılma ve V hunideki yayılma sonuçları birbirine yakındır. Dozaj ve yayılma göre çökme ve V huni yayılımları çimento dozajı, agrega tipi ve çimento türüne göre karşılaştırılmıştır (Şekil 4.14). Her iki deneyden elde edilen yayılma çapı dozaj düşüğüyle birlikte azalmış, agrega tipine göre bakıldığında kalkerli serilerde her iki parametre de (yayılma çapları) hematitli serilere göre daha yüksektir ve CEMI 42.5R'li serilerde alüminatlı serilere göre yayılım daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



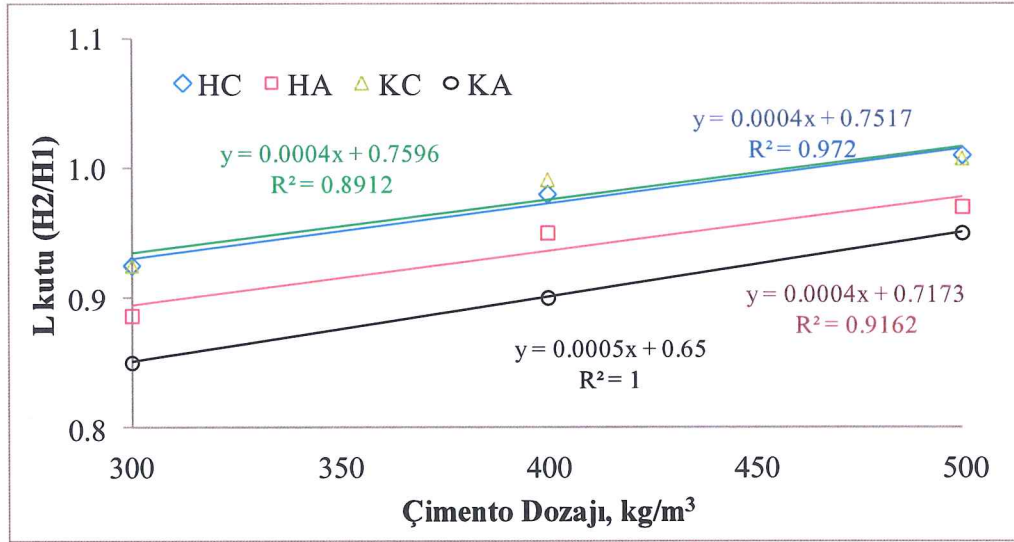
Şekil 4.14. Çökme yayılması ve V huni yayılması deneylerinin karşılaştırılması

4.8.4. Geçebilme yeteneği

L Kutu Deneyi

KYB'nun geçebilme yeteneği genel olarak sınırlandırılmış (donatılı) deney yöntemleriyle belirlenip L-kutusu deneyi Bölüm 3.2.3'de anlatılmıştır. Şekil 4.15'de çimento dozajına bağlı değişim gösterilmiştir. Her seri içinde çimento dozajına bağlı olarak 300 kg/dm^3 dozajdan 500 kg/dm^3 dozaja doğru yükseklik farkı artmıştır.

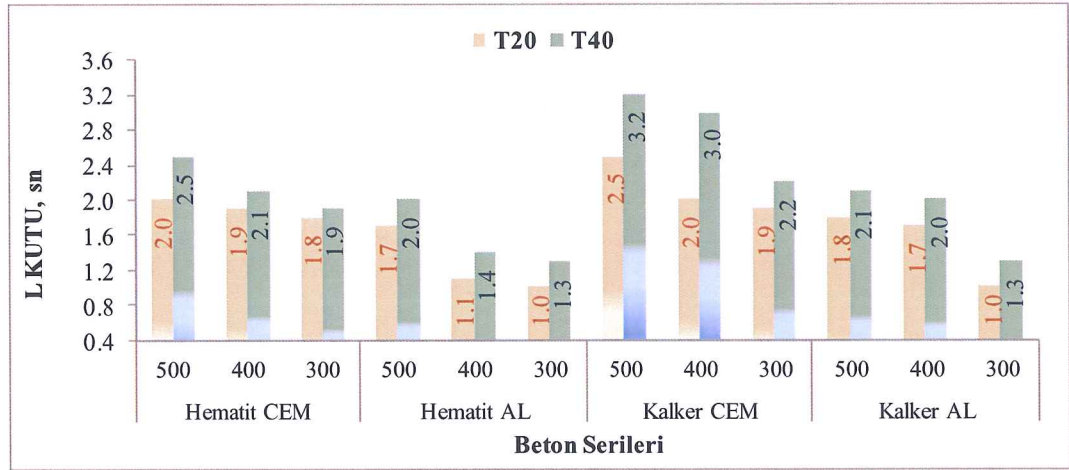
Bununla birlikte hematitli betonların kırmataşlı (kalkerli) karışımlara göre geçiş değeri (% 0.3-5.9) daha azdır. 500 dozlu betonların geçebilme yeteneğine göre 400 dozlu betonlarda % 2.2-5.9, 300 dozlu betonlarda ise % 10-12.5 oranlarında daha az geçebilme değeri elde edilmiştir. Kullanılan çimentoya bağlı olarak alüminatlı çimentonun hızlı priz almasından dolayı yayılım süresini etkilemiştir. Bundan dolayı CEM I 42.5 R değerleri daha yüksek çıkmıştır. HC5 (0.960) ve KC5 (0.957) serilerinde en fazla yükseklik farkı (H2/H1) gözlemlenmiş en düşük ise HA (0.836) ve KA (0.800) serilerinde gözlenmiş ve alüminatlıların % 3.3-10.7 oranında dah az değer elde edilmiştir.



Şekil 4.15. L kutu (H2/H1) oranının çimento dozajına göre değişimi

Taze betonlar üzerinden geçiş oranı ölçümlerinin yanısıra betonların T_{20} ve T_{40} ulaşma sürelerinin ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.16'da betonların T_{20} ve T_{40} mesafelerine ulaşma süreleri, beton serilerine göre gösterilmiştir. 500 dozlu serilerden 300 dozlu serilere doğru çimento dozajının azalmasıyla geçişte sürenin azaldığı görülmüştür. En hızlı yayılım süresi 500 dozlu CEM I'li betondan KC5 (T_{20} 2 sn ve T_{40} 2.5 sn) en düşük yayılma süresi ise hematit Kırmataş agregalı serilerin hematit ve kalkerli alüminatlı 300 dozlu HA3 ve KA3 betondan elde edilmiştir (T_{20} 1 sn ve T_{40} 1.3 sn).

Hematitli seriler çimento tipinden bağımsız olarak kırmataşlı serilere göre yayılımlarını daha kısa sürede tamamlamışlardır (T_{20} % 0-35.3 ve T_{40} süreleri % 0-30). Alüminatlı çimentonun etkisi incelendiğinde hematitli serilerde (T_{20} % 17.6-80 ve T_{40} % 25-50) yayılma süreleri kırmataşlı serilerden (T_{20} % 17.6-90 ve T_{40} % 50-69.2) azdır.

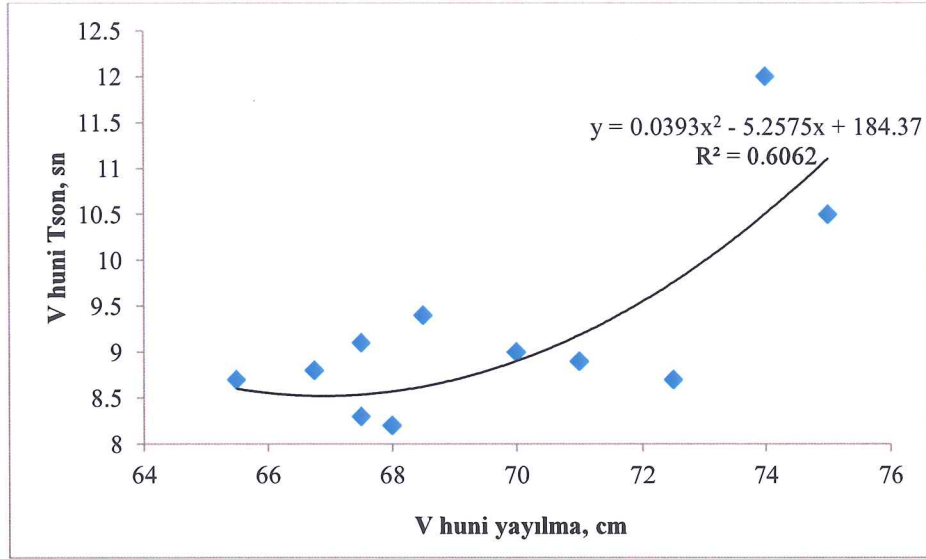


Şekil 4.16. L kutu ve beton serileri geçiş süresi

4.8.5. Ayırmaya karşı direnç

Normal betona göre oldukça akıcı kıvama sahip olan KYB'lerin doldurma ve geçebilme yeteneklerinin yanında üretimleri, taşınmaları ve kalıba yerleştirilmeleri ile bitirme işlemleri sırasında KYB harcının agregaya etrafını sararak kuşatması ve agreganın harçtan ayrılmaması istenir. Bununla birlikte kendiliğinden yerleşen harç, yayılırken de agregayı kolaylıkla taşıyabilmeli, yerleştikten sonra da özellikle iri agregaların kalıpta aşağı doğru hareket etmesini önlenmelidir. Tüm bu özelliklerin elde edilebilmesi için de KYB'nun uygun bir ayırma direncine sahip olması gereklidir.

V huni yayılma testinde T500 süresi ölçülmesi ile kendiliğinden yerleşen betonun ayırmaya karşı direnç belirlenebilmektedir. Şekil 4.17'de yayılma miktarına bağlı olarak yayılım süresi ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4.17. V huni, Tson ve V huni yayılma

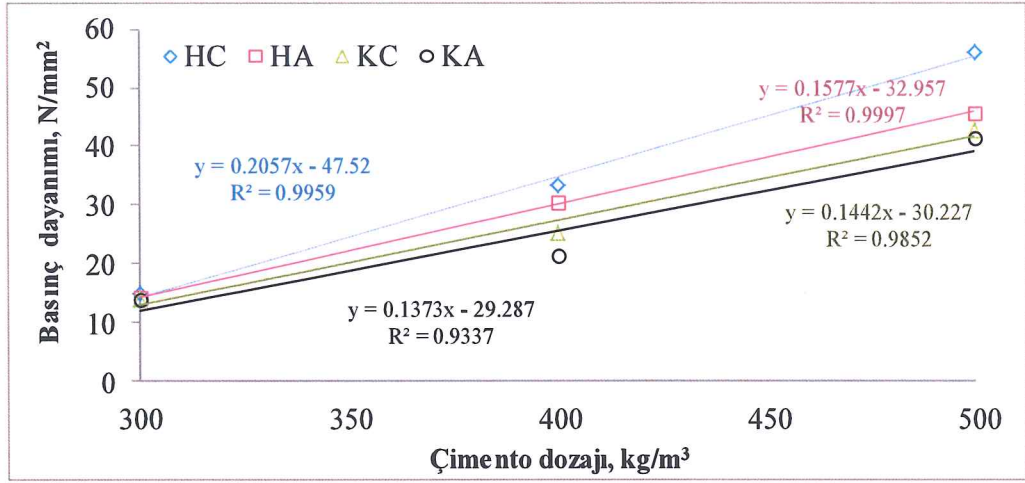
4.9. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Farklı karakteristik özelliklere sahip ağır agregalarla ve kırmataşla üretilmiş olan KYB'ların sertleşmiş beton özellikleri olarak mekanik özellikleri, fiziksel özellikleri ve dayanıklılık özellikleri farklı deney yöntemleriyle belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı agregalarla üretilmiş KYB'ların deney sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

4.9.1. Sertleşmiş beton deney mekaniksel özellikleri

a) Basınç dayanımı

Sertleşmiş betonun dayanımı (sınıfını) belirleyebilmek eksenel yükler altında basınç dayanımı deneyi bölüm 3.2.5.1'de anlatıldığı gibi uygulanmıştır. Şekil 4.18'de basınç dayanımının çimento dozajına bağlı olarak değişimi belirtilmiştir. Basınç dayanımı en yüksek (56.01 N/mm^2) 500 kg/m^3 dozlu hematit-CEM I'li serilerde, en düşük ise (14.00 N/mm^2) 300 kg/m^3 dozlu kırmataşlı-alüminatlı serilerde "KA" elde edilmiştir.

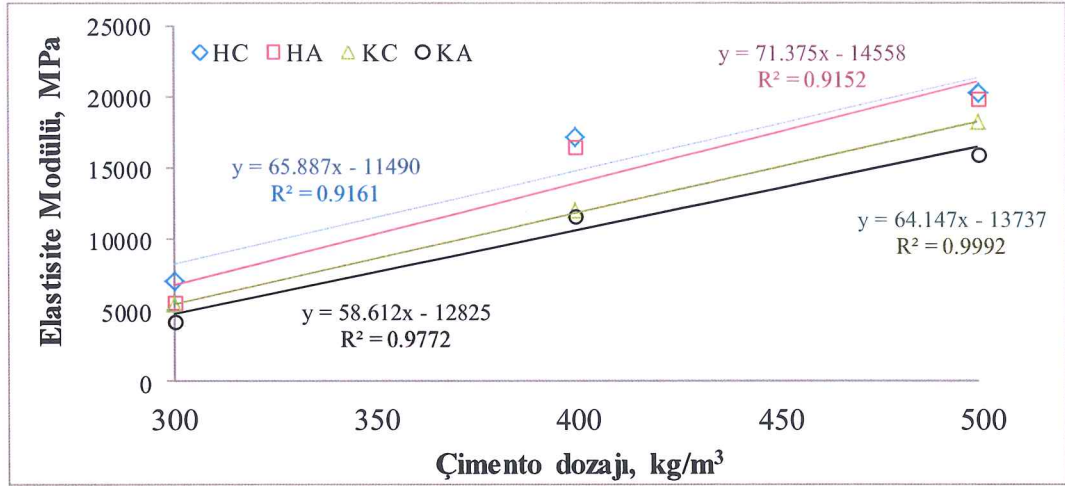


Şekil 4.18. Agrega ve çimento türüne göre basınç dayanımı-çimento dozajı ilişkileri

Şekil 4.18'den görüleceği gibi çimento dozajının artışına bağlı olarak tüm serilerin basınç dayanımı değerlerinde artış elde edilmiştir. Bununla birlikte hematitli betonların kırmataşlı (kalkerli) karışımlardan daha fazla basınç dayanımı (% 1.2-42.3) elde edilmiştir. 500 dozlu betonların basınç dayanımı değerlerine göre 400 dozlu betonlarda % 50.1-93.8, 300 dozlu betonlarda ise % 196.1-222.5 oranlarında daha fazla basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. Alüminatlı çimentoların basınç dayanımı CEM I 42.5 R'li betonlara göre daha düşüktür. CEM I 42.5 R'li serilere göre alüminatlı betonların dayanımı % 0.3-22.7 arasında daha azdır.

b) Elastisite modülü

300, 400 ve 500 kg/dm³ dozlu, hematitli ve kırmataş agregalardan alüminatlı ve CEM I 42.5 R ile üretilen 12 seri beton üretilmiştir. Her seri için üç farklı beton üretilmiştir. Betona uygulanan yüklerle birlikte betonun gerilmesi-deformasyonu bulunur, bununla birlikte sertleşmiş bölüm 3.2.5.1'de anlatıldığı gibi uygulanmıştır. Şekil 4.19'da basınç dayanımının çimento dozajına bağlı olarak değişimi belirtilmiştir. Elastisite modülü en yüksek (20302 MPa) 500 kg/dm³ dozlu hematit-CEM I'li "HC" serilerde, en düşük ise (4242 MPa) 300 kg/dm³ dozlu kırmataşlı-alüminatlı serilerde "KA" elde edilmiştir.

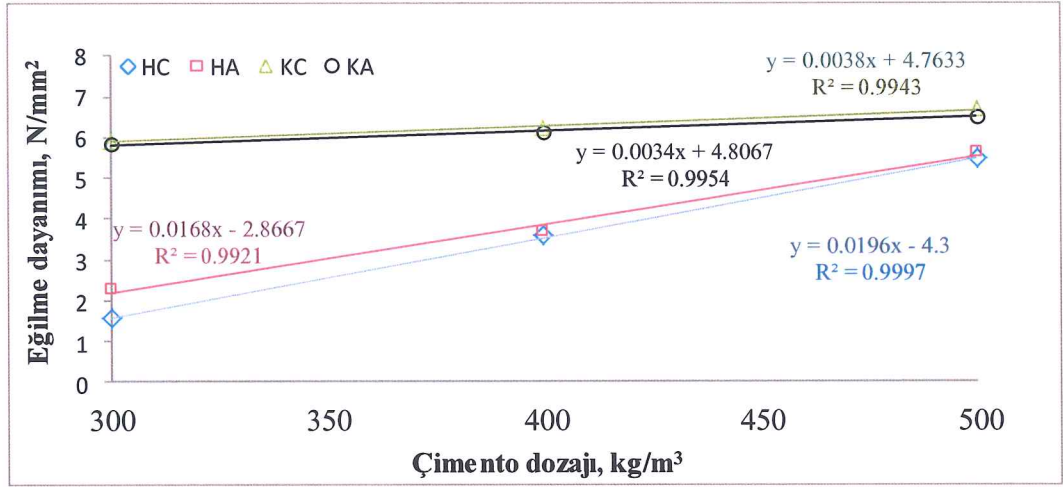


Şekil 4.19. Agrega ve çimento türüne göre elastisite modülü-çimento dozajı ilişkileri

Şekil 4.19'den görüleceği gibi çimento dozajının artışına bağlı olarak tüm serilerin elastisite modülü değerlerinde artış elde edilmiştir. Bununla birlikte hematitli betonların kırmataşlı (kalkerli) karışımlardan daha fazla dayanımı (% 11.3-41.6) elde edilmiştir. 500 dozlu betonların elastisite modülü değerlerine göre 400 dozlu betonlarda % 18.3-50.4, 300 dozlu betonlarda ise % 276.3-184.9 oranlarında daha fazla elastisite modülü dayanımı değeri elde edilmiştir. Alüminatlı çimentoların elastisite modülü dayanımı CEM I 425 R'li % 2.2-27.4 betonlara göre daha azdır.

c) Eğilme dayanımı

Eğilme dayanımı Bölüm 3.2.5.1'de anlatıldığı gibi uygulanmıştır. Şekil 4.20'de eğilme dayanımının çimento dozajına bağlı olarak değişimi belirtilmiştir. Eğilme dayanımı en yüksek (6.68 N/mm²) 500 kg/m³ dozlu kalkerli -alüminatlı serilerde "KA", en düşük ise (1.56 N/mm²) 300 kg/m³ dozlu hematitli -CEM I serilerde "HC" elde edilmiştir.



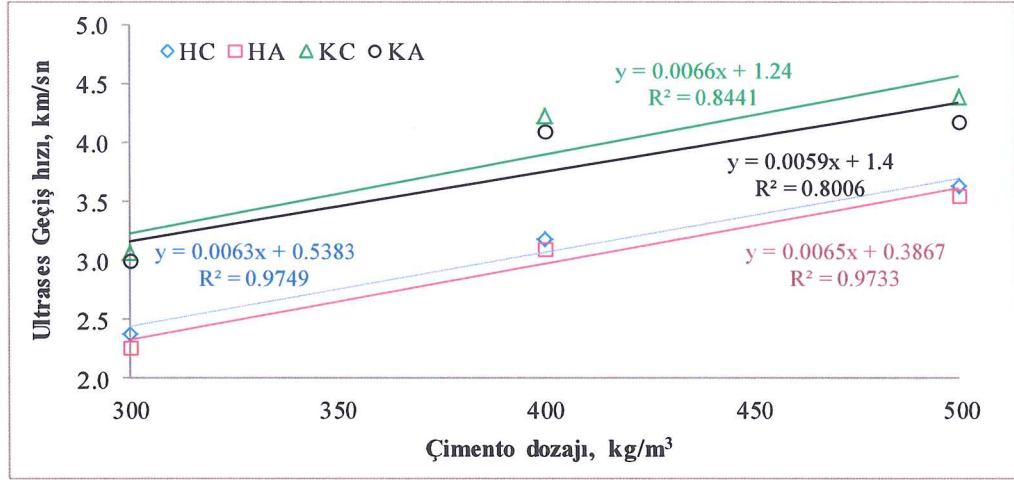
Şekil 4.20. Agrega ve çimento türüne göre eğilme dayanımı-çimento dozajı ilişkileri

Şekil 4.20'den görüleceği gibi çimento dozajının artışına bağlı olarak tüm serilerin eğilme dayanımı değerlerinde artış elde edilmiştir. Bununla birlikte hematitli betonların kırmataşlı (kalkerli) karışımlardan daha az eğilme dayanımı (% 15.9-73.3) elde edilmiştir. 500 dozlu betonların eğilme dayanımı değerlerine göre 400 dozlu betonlarda % 6.9-52.7, 300 dozlu betonlarda ise % 251.3-11.6 oranlarında daha fazla eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Alüminatlı çimentoların eğilme dayanımı CEM I 425 R'li betonlara göre daha fazladır (% 1.6-31).

4.9.2. Sertleşmiş betonun fiziksel özellikleri

a) Ultrases geçiş hızı

Beton içerisinde ses dalgalarının geçirilmesiyle betonda ultrases geçiş hızı ölçülmekte ve sesin geçiş hızına göre betonun yoğunluğuna bağlı olarak dayanım gibi özellikleri hakkında fikir elde edilebilmektedir Bölüm 3.2.5.2'de anlatıldığı gibi uygulanmıştır. Şekil 4.21'de Ultrases geçiş hızı çimento dozajına bağlı olarak değişimi belirtilmiştir. Ultrases geçiş hızı en yüksek (4.20 km/sn) 500 kg/m³ dozlu kalker-CEM I'li serilerde, en düşük ise (2.26 km/sn), 300 kg/m³ dozlu hematit - alüminatlı serilerde "HA" elde edilmiştir.

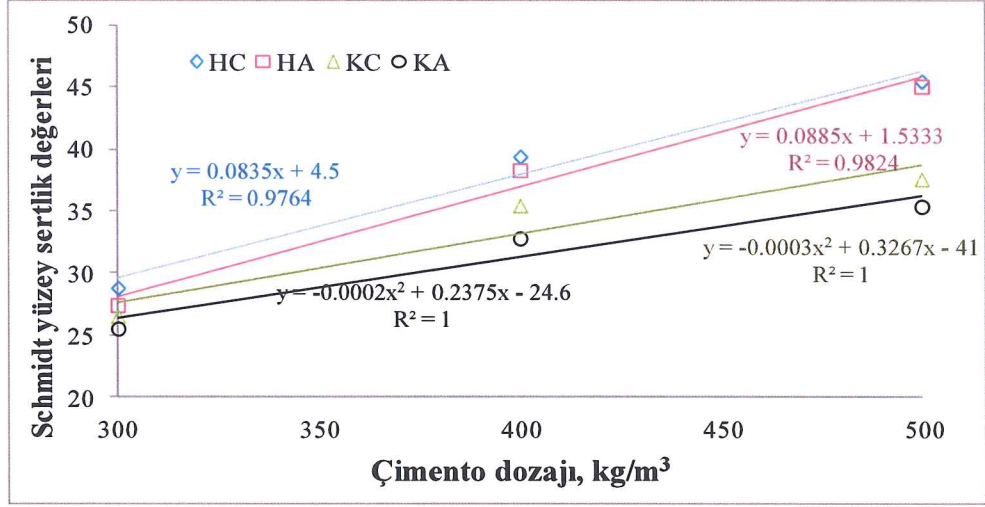


Şekil 4.21. Agrega ve çimento türüne göre ultrases geçiş hızı-çimento dozajı ilişkileri

Şekil 4.21'den görüleceği gibi çimento dozajının artışına bağlı olarak tüm serilerin basınç dayanımı değerlerinde artış elde edilmiştir. Bununla birlikte hematitli betonların kırmataşlı (kalkerli) karışımlardan daha fazla ultrases geçiş hızı (% 15.1-24.9) elde edilmiştir. 500 dozlu betonların ultrases geçiş hızı değerlerine göre 400 dozlu betonlarda % 2-14.9, 300 dozlu betonlarda ise % 39.3-57.1 oranlarında daha az ultrases geçiş hızı değeri elde edilmiştir. Alüminatlı çimentoların ultrases geçiş hızı CEM I 42.5 R'li (% 6.2-0.9) betonlara göre daha azdır.

b) Schmidt yüzey sertlik deneyi

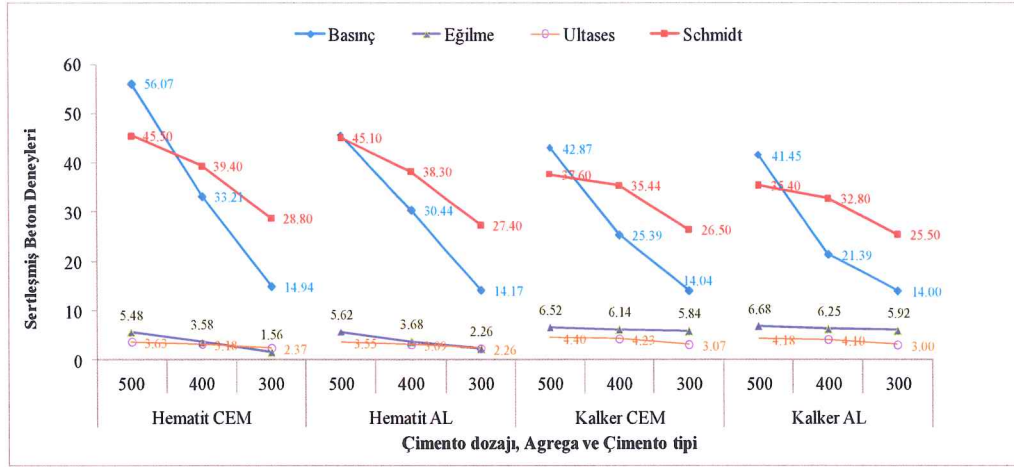
Sertlik dayanımını bulmak için uygulanan schmidt çekici küp numeler üzerinde yapılmıştır. Deney Bölüm 3.2.5.2'de anlatıldığı gibi uygulanmıştır. Şekil 4.22'de schmidt yüzey sertliği deneyi çimento dozajına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Schmidt yüzey sertliği dayanımı en yüksek (45.50) 500 kg/m³ dozlu hematit-CEM I'li serilerde "HC", en düşük ise (25.50) 300 kg/m³ dozlu kırmataşlı-alüminatlı serilerde "KA" elde edilmiştir.



Şekil 4.22. Agrega ve çimento türüne göre schmidt-çimento dozajı ilişkileri

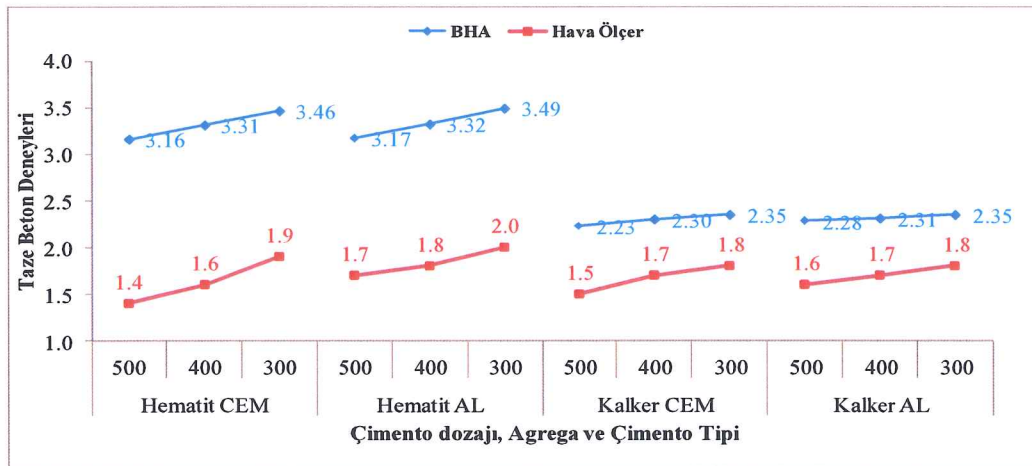
Şekil 4.22'den görüleceği gibi çimento dozajının artışına bağlı olarak tüm serilerin Schmidt yüzey sertliği değerlerinde artış elde edilmiştir. Bununla birlikte hematitli betonların kırmataşlı (kalkerli) karışımlardan daha fazla Schmidt yüzey sertliği (% 7.5-27.4) elde edilmiştir. 500 dozlu betonların Schmidt yüzey sertliği değerlerine göre 400 dozlu betonlarda % 6.1-17.8, 300 dozlu betonlarda ise % 38.8-64.6 oranlarında daha az schmidt yüzey sertliği değeri elde edilmiştir. Alüminatlı çimentoların schmidt yüzey sertliği CEM I 42.5 R'li betonlara göre daha düşük olmasına rağmen bu etki oldukça azdır. CEM I 42.5 R'li serilere göre alüminatlı betonlar % 0.3-2.2 arasında daha azdır.

Şekil 4.23'de 12 farklı seri betonda sertleşmiş beton deneyleri (basınç dayanımı (N/mm²), eğilme dayanımı (N/mm²), ultrases geçiş hızı ve schmidt yüzey sertliği) uygulanmış ve bu deneyler arasındaki ilişki çimento dozajı, agrega tipi ve çimento türüne bağlı olarak verilmiştir. Deney sonuçlarına bakılıp deneyler arası ilişki kurulduğunda serilerde çimento dozaj miktarına bağlı olarak dozajın azalmasıyla dayanımlarda azalmıştır.



Şekil 4.23. Sertleşmiş beton deneylerinden basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultarases geçiş hızı ve schmidt yüzey sertliği değerlerinin değişimleri

Şekil 4.24’de 12 farklı seri betonda taze beton deneyleri BHA ve hava ölçer (HVÖ) uygulanmış ve bu deneyler arasındaki ilişki çimento dozajı, agrega tipi ve çimento türüne bağlı olarak verilmiştir. Deney sonuçlarına bakılıp deneyler arası ilişki kurulduğunda serilerde çimento dozaj miktarına bağlı olarak dozajın azalmasıyla değerlerde azalma görülmüştür.



Şekil 4.24. Taze beton deneylerinden BHA ve HVÖ değerlerinin değişimleri

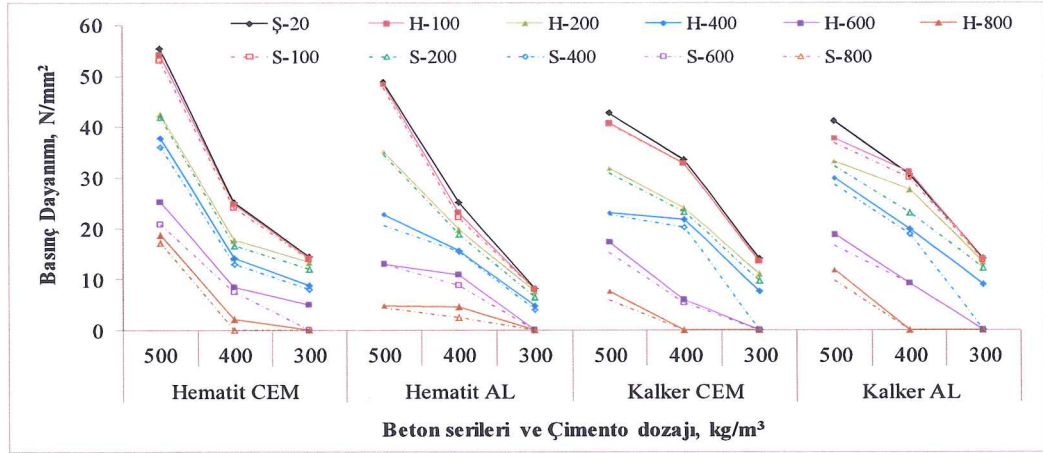
4.10. Yüksek Sıcaklık

Deney numuneleri için 20 °C, 100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıkların etkisine 3 saat maruz kalan numuneler üzerinde sertleşmiş beton deneylerinden basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyleri tekrarlanmıştır. Deneyler sonucunda ölçülen ve hesaplanan sonuçlar, standart kür koşullarında bekletilen kontrol numuneleri sonuçlarına göre değerlendirilmiş ve incelenmiştir.

4.10.1. Yüksek sıcaklığın KYB basınç dayanımına etkisi

Tüm karışımlarımız için 20 °C, 100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıkların etkisine 3 saat maruz kalan numunelere bir saat suda ve havada soğutma işlemi uygulanıp basınç deneyleri uygulanmıştır.

Sıcaklık artışına bağlı olarak en yüksek dayanımlar HC5 (17.12-55.5 N/mm²) serili betondan elde edilmiştir. En düşük dayanımlar ise 300 kg/m³ çimento dozajlı serilerden (0-13.6 N/mm²) eldedilmiştir. Basınç dayanıma diğer etki eden parametrede yüksek sıcaklık etkisindeki betona uygulanan soğutma şeklidir. Havada ve suda soğutmanın; sıcaklık değeri, çimento dozajı ve tipi ile agrega tipine göre basınç dayanımına etkileri Şekil 4.25’de verilmiştir (S kodlular suda, H kodlular havada soğutma). Suda soğutmayla havada soğutma karşılaştırıldığında, suyun basınç dayanımını düşürdüğü gözlenmiştir. En belirgin değişim HC3’de gözlenmiş, 600 °C’de basınç dayanımı havada 4.9 N/mm² iken suda dayanım alınamamıştır.



Şekil 4.25. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonun havada ve suda soğutmayla beton serilerinde basınç dayanımı

20 °C'de oda koşullarınıniki betonun dayanımı şahit tutularak 100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C'de basınç dayanımı kaybı incelenmiştir. C Serilerde 100 °C'de % 0.8-8 arasındadır. 200 °C'den itibaren C-S-H bağlarının kopmaya başlamasıyla basınç dayanım kaybı % 5-34 arasındadır. 400 °C de basınç dayanımındaki azalış daha fazladır (% 27-32). 400 °C'de bağların kopmasıyla oluşan çatlaklar Şekil 4.27'de gösterilmiştir. KC3 serisinde suda soğutmanında etkisiyle % 100'lük bir basınç dayanım kaybı olmuştur. 600 °C'de bağlarında erimesiyle agregalar yüksek sıcaklıktan etkilenmeye başlamıştır ve Şekil 4.26'da agregaların çatlaması gösterilmiştir. Basınç dayanım kaybı % 54-% 100 olmuştur. 300 dozlu serilerde (HC3, KC3, HA3 ve KA3) basınç dayanım kaybı % 100 olmuştur.

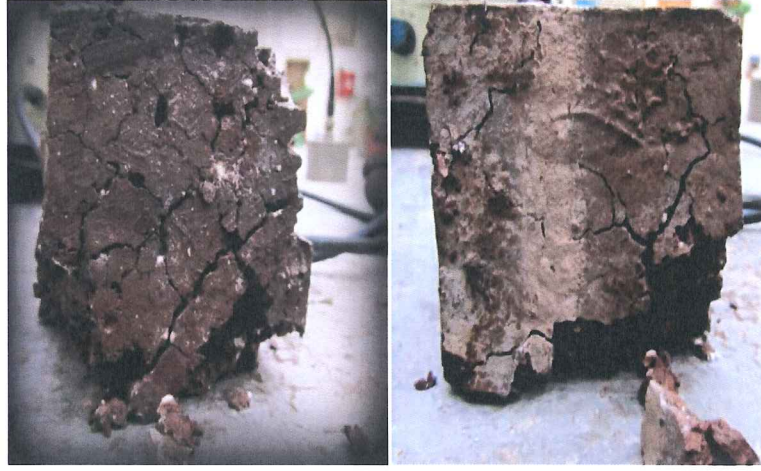


Şekil 4.26. Agregaların çatlaması



Şekil 4.27. Bağların kopması

800 °C’de basınç dayanım kaybı % 67-100 olmuştur. En az kayıp HC5 serisinde (% 66) gözlenmiş. 800 °C’ye maruz bırakılan numunelerin bazılarının soğutma işlemi için suya bırakılmasında dağıldığı Şekil 4.28’de gözlenmiştir. En belirgin suda soğutma 400 dozlu serilerde olmuştur. Havada soğutmada % 76-90 kayıp gözlenirken suda soğutmada % 100’lük dayanım kaybı gözlenmiştir. 300 dozda hiçbir seride basınç dayanımı alınmamıştır.



Şekil 4.28. Sudaki soğutma işleminden sonra dağılan numune

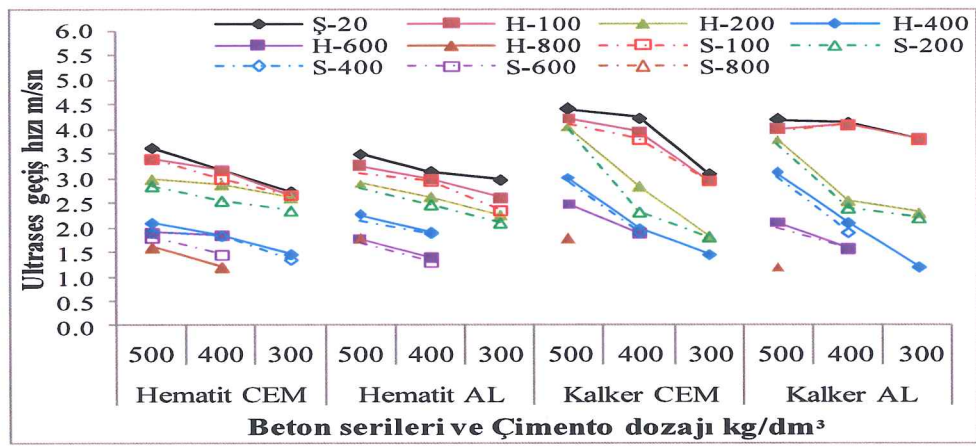
Refrakter malzeme olarak kullanılan alüminatlı çimentoyla üretilen yüksek sıcaklık etkisiyle basınç dayanımı CEM I 42.5 R ye göre daha iyi çıkmıştır.

Ağır agreganın dayanımın yüksek olması ağır agregalı betonun kırmataşlı olan betondan daha iyi sonuç alınmasına sebep olmuştur. Yüksek sıcaklık etkisiyle bağları kopan numunelerin suda soğumasıyla yumuşama olmuştur, bu da betonun dağılmasına (kopmasına) sebep olmuştur. Suda soğutmak beton dayanımı bu yüzden azaltmaktadır. Sonuç olarak yüksek sıcaklığa en dayanıklı beton havada soğutulan alüminatlı hematitli beton serisidir.

4.10.2. Yüksek sıcaklığın KYB ultrasases geçiş hızına etkisi

Havada ve suda soğutmaya yüksek sıcaklık altındaki ultrasases geçiş hızındaki değişimler Şekil 4.29’de gösterilmiştir.

Yüksek sıcaklığın artmasıyla betonda ultrases geçiş hızında azalma gözlenmiştir. Ultrases geçiş hızına etken diğer etki eden parametrede yüksek sıcaklık etkisindeki betona uygulanan soğutma şeklidir. En yüksek geçiş hızı sıcaklığa bağlı olarak KC5 (1.77-4.40 km/sn) serili betondadır. En düşük geçiş hızı HC3 (0.0-2.74 km/sn) numune serisine aittir. Suda soğutmayla havada soğutma karşılaştırıldığında suyun basınç dayanımını düşürdüğü gözlenmiştir. En belirgin değişim HC3’de gözlenmiş, 600 °C de basınç dayanımı havada 4.9 N/mm² iken suda dayanım alınamamıştır.



Şekil 4.29. Ultrases geçiş hızı ve beton serilerinin ilişki

5. SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmalar ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

BHA, hematit agregalı (HA ve HC) serilerinde $3.16-3.47 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. Kalkerli serilerde (KA ve KC) $2.23-2.35 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Dozajın azalmasına bağlı olarak BHA artmaktadır.

Doldurma yeteneği için; çökme yayılma deneyinin 65-80 cm arasında olması gerekmektedir. Üretilen numunelerin çökme yayılma değerleri 62-73 cm arasındadır. Dozajın azalmasıyla yayılma miktarı düşmüştür. 300 kg/m^3 betonlarda çökme yayılması KA, KC ve HA serilerinde (62, 62.5 ve 64 cm) sınırın altında kalmıştır. V- huni yayılmasında ise (65.5-75) arasında dozaja bağlı değişim gözlenmiştir.

Geçebilme yeteneği için L -kutu deney inde 300 kg/m^3 dozlu karışımlarda daha fazla filler malzeme kullanılmasıyla L- kutudan daha rahat geçmiş ve daha kısa sürede T_{20} (1.0-1.9) ve T_{40} (1.3-2.5) ulaşmıştır.

Ayrışma yeteneği; doldurma ve geçebilme yeteneğine bağlı betonun yerleştirmede ayrışmaması gerekir. Buna bağlı olarak çökme yayılmasını veya V- huni yayılma süresi ilişkilendirildiğinde yayılma süresi arttıkça yayılma miktarıda artmaktadır.

Sertleşmiş betonun mekanik özelliklerini incelemek için basınç dayanımı, elastisite modülü ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlendirildiğinde dozaj ve agregat tipine bağlı olarak değişim gözlenmiştir. HC'li serilerde dozajın artmasına bağlı olarak en iyi dayanım elde edilmiştir. Eğilme dayanımı ise agregat tipine göre değişim göstermiştir. Dozajın artmasıyla birlikte KC'li serilerde eğilim miktarı daha fazladır.

Fiziksel özellikleri incelendiğinde schmidt yüzey sertliği dayanımı basınç dayanımı gibi en iyi dayanımlar dozaja göre kıyaslandığında 500 kg/m^3 dozunda en yüksek, 300 kg/m^3 dozunda en düşüktür.

Agrega tipi incelendiğinde Hematit agregalı serilerde kırmataşlı serilerden daha dayanıklıdır. Çimento tipinin etkisi % 1-3 arasındadır. Ultrases geçiş hızıda en fazla kalkerli betonlarda gözlenmiştir.

Sertleşmiş beton 3 saat yüksek 20 °C, 100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C 'ye maruz kaldıktan sonra 1 saat havada ve suda soğutma yapılarak numunelere basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı uygulanmıştır. 20 °C'li betonlar şahit tutulmuştur. 100 °C'lerde % 1-% 2 arasında bir kayıp gözlenmiştir. 200 °C'de kayıp % 15-6 arasında değişmektedir. 400 °C'de bağlarında kopmasıyla yüzde değişimi 20 °C ye göre hızla azalmış (% 15-30) fakat 200 °C'ye göre büyük bir basınç dayanım kaybı gözlenmiştir. Bu durum agregaların bu sıcaklıkta az zarar görmesi olarak değerlendirilmiştir. Sadece 600 °C'de agregalarda çatlamaya başlamış dayanım hızlıca azalış olmuştur. 800 °C'de sadece 500 kg/m³ dozlu serilerde dayanım elde edilmiştir.

Söndürme koşullarını suda ve havada soğutma yaparak değerlendirildiğinde ise suda soğutmanın dayanımla daha fazla kayba yol açıldığı görülmüştür. 300 kg/m³ serilerde 400 °C'de suda soğutmayla dayanım alınamamıştır.

Bunlara bağlı olarak hematit agregasının yüksek sıcaklığa kalkerden daha fazla dayandığı ortaya çıkmıştır. Dozaj miktarının azalmasıyla da dayanımın düştüğü gözlenmiştir. Ultrases geçiş hızındaki değişimde bu şekilde olmuştur. Çimento tipide dayanımda etkilidir. Refrakter malzemenin dayanımı sıcaklığın artmasıyla daha iyi gözlenmiştir. 800 °C HC4 serisinde dayanım sadece havada soğutmayla alınırken, HA4 serilesinde hem havada hem suda dayanım elde edilmiştir.

Sonuç olarak, ağır agregalı kendiliğinden yereleşen betonun bazı taze ve sertleşmiş beton özellikleri tespit edilmiştir. Üretilen ağır betonlarda doldurma ve geçebilme yeteneğine sahip, ayrışmaya karşı dirençli betonlar üretilmiştir. Çimento dozajı ve agregası tipi betonun dayanımı üzerinde en etkili parametreler olarak tespit edilmiştir. Agregası ve çimento tipi seçimi yüksek sıcaklık davranışını etkilemiştir.

Kendiliğinden yerleşen beton üretimin kolay olması, hematit agregasının zengin yataklarının bulunması ve refrakter malzeme kullanımıyla ağır agregalı kendiliğinden yerleşebilen beton üretilebilecektir. Hematit agregalı kendiliğinden yerleşen beton üretime bir alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır. Farklı katkı, çimento ve agrega tipleri kullanılarak yeni üretimler yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- ACI Committee 236, 1998. Self-Consolidating Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- Akgün, Y., Durmuş, A. ve Durmuş, A., 2007. Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özellikleri. 7. Ulusal Beton Kongresi.
- Akman, M., S., 1987. Yapı Malzemeleri. İTÜ Yayınevi, İstanbul, 1336.
- Akman, M., S., 1996. Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Taze Beton İşlenebilmesindeki Sorunları. Dördüncü Ulusal Beton Kongresi, Ekim-Kasım, 55-71, İstanbul.
- Akman, M., S., 2000. Yüksek Performanslı Betonların Taze Haldeki Özellikleri Üzerine Katkı Maddelerinin Etkisi, Sika Teknik Bülten, 2000/1-2,4-7.
- Aktürk, M., 2007. Polipropilen Lif Takviyeli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 112, Konya.
- Aköz, F., Yüzer, N., 1994. Yüksek Sıcaklığın Nedenleri ve Betonarme Elemanlara Etkileri. Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 3, 89-88, İstanbul.
- Alonso, C., Andrade, C., Castellote, M., Khoury, G., A., 2003. Microstructure-Solid Phases. International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy.
- Anonim, 1970. Demir Cevheri ve Teşekkülü. Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi, 09/6, 1-7.
- Anonim, 2012a. <http://www.delinetciler.net/forum/maden-ve-elementler/68791-hematit-nedir-hematit-hakkinda>. Erişim tarihi: 10.02.2012.
- Anonim, 2012b. <http://www.mta.gov.tr/mineraller/hematit>. Erişim tarihi: 12.02.2012.
- Arı, K., Haktanır, T., Altun, F., Karahan, O., 2004. Kalsiyum Alüminatlı Çimentonun Refrakter Olarak Kullanılması. Beton Dergisi. İstanbul.
- ASTM C 127, 2001. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. Annual Book of Astm Standards, 5, USA.
- ASTM C 128, 1997. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. Annual Book of ASTM Standards, 5, USA.
- ASTM C 143, 2000. Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete. Annual Book of ASTM Standards, 3, USA.

- ASTM C 29, 1997. Standard Test Method For Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate. Annual Book of ASTM Standards, 4, USA.
- ASTM C 294, 1997. Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates. Annual Book of ASTM Standards, 10, USA.
- Ata, E., 2005. Divriği-Pınargözü (Sivas), Hekimhan(Malatya), Attepe (Kayseri) ve Feke (Adana) Demir Cevherleşmelerindeki Hematitlerin Karşılaştırmalı Jeokimyasal İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, 86, Adana.
- Aytaç, A., H., Aydın, S., Ramyar, K., Çil, İ., 2005. Kimyasal Katkı Kökeni, Çimento Kompozisyonu ve Çimento Dozajının Taze Beton Özelliklerine Etkisi. Yapılarda Kimyasal Katkılar Kongresi, Ankara.
- Bakhtiyaria, S., Allahverdib, A., Rais-Ghasemic, M., Zarrabid, B., A., Parhizkarc, T., 2010. Self Compacting Concretecontaining Different Powder Satelevated Temperatures Mechanical Properties and Changesin The Phase Composition of The Paste. Thermochemica Acta.
- Baradan, B., 2000. Yapı Malzemeleri. DEU Müh. Fak. Basım Ünitesi.
- Bartos, P., J., M., Sonebi, M., Tamim, A., K., 2000. Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests. Rilem Technical Committee Tc 145-Wsm Workability of Special Concrete Mixes.
- Behnood, A., Ghandehari, M., 2009. Comparison of Compressive and Splitting Tensile Strength Of High-Strength Concrete With and Without Polypropylene Fibers Heated to High Temperatures. Fire Safety Journal, 44, (8) 1015-1022.
- Beshr, H., Almusallam, A., A., Maslehuddin, M., 2003. Effect of Coarse Aggregatequality on The Mechanical Properties of High Strength Concrete. Construction and Building Materials, 17, 97-103.
- Bilal, F., 2006. Yangın ve Beton. İzolasyon Dünyası. 60, 70-72.
- Bouzoubaa, N., Laclemi, M., 2001. Self-Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly Ash Preliminary Results. Cement and Concrete Research, 31, (3) 413-420.
- BS EN 206-1: 2000. Concrete - Part1: Specification, Performance, Production and Conformity. British Standards Institution, 1-20.
- Bui, V., K., 2002. Application of Minimum Paste Volume Method in Designing Cost Effective Self-Consolidating Concrete-An Experience in New Zealand.
- CEB, 1991. Bulletin Information. Fire Design of Concrete Structures, Bulletin d'Information 208. Lausanne, Switzerland.

- Colleparadi, S., 2005. Characteristics of The Flexion Behaiour of Joists Made of Concrete Reinforced With Polypropylene and Polyproplene-Polyethylene Fibres Produced, Italy.
- Collins, F., Sanjayan, J., G., 2000. Effect of Pore Size Distribution on Drying Shrinkage of Alkali-Activated Slag Concerte. Cement and Concerete Resarch, 30,1401-1406.
- Corradi, M., Khurana, R., Magarotto, R., Torresan, I., 2002. Zero Energy System: An Innovative Approach For Rationalized Precast Concrete Production.Bıb 17th International Congress of The Precast Concrete Industry, Istanbul (Turkey).
- Coşkun, A., 2010. Ağır Betonlarda Barit Agregasının Kullanımı ve Beton Özelliklerinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, 52, Afyon.
- Cülfık, M., S., 2001. Deterioration of Bond Between Cement Paste and Aggregate at High Temperatures. Doktora Tezi, Boğaziçi University, 175.
- Çil, İ., Çakır, Ö., A., Ramyar, K., Bilgin, A., Karaduman, N., 2007. Farklı Tip Çimentoların Yüksek Sıcaklıklara Direnci. TÜBİTAK, Proje No: Mag 106M158, 40.
- De Schutter, G., 2005. Guidelines for Testing Fresh Selfcompacting Concrete. European Research Project, Growth Contract No. Grd2-2000-30024, September, 9-16.
- Djelal, C., Vanhove, Y., Magnin, A., 2004. Tribological Behaviour of Self Compacting Concrete. Cement and Concrete Research 34, 821-828.
- Doğan, A., Ü., 2000. Yeni Kuşak Süperakışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Domone, P., L., 2006. Self-Compacting Concrete: An Analysis of 11 Years of Casestudies. Cement and Concrete Composites, 28, 197-208.
- Dowson, A., J., 2002. The Application, Self Compacting Concerete in Precast Products. BIBM 17th International Congress of Precast Concrete Insdustry, Istanbul.
- Durmuş, A., Gürsoy, Y., 2000. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Ağır Agregalarından Biriyle Üretilen Ağır Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Hazır Beton Sektörü Yayın Organı, 39.

- Duyar, O., 2006. Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deney Metotları ve Mühendislik Özellikleri. THBB Hazır Beton Dergisi, 75, 46-52.
- EFNARC, 2002. Specifications and Guidelines For Self-Compacting Concrete. Association House, 99 West Street, Farnham, Uk, www.Efnarc.Org, ISBN 0 953973344, 32.
- Erdoğan, T., Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim, Ankara.
- Erman, A., 2010. Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonda Yüksek Sıcaklık Etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, 96, Eskişehir.
- Ermco, 2005. The European Guidelines For Self-Compacting Concrete Specification. Production And Use, The European Ready-Mix Concrete Organisation, 10-68.
- Fares, H., Noumowe, A., Remond, S., 2009. Self-Consolidating Concrete Subjected to High Temperature Mechanical and Physicochemical Properties. Cement and Concrete Research 39 ,1230–1238.
- Ferraris, F.C., 1996. Measurement of The Rheological Properties of High Performance Concrete. State of The Art Report, Nıstr 5869, Building Fire Research Laboratory, Gaithersburg, Maryland 20899, July Fire Safety Journal44, 1015-1022.
- Felekoğlu, B., 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, 245, İzmir.
- Felekoğlu, B., Turkel, S., Baradan, B., 2007. Effect of Water/Cement Ratio on The Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete. Building and Environment 42, 1795-1802.
- Filiz, M., Sancak E., Özel, C., Gençel, O., 2009. Ağır ve Kolemanit Agregalı Betonun Radyasyon Önlemede Kullanımının Araştırılması. TÜBİTAK 1001, Proje No:106M442.
- Fugiwara, H., Nagataki, S., 1999. Study of Self-Compactibility of High-Fluid Concrete. Proceedings of The First International RILEM Symposium.
- Gencil, O., Nazıroğlu, M., Celik, O., Yalman, K., Bayram, D., 2010. Selenium and Vitamin E Modulates Radiation-Induced Liver Toxicity in Pregnant and Nonpregnant Rat: Effects of Colemanite and Hematite Shielding. Biol Trace Elem Res 135:253-263.

- Gencil, O., 2011, Effect of Elevated Temperatures on Mechanical Properties of High-Strength Concrete Containing Varying Proportions of Hematite. Fire and Materials Fire Mater. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/fam.1102
- Gürdal, H., Z., Yüceer, Z., 2004. Türkiye’de ve Dünya’da Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları. Hazır Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 244-254.
- Gürol, G., Erdiñç, M., Kurt, B., Kurt, F., 2003. Polikarboksilat ve Naftalin Sülfanat Polimer Esaslı Katkılarla Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Dayanım, Durabilite ve Ekonomi Açısından Karşılaştırılması. 5. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 585-591.
- Hana, F., Noumowe, A., Remond, S., 2009. SCC Subjected to High Temperature Technical and Physicochemical Properties. Cement and Concrete Res. 39, 1230-1238.
- Helal, M., A., Heiza, Kh., M., 2007. Effect of Aggregate Type on The Behavior of Thermally Treated SCC. HBRC Journal , 32.
- Hakim E., Sakr, K., 2005. Effect Of High Temperature or Fire on Heavy Weight Concrete Properties Cement and Concrete Resarch 35,590-5.
- Kana, C., Pei, K., Changa, C., 2004. Strenght And Francture Toughes of Heavy Concrete with Various İron Aggregate İnclusions. Nuclear Engineering and Desing, 119-127.
- Kaplan, M., F., 1989. Concrete Radiation Shielding. Longman Scientific and Technical, 476, USA.
- Khayat, K., H., Morin, R., 2002. Performance of Self-Consolidating Concrete Used to Repair Parapet Wall in Montreal. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 475-481.
- Kınıçılı, C., 2007. Katkı Dozajı ve Taze Beton Sıcaklığının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 95, İstanbul.
- Kılınçarslan, Ş., Başıyigit, C., Akkurt, İ., 2007. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması. Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. 22,(2), 393-399.
- Lee, J., Xi, Y., Willam, K., Jung, Y., A., 2009. Multiscale Model for Modulus of Elasticity of Concrete at High Temperatures. Cement and Concrete Research.

- 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.
- Nanthagopalan, P., Santhanam, M., 2010. Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete Produced With Manufactured Sand. Cement and Concrete Composites, 33 (6) 2011, 353-358.
- Neville, A., M., 1995. Properties of Concrete. Longman Group, Burnt Mill, Harlowessex Cm 20 2je, England. ISBN: 0-582-23070-5, 844.
- Okamura, H., Ouchi, M., 2003. Self-Compacting Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology 1, 5-15.
- Okazawa, S., Umezawa, K., Tanaka, Y., 2000. A New Polycarboxylate Based Polymer: Physical Properties of Concrete. Concrete, 1813-1824.
- Onaran, K., 2000. Malzeme Bilimi. Yedinci Basım, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- Öncan, T., 1966. Demir Cevherlerimizin Zenginleştirilmesinin Türkiye İçin Önemi. Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi, 05/20, 301-306.
- Özbey, S., 2009. Farklı Çimento Tipleri İle Üretilen Betonların Yüksek Sıcaklık ve Değişik Soğutma Koşulları Altındaki Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, 74, Eskişehir.
- Özel, C., 2007. Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi, 249, Isparta.
- Özkul, M., H., 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen Sıkışan Beton. THBB Hazır Beton Dergisi, 9(32), 64-71.
- Ramachandran, V., Malhotra, H., 1984. Concrete Admixtures Handbook. Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, 410-460. USA.
- Ramyar, K., 2007. Uçucu Kül İnceliği ve Kullanım Oranının Alkali-Silisreaksiyonuna Etkisi, Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi.
- Roshavelov, T., 2002. Concrete Mixture Proportioning Based on Rheological Approach, First North American Conference on the Design and Use of Self Consolidating Concrete.
- Sağlam, A., R., Parlak, N., Doğan, U., A., Özkul, M., H., 2004. Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu. Beton 2004 Kongresi, 10-12 Haziran, 213-224, İstanbul.

- Sağlık, A., Kocabeyler, F., Tunç, E., 2007. Kimyasal ve Mineral Kaykıların Kütle Beton Tasarımında Yeri. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 12-13 Nisan, Ankara.
- Sahmaran, M., Christianto, H.A., Yaman I., O., 2006. The Effect of Chemical Admixtures and Mineral Additives on The Properties of Self-Compacting Mortars. Cement and Concrete Composites 28, 432-440.
- Sari, M., Prat, E., Labastire, J.-F., 1999. High Strength Self-Compacting Concrete – Original Solutions Associating Organic and Inorganic Admixtures. Cement and Concrete Res.,29, 813-818.
- Seçer, O., 2008. Yüksek Sıcaklık Etkisinden Hasar Görmüş Lifli, Hava Sürükleyici Katkılı ve Perlit Agregalı Betonların Dayanım Özellikleri ve GFRP ile Onarımı ve Güçlendirilmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116, Erzurum.
- Self Compacting Concrete, 2000. State of the Art Report of RILEM Technical Committee.
- Sertbaş, B., 2006. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, 66.
- Sevon, T., Kinnunen, T., Virta, J., 2010. Hecla Experiments on Interaction Between Metallic Melt and Hematite-Containing Concrete Nuclear Engineering and Design, 240.
- Smeplass, S., 1990. High Strength Concrete Internal Sıntef Report Sp4. Trondheim, Norway, Quoted As Ref 2/147 in CEB-FIP High Strength Concrete, State of the Art Report Fip, London, 1-71.
- Sugamata, T., Edamatsu, Y., Ouchi M., A., 2003. Study of Particle Retention Effect of Polycarboxiyate-Based Superplasticizers, 3 rd RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, Icaland, 420-431.
- Şengül, C., Taşdemir M. A, Yılmaz, N., Arslan, G., 2005. Karma Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Davranışına Agregat Oranlarının Etkisi. 373-378. <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3164.pdf>.
- Taşkın M.B., 2008. Beton ve Beton Üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Tejeda-Dominguez, F., Lange, D., A., D'ambrosia, M., D., 2005. Formwork Pressure of self-Consolidating Concrete in Tall Wall Field Applications, Concretematerials, 1914 (11), 1-7.
- THBB, 2007. Kendiliğinden Yerleşen Beton Kılavuzu. Nisan, İstanbul,63

- Topcu, İ., B., Unal, O., Uygunoğlu, T., 2006. Otoklavda Kür Edilmiş Pomzalı Hafif Betonun Özellikleri, Türkiye Prefabrik Birliği, Beton Prefabrikasyon Dergisi,79.
- Topcu, İ., B., Unal, O., Uygunoğlu, T., 2007. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Mineral Katkıların Taze Beton Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması. Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Milli Kutuphane, 23-24 Nisan 2007,181-193,Ankara.
- Topcu, İ., B., Uygunoğlu, T., Sivri, M., 2006. Puzolanların Beton Basınç Dayanımına Etkisinin Yapay Sinir Ağlarıyla İncelenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 1-10.
- Topçu, B., 2003. Properties of Heavyweight Concrete Produced with Barite, Cement and Concrete Research 33, 815-822.
- Topçu, İ., B., 2000. İleri Beton Teknolojisi Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir.
- Topçu, İ., B., Demir, A., 2005. Uçucu Kül Katkılı Harçlarda Yüksek Sıcaklık Etkisi. İMO İstanbul Şubesi, 6. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 101-115.
- TS EN 130 -1978. Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metod, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 3529 -1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-1, 2002. Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 1: Numune Alma. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-2, 2002. Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-6-2002. Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 6: Yoğunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-7, 2002. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 12, Ankara.
- TS EN 12390-4, 2002. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 4: Basınç Dayanımı - Deney Makinelerinin Özellikleri. Türk Standartları Enstitüsü, 13, Ankara.

- TS EN 12390-5, 2002. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini.
- TS EN 1363-1 Yangına Dayanıklılık Deneyleri Bölüm 1: Genel Kurallar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2002. Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar, Bileşim, Özellikleri ve Uygunluk Değerleri. Türk Standartları Enstitüsü, 25, Ankara.
- TS EN 206-1, 2002. Beton- Bolum 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, 68, Ankara.
- Turcry, P., Loukili A., Haidar K., 2002. Mechanical Properties, Plastic Shrinkage and Free Deformations of Self-Consolidating Concrete. First North American.
- Türkel, S., Felekoğlu, B., 2004. Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerinde Etkileri. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi. 6(1), 79-91.
- 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, 28.
- Uygunoğlu, T. 2008. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi. Doktora Tezi, 155, Isparta.
- Walraven, J., 2002. Self-Compacting Concrete in The First North American Conference on The Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 399-404.
- Wong, G., S., Alexander, A., M., Haskins, R., Poole, T., S., Malone, P., G., Wakeley, L., 2001. Portland-Cement Concrete Rheology and Workability. Final Report. Publication.
- Wustholz, T., 2003. Fresh Properties of Self-Compacting Concrete (SCC). Otto-Graf-Journal 14, 179-188.
- Xie, Y., Liu, B., Yin, J. Zhou S., 2002. Optimum Mix Parameters of High-Strength Self-Compacting Concrete With Ultrapulverized Fly Ash. Cement and Concrete Research 32, 477-480.
- Ye, G., Liu, X., Schutter, De., Taerwe, L., Vandewelde, P., 2007. Phase Distribution and Microstructural Changes Of Self-Compacting Cement Paste at Elevated Temperature, Cement and Concrete Research 37, 978–987.
- Yeniyol, M., 2004. Mineraloji. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 324, İstanbul.

- Yıldırım, vd., 2007. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Polipropilen ve Çelik Lif Kullanılmasının İşlenebilirliğe Etkisi, 66. www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf
- Yılmaz, B., 2009. Muş Yöresinden Temin Edilen Barit'in Kullanımı ile Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, 50, Elazığ.
- Yücel, K., T., 1997. Pompa Betonlarında İşlenebilirliğin Harç Fazının Reolojisine Dayanarak Belirlenmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 122, İstanbul.
- Yüzer, N., Aköz, F., Kızıllanat, A., 2004. Yüksek Dayanımlı Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası XVII.Teknik Kongresi, 495-497.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Başak ZENGİN

Doğum Yeri ve Yılı: Tunceli - 1986

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce (Orta seviye)

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Yüksek Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi
Anabilim Dalı

Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi - Yapı Öğretmenliği

Lise: Fahrettin Kerim Gökay Anadolu Lisesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

- İstanbul Arel MYO, Elektrik Bölümü, 2010-2012
- İstanbul Gelişim MYO, Mimari Restorasyon, 2012-

