

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATKI DOZAJI VE TAZE BETON SICAKLIĞININ
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Cenk KILINÇ**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

**KATKI DOZAJI VE TAZE BETON SICAKLIĞININ
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Cenk KILINÇ
(501041023)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Yılmaz AKKAYA
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Fevziye AKÖZ (Y.T.Ü.)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocam Doç. Dr. Yılmaz Akkaya'ya,
Deneyisel çalışmalarım sırasındaki yardımları dolayısıyla İ.T.Ü. Marmaray Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına,
Çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli arkadaşlarım İnş. Yük. Müh. Seda Gülşahin'e, ve İnş. Yük. Müh. Aziz Türkel'e,
Çalışmalarım süresince her zaman beni destekleyen arkadaşım Emine Coşar'a,
Gösterdikleri sevgi, destek ve üstün sabır için aileme, teşekkür ederim.

Haziran 2007

Cenk KILINÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	x
SUMMARY	xi

1.GİRİŞ	1
----------------	----------

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER	3
-------------------------------------------------	----------

2.1 Taze Betonun Fiziksel Özellikleri	4
---------------------------------------	---

2.1.1 Taze betonda işlenebilirlik ve işlenebilirliği etkileyen faktörler	5
--------------------------------------------------------------------------	---

2.1.1.1 Çimento özelliği ve miktarının etkisi	6
-----------------------------------------------	---

2.1.1.2 Su miktarının etkisi	7
------------------------------	---

2.1.1.3 Agrega miktarı, şekli ve gradasyonunun etkisi	7
-------------------------------------------------------	---

2.1.1.4 Mineral katkıların etkisi	8
-----------------------------------	---

2.1.1.5 Kimyasal katkıların etkisi	9
------------------------------------	---

2.1.1.6 Karışım ve ortam sıcaklığının etkisi	12
----------------------------------------------	----

2.1.2 Betonda segregasyon oluşması ve sebepleri	13
-------------------------------------------------	----

2.1.3 Betonun terlemesi	16
-------------------------	----

2.2 Taze Betonda Reolojik Özellikler	18
--------------------------------------	----

2.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar	20
-------------------------------------	----

2.3.1 Kendiliğinden yerleşen betonun taze haldeki reolojik özellikleri	22
------------------------------------------------------------------------	----

2.3.1.1 Reolojik ölçümler	22
---------------------------	----

2.3.2 Kendiliğinden yerleşen betonun oluşum biçimi	23
----------------------------------------------------	----

2.3.3 Kendiliğinden yerleşen betonun taze haldeki özellikleri	25
---------------------------------------------------------------	----

2.3.3.1 Doldurma yeteneği	25
---------------------------	----

2.3.3.2 Ayrışmaya karşı direnç	25
--------------------------------	----

2.3.3.3 Geçiş yeteneği	27
------------------------	----

2.3.4 Tasarım kriterleri	27
--------------------------	----

2.3.5 Kendiliğinden yerleşen betonların mekanizması	29
-----------------------------------------------------	----

2.3.6 Kendiliğinden yerleşen betonlarda performans	32
----------------------------------------------------	----

2.3.6.1 Sıkıştırma derecesi ve numuneler	32
------------------------------------------	----

2.3.6.2 Kendiliğinden yerleşen betonda basınç dayanımı	33
--------------------------------------------------------	----

2.3.6.3 Geçirimsizlik özelliği	33
2.3.7 Kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılan deney yöntemleri	34
2.3.7.1 Çökme-yayılma deneyi	34
2.3.7.2 Orimet testi	35
2.3.7.3 V-hunisi deneyi	36
2.3.7.4 L-kutusu deneyi	37
2.3.7.5 U-kutusu deneyi	38
2.3.7.6 J-Halkası deneyi	39
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	41
3.1.1 Çimento	41
3.1.2 Karma Suyu	42
3.1.3 Katkı maddeleri	43
3.1.3.1 Akışkanlaştırıcı katkı maddesi	43
3.1.3.2 Akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların teknik özellikleri	44
3.1.4 Agregalar	45
3.2 Beton Karışımı	46
3.3 Üretimde İzlenen Sıra	47
3.4 Numune Boyutları ve Şekilleri	47
3.5 Numune Kodları	49
4. DENEY SONUÇLARI	50
4.1 Laboratuvar Taze Beton Deney Sonuçları	50
4.1.1 Serbest yayılma deneyi	50
4.1.2 T 50 süresi tayini	51
4.1.3 U kutusu deneyi	51
4.1.4 Birim ağırlık deneyi	52
4.1.5 Hava miktarının ölçülmesi	53
4.2 Laboratuvar Sertleşmiş Beton Deneyleri	53
4.2.1 Silindir basınç deneyi	53
4.2.2 Disk yarma – çekme deneyi	54
4.3 Şantiyede Yapılan Deneyler	54
4.4 ImageJ Programı İle Yüzey Görüntü Analizi	56
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	60
5.1 Sertleşmiş Beton Deneyleri	60
5.1.1 Basınç dayanımına katkı dozajı ve sıcaklık etkisi	60
5.1.2 Yarma – çekme dayanımı agrega yüzey alanı karşılaştırması	62

5.2 Laboratuvarda Yapılan Taze Beton DeneYlerinin Değerlendirilmesi	66
5.2.1 Taze beton sıcaklığı ve katkı miktarı - yayılma çapı ilişkisi	66
5.2.2 Karışım sıcaklığı – katkı oranı ile hava miktarı ve doldurma yeteneği ilişkisi	69
5.3 şantiyede Taze Beton DeneYlerinin Değerlendirilmesi	71
5.3.1 Karışım ve taşıma sũresinin yayılma çapına ve sũresine etkisi	71
5.3.2 Karışım ve taşıma sũresinin hava miktarına etkisi	72
5.3.3 Karışım ve taşıma sũresinin doldurma yeteneğine etkisi	73
5.4 şantiyeden Alınan Karot Silindir Numunelerin Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi	73
5.5 ImageJ Programı İle Yũzey Gũrũntũ Analizinin Değerlendirmesi	74
5.5.1 Laboratuvar numunelerinin incelenmesi	74
5.5.2 şantiye numunelerinin incelenmesi	78
6. GENEL SONUÇLAR	80
KAYNAKLAR	83
EKLER	86
ŐZGEMİř	92

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	CEM III B çimentosunun fiziksel özellikleri	41
Tablo 3.2	CEM III B çimentosunun kimyasal özellikleri	41
Tablo 3.3	CEM III B çimentosunun basınç dayanımı	42
Tablo 3.4	Agregaların fiziksel özellikleri.....	45
Tablo 3.5	Agregaların tane boyutu dağılımı.....	46
Tablo 3.6	Beton karışım dizaynı.....	47
Tablo 3.7	Laboratuvar numune kodları ve açıklaması	49
Tablo 3.8	Şantiye numune kodları ve açıklaması.....	49
Tablo 4.1	Serbest yayılma deneyi sonuçları.....	51
Tablo 4.2	T ₅₀ deneyi sonuçları.....	51
Tablo 4.3	U kutusu deney sonuçları.....	52
Tablo 4.4	Birim ağırlık deneyi sonuçları.....	52
Tablo 4.5	Taze beton hava miktarı sonuçları.....	53
Tablo 4.6	Silindir basınç deneyi sonuçları.....	54
Tablo 4.7	Disk yarma – çekme deneyi sonuçları.....	54
Tablo 4.8	AP1 taze beton deney sonuçları.....	55
Tablo 4.9	AP2 taze beton deney sonuçları.....	55
Tablo 4.10	AP1 karot silindir basınç dayanımı sonuçları.....	55
Tablo 4.11	AP2 karot silindir basınç dayanımı sonuçları.....	56

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Beton mikserinde taze beton görünüşü.....	5
Şekil 2.2 : Kimyasal katkılarda elektriksel etkinin şematik olarak gösterilmesi.....	11
Şekil 2.3 : Kimyasal katkılarda sterik etkinin şematik olarak gösterilmesi...	12
Şekil 2.4 : Farklı su/çimento oranlarında segregasyonun gözlenmesi.....	14
Şekil 2.5 : Terleme sırasında beton suyunun ayrışması ve birikmesi.....	17
Şekil 2.6 : Newton sıvısının viskoz akışı.....	19
Şekil 2.7 : Bingham sıvısında kayma gerilmesi-kayma hızı (oranı) ilişkisi.....	20
Şekil 2.8 : Kendiliğinden yerleşen betonun reolojik özellikleri.....	24
Şekil 2.9 : KYB bileşim özelliklerinin şematik gösterimi.....	28
Şekil 2.10 : KYB üretmek için izlenen yol.....	30
Şekil 2.11 : Kendinden yerleşebilirliğin meydana gelmesindeki mekanizma.....	30
Şekil 2.12 : Farklı betonda iri ve ince agregaların sıkışma dereceleri.....	31
Şekil 2.13 : KYB ile diğer betonların bileşenlerinin karşılaştırılması.....	31
Şekil 2.14 : KYB’ da su/çimento- geçirimsizlik özelliği ilişkisi.....	34
Şekil 2.15 : Çökme-yayılma testi deney düzeneği.....	35
Şekil 2.16 : Orimet testi deney düzeneği.....	36
Şekil 2.17 : V hunisi deney düzeneği.....	37
Şekil 2.18 : L kutusu deney düzeneği.....	38
Şekil 2.19 : U kutusu deney düzeneği.....	39
Şekil 2.20 : J Halkası deney düzeneği.....	40
Şekil 3.1 : Beton agregası karışımının granülometrisi ve referans eğrileri.....	46
Şekil 3.2 : Numune şekli ve boyutları.....	48
Şekil 3.3 : Şantiye betonunun ön yüzünden karot alınma biçimi.....	48
Şekil 3.4 : Şantiye betonunun arka yüzünden karot alınma biçimi.....	49
Şekil 4.1 : Serbest yayılma deneyi ölçümü.....	50
Şekil 4.2 : Görüntü analizi için silindirik numune kesiti.....	56
Şekil 4.3 : ImageJ programı ile yüzey analizinin yapılması.....	58
Şekil 4.4 : S15_K1,00 kodlu numunenin üst ve alt yüzeyi için agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı.....	58
Şekil 4.5 : S20_K1,10 kodlu numunenin üst ve alt yüzeyi için agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı.....	59
Şekil 5.1 : S15 kodlu numunelerin basınç mukavemetlerinin değişimi.....	60
Şekil 5.2 : S20 kodlu numunelerin basınç mukavemetlerinin değişimi.....	61
Şekil 5.3 : S30 kodlu numunelerin basınç mukavemetlerinin değişimi.....	61
Şekil 5.4 : Beton sıcaklığının basınç dayanımına etkisi.....	62
Şekil 5.5 : S15 kodlu numunelerin yarma – çekme mukavemetlerinin değişimi.....	63
Şekil 5.6 : S15 kodlu numunelerin alt-üst kesit yüzey alanı değişimi.....	63

Şekil 5.7	: S20 Kodlu numunelerin yarma – çekme mukavemetlerinin değişimi.....	64
Şekil 5.8	: S20 kodlu numunelerin alt-üst kesit yüzey alanı değişimi.....	65
Şekil 5.9	: S30 kodlu numunelerin yarma – çekme mukavemetlerinin değişimi.....	65
Şekil 5.10	: S30 kodlu numunelerin alt-üst kesit yüzey alanı değişimi.....	66
Şekil 5.11	: 15°C’de betonda katkı oranı T ₅₀ süresi ilişkisi.....	67
Şekil 5.12	: 20°C’de betonda katkı oranı T ₅₀ süresi ilişkisi.....	67
Şekil 5.13	: 30°C’de betonda katkı oranı T ₅₀ süresi ilişkisi.....	68
Şekil 5.14	: Beton sıcaklığı - yayılma çapı ilişkisi.....	68
Şekil 5.15	: Farklı sıcaklıklarda katkı oranı-yayılma çapı ilişkisi.....	69
Şekil 5.16	: Farklı sıcaklıklarda katkı oranı-hava miktarı ilişkisi.....	70
Şekil 5.17	: Farklı sıcaklıklarda katkı oranı-doldurma yeteneği ilişkisi.....	70
Şekil 5.18	: Karışım ve taşıma süresinin yayılma çapına etkisi.....	71
Şekil 5.19	: Karışım ve taşıma süresinin T ₅₀ süresine etkisi.....	72
Şekil 5.20	: Karışım ve taşıma süresinin hava miktarına etkisi.....	72
Şekil 5.21	: Karışım ve taşıma süresinin doldurma yeteneğine etkisi.....	73
Şekil 5.22	: Karot silindir numunelerin basınç dayanımları.....	74
Şekil 5.23	: S15 kodlu numunelerin farklı katkı oranları için üst kesitteki agregalar arası mesafe adet yüzdesi.....	74
Şekil 5.24	: S15 kodlu numunelerin farklı katkı oranları için alt kesitteki agregalar arası mesafe adet yüzdesi.....	75
Şekil 5.25	: S20 kodlu numunelerin farklı katkı oranları için üst kesitteki agregalar arası mesafe adet yüzdesi.....	76
Şekil 5.26	: S20 kodlu numunelerin farklı katkı oranları için alt kesitteki agregalar arası mesafe adet yüzdesi.....	76
Şekil 5.27	: S30 kodlu numunelerin farklı katkı oranları için üst kesitteki agregalar arası mesafe adet yüzdesi.....	77
Şekil 5.28	: S30 kodlu numunelerin farklı katkı oranları için alt kesitteki agregalar arası mesafe adet yüzdesi.....	78
Şekil 5.29	: AP1 kodlu numunelerin üst orta ve alt kesitteki agregalar arası mesafe adet yüzdesi.....	78
Şekil 5.30	: AP2 kodlu numunelerin üst orta ve alt kesitteki agregalar arası mesafe adet yüzdesi.....	79
Şekil A.1	: 15C° de katkı oranı - yayılma çapı ilişkisi.....	87
Şekil A.2	: 20C° de katkı oranı - yayılma çapı ilişkisi.....	87
Şekil A.3	: 30C° de katkı oranı - yayılma çapı ilişkisi.....	87
Şekil B.1	: S15_K1,00 kodlu numunenin üst ve alt yüzeyi için agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı.....	88
Şekil B.2	: S15_K1,05 kodlu numunenin üst ve alt yüzeyi için agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı.....	88
Şekil B.3	: S15_K1,10 kodlu numunenin üst ve alt yüzeyi için agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı.....	89
Şekil B.4	: S20_K0,90 kodlu numunenin üst ve alt yüzeyi için agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı.....	89
Şekil B.5	: S30_K0,95 kodlu numunenin üst ve alt yüzeyi için agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı.....	90

	<u>Sayfa No</u>
Şekil B.6 : S30_K1,00 kodlu numunenin üst ve alt yüzeyi için agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı.....	90
Şekil B.7 : S30_K1,10 kodlu numunenin üst ve alt yüzeyi için agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı.....	91

KATKI DOZAJI VE TAZE BETON SICAKLIĞININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) önemli ölçüde akışkanlık özelliği ve kendi ağırlığı ile yerleşme yeteneği olan yüksek dayanımlı betondur. Sıkıştırma ve yerleştirme için vibrasyon gerektirmeyen yenilikçi bir betondur. Akışkanlığı ve ayrışma dayanımı, yüksek seviyede homojenlik, minimum beton boşlukları ve üniform beton dayanımını garanti eder ve yapı için daha üstün seviyede dayanıklılık ve bitirme potansiyeli sağlar. (KYB) genellikle potansiyel olarak erken yaşta yüksek dayanım sağlar. Düşük su-çimento oranı ile üretilmesi erken yaşta kalıptan alma ve yapıların veya elemanların daha hızlı kullanımına imkan sağlamaktadır.

(KYB), terleme ve segregasyonun en az yaşandığı, kalıba kolaylıkla yerleşebilen işlenebilirliği yüksek ve homojen yapıya sahip betondur.

(KYB) geleneksel betonlarla karşılaştırıldığında birçok avantaj göstermektedir. Akıcı olması, minimum işçilik gerektirmesi, ekonomik olması, hızlı uygulanması, gürültü kirliliğine engel olup sık donatı arasında ayrışma oluşmadan kalıp içerisini kolaylıkla doldurabilmesi, vibrasyona gerek duymadan her türlü kalıba kendi ağırlığı ile yerleşebilmesi ile geleneksel betonlara göre daha yüksek performans elde edilir.

(KYB) üretiminde çoğunlukla yeni kuşak kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Dağıtma gücü yüksek olan kimyasal katkıların beton içerisinde belirli oranlarda kullanılması esastır. Diğer taraftan kimyasal katkıların etkisi hidrasyonun hızlanması sebebiyle yüksek sıcaklıkta daha fazladır. Kimyasal katkı içeriği ve taze beton sıcaklığı en uygun seviyede kullanılmadığı takdirde, karşı olarak taze ve sertleşmiş beton özellikleri etkilenecektir.

Bu çalışma kapsamında, katkı dozajının ve taze beton sıcaklığının kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisi incelenmiştir. Laboratuvar ortamında, sıcaklığın etkisini araştırmak için üç farklı sıcaklıkta (15°C, 20°C ve 30°C) ve farklı katkı dozajlarında beton üretilmiştir. Bunlar, çimento ağırlığına göre %1, %1.05, %1.10 oranlarında 15°C beton, %0.90, %1.00, %1.10 oranlarında 20°C beton ve %0.95, %1.0, %1.10 oranlarında 30°C betondur. Taze ve sertleşmiş beton özellikleri 9 farklı karışım üzerinde incelenmiştir. Bununla birlikte beton numunelerden alınan kesitlerdeki iri agrega dağılımı, agregalar arası mesafeler hesaplanmış, taze ve sertleşmiş beton özellikleriyle ilişkisi incelenmiştir. Ayrıca şantiyede 1x1x1m³ kalıba beton numune alınmıştır. Bu numunedan alınan karot ile agrega dağılımları incelenmiştir. Şantiyeden alınan örneklerle iki farklı karışım süresinin ve taşıma süresinin(65 ve 95 dakika) KYB özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonunda, yüksek performans elde edebilmek için, beton en uygun katkı dozajıyla üretilmelidir. Beton sıcaklığı katkının akışkanlaştırıcı etkisini katkı dozajına bağlı olarak etkilemektedir.

EFFECT OF CHEMICAL ADMIXTURE CONTENT AND FRESH CONCRETE TEMPERATURE ON SELF-COMPACTING CONCRETE PROPERTIES

SUMMARY

Self Compacting Concrete (SCC) is a high performance concrete, which has outstanding flow and compaction properties. It is one of the most innovative building materials that has been applied recent years since it eliminates the need for compaction and vibration.

Flow ability and segregation resistance provide a homogeneous and compact microstructure and uniform compressive strength for concrete. SCC usually exhibits a high compressive strength at early ages. SCC is generated by using a low water/cement ratio, which enables early age demoulding and use of structure. SCC exhibits minimum level bleeding and segregation, high range workability and a homogenous microstructure.

Self compacting concrete offers many advantages in comparison with conventional concrete. Ability to flow, reduced workmanship, economy, fast construction, prevention of noise pollution, filling the formwork completely and passing through the reinforcement without segregation and ability to flow under its own weight. Higher performance is demanded from SCC in the fresh state than of the traditional vibrated concrete.

New generation chemical admixtures are preferred to generate SCC. These admixtures can disperse particles better and are used in concrete at an optimum content. On the other hand, effectiveness of these admixtures highly depends on the temperature of the fresh concrete, due to the kinetics of cement hydration. When chemical admixture content and the temperature of the fresh concrete are not at optimum levels, fresh and hardened concrete properties will be adversely affected.

In this study, effect of chemical admixture content and concrete temperature on self compacting concrete properties are investigated. Self compacting concrete is cast in different temperatures (15°C, 20°C and 30°C) in laboratory. Moreover, mixture has different chemical admixture dosages under different concrete temperatures. These are for %1, %1.05, %1.10 for 15°C, %0.90, %1.00, %1.10 for 20°C and %0.95, %1.00, %1.10 for 30°C. Fresh concrete and hardened concrete properties relations are investigated with nine SCC specimens. Moreover, cylinder specimens are cut and aggregate distribution and the distance between aggregates are calculated. Besides, 1 m³ trial casting performed on construction site. At this phase, fresh concrete property tests for 2 different mixing times were performed. Also the transportation times of 65 and 95 minutes were tested.

Experiments have shown that, SCC should be cast with an optimum admixture dosage to obtain the desired performance and the concrete temperature affects the effectiveness of the admixture, depending on the dosage.

1.GİRİŞ

Yüksek performanslı beton sınıfına giren kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) işlenebilirlik özellikleri, dayanım ve dayanıklılık özellikleri açısından normal betonlara göre daha üstün özelliklere sahiptir. Akıcı kıvam, yüksek kohezyon, kolay işlenebilme özelliği, ayrışmadan kararlılığını koruyabilme yeteneği, kendiliğinden yerleşmesi, kolay pompalanması, kıvam kaybına uğramadan yeterli yerleştirme süresine sahip olması ve vibrasyona gerek duymadan her türlü kalıba yerleşebilmesi KYB' yi geleneksel betonlardan üstün kılar.

KYB, terleme ve segregasyonun en az yaşandığı, kalıba kolaylıkla yerleşebilen işlenebilirliği yüksek ve homojen yapıya sahip betondur.

Geleneksel beton dökümünde vibrasyon, betonu kalıba boşluksuz olarak yerleştirmek ve sıkıştırmak için uygulanır. Vibrasyon, betonu kalıbın her tarafına yayarak donatıları devamlı bir şekilde kaplamasını sağlar, hava boşluklarını dışarıya çıkartarak kompasiteyi artırır. Dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde etmek için vibrasyon gereklidir. Vibrasyon uygulanmamış betonların basınç dayanımı, vibrasyon uygulanmış betonlara göre % 30 oranında düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yeterli vibrasyon yapılmayan beton elemanların yüzeyi düzgün olmaz. Özellikle binaların depreme karşı güçlendirilmesi için yapılan güçlendirme projelerinde tüm bu etkenlere dar beton kesitleri ve sık donatı eklenince, vibrasyon uygulaması daha da zor, bazen de imkânsız hale gelir. Oysa KYB, kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri ortadan kaldırarak, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması, şehir merkezlerinde gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar. KYB' ların kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Güçlendirme projelerinde,
- Sık donatılı elemanlarda,
- Estetik kalıp tasarımlarında,

- Zor ve ulaşılmaz kalıplarda,
- Vibratör kullanımının imkânsız olduğu yerlerde

KYB' de akışkanlığı yüksek olan yeni kuşak kimyasal katkılar kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı ayrışma oluşmaması için karışım içinde ince malzeme miktarı yüksek tutulur. Betonda, kullanılacak katkı miktarının gereğinden fazla olması ayrışmaya sebep olacağından en uygun katkı oranı belirlenmelidir. Ayrıca karışım sıcaklığı ve ortam sıcaklığı betonun performansını önemli ölçüde etkiler. Bu çalışmada katkı dozajının ve taze beton sıcaklığının KYB özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu sebeple, farklı sıcaklıklarda farklı miktarlarda katkı kullanarak beton üretilmiştir. Taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER

Beton kum, çakıl veya kırma taş ve çimento ile suyun gerektiğinde bazı katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşp, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir. Burada kum, iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompasitesini artırır. Çakıl veya kırmataş taneleri betonun bir nevi iskeletini oluşturur. Çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Ekonomik olması, şekil verilebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı ile günümüzün en yaygın kullanılan taşıyıcı yapı malzemesi betondur [1,2].

Beton agregaları, minerallerden oluşmuş taneli malzemelerdir. Kum, çakıl ve kırma taş, normal ağırlıklı beton yapımında en çok kullanılan agrega cinsleridir. Türk standartlarının tanımlamasına göre, elendiğinde 4,0 mm kare göz açıklıklı elekten geçebilen boyutlardaki agregaya ince agrega ve bu elek üzerinde kalan agregaya, iri agrega denilmektedir.

Çimento, bağlayıcı özelliğe sahip bir malzemedir. Çimentonun sağlayabileceği bağlayıcılık özelliği, su ile karılması sonucunda kazanılmaktadır. Çimento ve suyun karılmasıyla elde edilen karışıma çimento hamuru denilmektedir. Çimentolar su ile reaksiyon sonucu hem havada hem de su altında katılaştıkları için hidrolik bağlayıcılar olarak sınıflandırılır. Çimento ile su arasındaki kimyasal reaksiyona hidratasyon denir [3].

Çimento hamurunun işlevi, beton içerisinde agrega tanelerinin yüzeylerini sararak, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmak ve agrega tanelerini bir arada tutacak şekilde bağlayıcılık sağlamaktır. O bakımdan, beton, “çimento hamurundan ve agregalardan oluşan kompozit bir malzeme” olarak da tanımlanabilmektedir [1].

Betonlar birim ağırlıklarına göre üç ana gruba ayrılırlar;

- a) Normal Beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2000 kg/m^3 'ten büyük, 2600 kg/m^3 'ten küçük olan betonlardır.

- b) Hafif Beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 800 kg/m³ 'ten büyük, 2000 kg/m³ 'ten küçük olan betonlardır.
- c) Ağır Beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2600 kg/m³ 'ten daha büyük olan betonlardır.

Betonlar basınç dayanımlarına göre de üç ana gruba ayrılırlar;

1. Düşük dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 20 N/mm² 'den az olan betonlardır.
2. Normal dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 20–40 N/mm² arası olan betonlardır.
3. Yüksek dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 40 N/mm² 'den fazla olan betonlardır [3].

2.1 Taze Betonun Fiziksel Özellikleri

Betonun karılmasıyla elde edilen plastik durumun, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar nedeniyle giderek azalıp, katılaşmanın başladığı ana kadarki haline taze beton denilmektedir. Betonun katılaşma olayından sonraki haline, sertleşmiş beton denilmektedir Şekil 2.1' de taze beton örneği görülmektedir [1].

Taze beton, kolayca karılabilir, taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır; bu işlemler sırasında iri agregalarla çimento harcı arasında segregasyon olmamalıdır.

Yerine yerleştirilen taze betonun içerisindeki suyun yukarıya çıkma eğilimi(terleme) mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Betonun homojen yapısı bozulmamalıdır. Ayrıca, malzemelerin karılmasından hemen sonra plastik duruma sahip bir betonda, priz süresi gerekenden daha uzun veya daha kısa olmamalıdır [1].

Çimentonun, suyun, agreganın ve gerektiğinde katkı maddelerinin birlikte karılması sonucunda elde edilen beton karışımı, şekil verilebilir, yumuşak bir karışımdır. Ancak, çimento ve suyun birleştiği anda başlayan hidrasyon devam ettikçe, çimento hamuru ve beton giderek daha katı bir durum almakta ve bir süre sonra şekil verilemez olmaktadır.



Şekil 2.1: Beton Mikserinde Taze Beton Görünüşü

Sertleşmiş durumdaki betondan istenilen büyüklükteki dayanımın, dayanıklılığın ve hacim sabitliğinin elde edilebilmesi için, taze betonun aşağıda sıralanan özellikleri göstermesi gerekmektedir.

- Beton içerisindeki malzemeler, homojen olarak dağılmalı ve beton kolayca karılabilir olmalıdır.
- Taze beton, kolayca taşınabilir olmalıdır.
- Homojenliği bozulmadan, kalıp içerisine kolayca yerleştirilebilir olmalıdır.
- Homojenliği bozulmadan, kolayca sıkıştırılabilir olmalıdır.
- Taze betonun içerisinde bulunan su, hidrasyonun devam edebilmesi için, mümkün olabildiği kadar betonun içerisinde kalmalıdır. Taze beton, mümkün olduğu kadar az terleme göstermelidir.
- Taze betonun yüzeyi kolayca düzeltilebilir olmalıdır.
- Taze betonun priz süresi, betonun kullanılacağı ortama uygun uzunlukta olmalıdır.

2.1.1 Taze betonda işlenebilirlik ve işlenebilirliği etkileyen faktörler

Taze betonun kolayca karılabilmesi, segregasyon yapmadan taşınabilmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilebilmesi, işlenebilirliği ifade eder. İşlenebilme, taze betonun en önemli özelliğidir. İşlenebilirliği yüksek olan beton minimum enerjiyle karıştırılabilir ve kalıba yerleştirilebilir [4].

İşlenebilme özelliği, betonun yapısından kaynaklanan şu özellikler ile ilgilidir:

- Taze beton kütleinde akma başlatacak kuvvete karşı betonun göstereceği direnç (kayma dayanımı),
- Akma başladıktan sonraki hareketlilik (akıcılık),
- Betonun oluşturan malzemelerin birbirine ne ölçüde bağlanmış olduğu, böylece, segregasyona karşı göstereceği direnç
- Yerleştirilmeyi ve yüzeyinin düzeltilmesini etkileyen yapışkanlık

Beton karışımının sahip olduğu ıslaklık, taze betonun taşınabilirliği, pompalanabilirliği, yerleştirilebilirliği, segregasyonu, sıkıştırılabilirliği ve yüzeyinin düzeltililebilirliği gibi kavramların tümü, betonun işlenebilme özelliği içerisinde yer alan kavramlardır.

Kıvam, taze beton karışımının ıslaklık derecesi anlamına gelmektedir. Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte, daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak, beton kıvamının çok yüksek olması, beton işlenebilirliğinin yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Çünkü aşırı derecede sulu bir beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde betondaki çimento harcı ile iri agregalar kolayca segregasyon gösterebilmektedir. Kıvamlarına göre taze betonlar, kuru, plastik ve akıcı olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmada betondaki su miktarı önemli ölçüde rol almaktadır [4].

2.1.1.1 Çimento özelliği ve miktarının etkisi

Beton yapımında kullanılan çimento miktarının çok az veya çok fazla olmasının, betonun işlenebilmesine olumsuz etkileri olmaktadır. Çimento miktarı çok az olduğu takdirde, betonun karılabilmesi, segregasyon yapmadan yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin istenilen düzgünlükte düzeltililebilmesi kolay olmamaktadır. Çimento miktarı çok fazla kullanıldığı takdirde, betonda karılabilme, yerleştirilebilme ve sıkıştırılabilme işlemleri daha rahat yapılabilmeyle beraber, bu tür betonlar çok yapışkan olmakta, betonun yüzeyinin mala ile düzeltililebilmesi daha zor olmaktadır.

Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin miktarları ve çimentonun ne incelikte öğütülmüş olduğu, eldeki çimento tipinin belirlenmesinde önemli faktörlerdir. Bu

faktörler çimentonun su ile birleşmesi halinde ne kadar hızlı reaksiyon yapabildiğini ve ne kadar kısa sürede bağlayıcılık kazanarak, katılaşmaya başladığını etkileyen faktörlerdir. İnceliği yüksek olan bir çimento ile yapılan betonlar daha çabuk kohezyon gösterebilmektedir. İnceliği yüksek olan çimento içeren betonlar daha kısa sürede katılaşmaktadır [1].

2.1.1.2 Su miktarının etkisi

Beton yapımında kullanılan su miktarı arttıkça, beton daha yüksek kıvama sahip olmaktadır. Genel olarak, beton kıvamının yüksek olması, işlenebilmeyi olumlu yönde etkilemektedir. Ancak, çok düşük veya çok yüksek miktarlarda suya sahip betonlarda istenilen işlenebilme sağlanamamaktadır.

Çok düşük kıvamlı betonların yerleştirilebilmesi ve sıkıştırılabilmesi daha güç olmaktadır. Bu tür betonların yerleştirilmesi işleminde, beton yığının üst yüzeyindeki iri agregalar yığından kolayca ayrılarak alt kısımlara yuvarlanmakta, segregasyon olmaktadır. Ayrıca çok düşük kıvamlı betonların, yerine yerleştirme işleminden sonra, yüzeylerinin istenilen düzgünlükte düzeltilebilmesi zor olmaktadır.

Öte yandan, çok yüksek kıvamlı betonlar kolayca segregasyon yapabilmektedir. Betonda kullanılan su miktarının çok yüksek olması halinde, elde edilen beton yüzeyi peteklenme göstermekte, yani sertleşmiş beton yüzeyi istenmeyen büyüklükte gözeneklere sahip olmaktadır. Buna ek olarak, çok yüksek kıvamlı betonlarda terleme hızı ve miktarı daha yüksek olmaktadır.

2.1.1.3 Agregası miktarı, şekli ve gradasyonunun etkisi

Sabit bir su/çimento oranı kullanılarak elde edilen beton karışımlarda, agrega/çimento oranı yükseldikçe, beton daha az işlenebilir olmaktadır.

Beton yapımında kullanılan ince agrega (kum) miktarının ve ince agreganın ne kadar incelikteki tanelerden oluşmuş olmasının betonun işlenebilirliği üzerinde çok önemli etkileri bulunmaktadır. Sabit bir çökme değeri elde edebilmek için, ince agrega miktarı fazla olan beton karışımlar daha çok karma suyuna ihtiyaç göstermektedir.. Kum tanelerinin inceliği azaldıkça yüzeylerini ıslatacak su miktarına ihtiyaç da azalmaktadır. Öte yandan çok iri kum kullanıldığı takdirde, beton yüzeyinin istenilen düzgünlükte düzeltilebilmesi zor olmaktadır.

Betonda kullanılan su/çimento oranı sabit tutulduğu takdirde, yassı veya uzun şekilli tanelerinin oranı yüksek olan agregalarla yapılan betonların kıvamı ile işlenebilmesi daha düşük olmaktadır. İstenilen sabit bir çökme değerini elde edebilmek amacıyla yassı veya uzun tanelere sahip agregalarla yapılan betonlar, yuvarlak agregalarla yapılan betonlara göre daha çok suya ihtiyaç göstermektedir.

Betonda kullanılan su/çimento oranı sabit tutulduğu takdirde, kırma taş veya kırma kum gibi köşeli agregalarla yapılan betonlar, dere malzemesi gibi yuvarlak ve yüzeyi pürüzsüz agregalarla yapılan betonlara göre daha az kıvamlı ve daha az işlenebilir olmaktadır.

Beton yapımında kullanılan agrega tanelerinin büyüklüklerine göre gösterdikleri tane dağılımı oranı (gradasyon) beton yapımında kullanılacak su miktarını ve buna bağlı olarak işlenebilmeyi önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca agrega gradasyonunun beton karışımında yer alacak malzeme oranları üzerinde de önemli etkisi bulunmaktadır.

Beton yapımında kullanılan agreganın en büyük tane boyutunun, betonun su ihtiyacı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Beton yapımında, istenilen gradasyona uygun olmak koşuluyla, mümkün olan en büyük agrega tane boyutuna sahip agrega kullanıldığı takdirde, agrega tanelerinin yüzeyini ıslatacak ve işlenebilmeyi etkileyebilecek karma suyu ihtiyacı daha az olmaktadır. Bir başka deyişle, beton yapımında kullanılan karma suyu miktarı sabit tutulduğu takdirde, en büyük agrega tane boyutu daha büyük olan uygun gradasyondaki agregaların kullanılmasıyla, betonun kıvamında artma görülmekte ve böylece işlenebilme etkilenmektedir [1].

2.1.1.4 Mineral katkıların etkisi

Çimento su ile karıştırıldığında kalsiyum silikatlar bağlayıcı özellikteki kalsiyum silikat hidrat, C-S-H, jelini oluştururlar ve bir miktar kireç hidrat, CH açığa çıkar. C₃S erken dayanıma ve hidratasyon ısısına daha fazla katkıda bulunur. Daha fazla kireç açığa çıkar. Kalsiyum alüminatlar da jel meydana getirirler. C₃A hidratasyon ısısını artırır, sülfatlara karşı direnci azaltır. Bağlayıcı özellikteki C-S-H jelleri ile kalsiyum alüminat jelleri hamurun yarısından fazlasını oluşturmakta, kireç hidrat CH açığa çıkmakta ve gözenekler oluşmaktadır. CH ve gözenekler dayanım ve dayanıklılığı olumsuz etkiler. Mineral katkıları CH'ı zamanla bağlayarak yeni C-S-H

jeline dönüştürecek ve gözenekleri tıkayacaktır. Dolayısıyla zamana bağlı dayanım ve dayanıklılık artacaktır [5].

Betonun değişik özelliklerini ve ekonomisini olumlu yönde etkileyebilmek amacıyla çoğu zaman uçucu kül ve silis dumanı gibi doğal olarak ince taneli durumda olan veya granüle yüksek fırın cürufu ve doğal puzolan gibi öğütülerek ince taneli duruma getirilmiş mineral katkı maddeleri kullanılmaktadır.

İnce taneli mineral katkı maddelerinin kullanılması, sabit bir çökme değeri için, betonda kullanılacak karma suyu ihtiyacını az miktarda arttırmaktadır [1].

Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi mineral bağlayıcı katkıların beton üretiminde kullanılması, mekanik dayanım, işlenebilme, dayanıklılık gibi betondan beklenen temel özellikleri geliştirebilmektedirler. Bu katkılar puzolan özelliğe sahip olduklarından dayanım üzerine olumlu etkileri vardır. İşlenebilmeye etkileri ise inceliklerine ve tane geometrilerine bağlıdır.

Betona uçucu kül katılması, çökmeyi azaltır ve vebe zamanını kısaltır. Silis dumanı ise, çökmeyi artırır ve vebe zamanını kısaltır. Çökme deneyi viskozite ile vebe deneyi akma sınırı ile ilişkilidir. Brown' a göre uçucu kül kullanılması, akma sınırını düşürerek olumlu etki yaparken, viskoziteyi azaltır [6].

Mineral katkı miktarı arttıkça yayılma değerindeki azalma, uçucu küle göre silis dumanında daha fazla olur.

Yüksek fırın cürufu (YFC) genellikle portland çimentosu klinkerine ilave edilerek katkılı cüruf çimentoları üretilmesi ve betonda bu tip çimentoların kullanılması yolu ile beton bileşimine girmektedir [6].

2.1.1.5 Kimyasal katkıların etkisi

Katkı maddeleri genel anlamda harç ve betonun taze ya da sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren, betonun diğer ana bileşenlerine oranla çok az miktarda kullanılan kimyasallar olarak tanımlanabilir. Kullanım amaçlarına göre sınıflandırıldığında, taze beton veya harcın reolojisini değiştiren, prizi ve sertleşmeyi etkileyen, hava içeriğini değiştiren, fiziksel, mekanik ve kimyasal etkilere karşı direnci arttıran katkılar şeklinde çeşitli sınıflandırmalar yapmak mümkün olmaktadır. Akışkanlaştırıcı katkılar taze beton ya da harcın işlenebilirliğini değiştirerek reolojik özelliklerini etkileyen, su/çimento oranını düşürerek boşluk ve ayrışma olmaksızın

daha iyi bir yerleşmenin sağlanması ile dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkileyen katkılardır. Etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcılar, orta derecede su azaltıcı akışkanlaştırıcılar ve süper akışkanlaştırıcılar olmak üzere 3 ana grupta toplamak mümkün olmaktadır. Akışkanlaştırıcıların bu etkileri göstermeleri, hava sürüklemeleri, çimento taneleri tarafından absorbe edilmeleri ve prizi geciktirmelerinden kaynaklanmaktadır. Akışkanlaştırıcı kullanılması ile oluşan kapalı hava boşluklarının yüzeysel sürtünme kuvveti bulunmamaktadır. Böylece kararlı olan bu hava boşlukları, betonun içsel sürtünmesini azaltarak daha az su ile benzer işlenebilme yeteneğinin elde edilmesini sağlamaktadır.

Bilindiği gibi çimento taneleri su ile temas ettikten sonra çözünmeye başlayarak ortama Ca^{++} iyonları vermektedir. Tane yüzeyinde Ca^{++} iyonlarının konsantrasyonlarının artması ile polimer esaslı akışkanlaştırıcıların polimer moleküllerinin tane yüzeylerine yapışması gerçekleşmektedir. Böylece tane yüzeylerinin elektrostatik yükleri değişmekte ve (-) yükle yüklenen çimento taneleri birbirlerini itmektir. Betonun iç sürtünmesini azaltan bu unsur işlenebilme özelliğini arttırmaktadır. Priz geciktirici özelliğe sahip olan akışkanlaştırıcılar, bu özelliklerine ek olarak başlangıçtaki hidrasyon reaksiyonları için gerekli su gereksinimini azaltması ile akışkanlığı arttırmaktadır.

Yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılarda dispersiyon etkisinin yanında sterik etki de akışkanlığı arttırmaktadır. Uzun dallar içeren polimer zincirleri sayesinde çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir etki oluşur. Sterik etki adı verilen bu etki sayesinde çimento taneleri dağılarak kararlı hale gelmektedir.

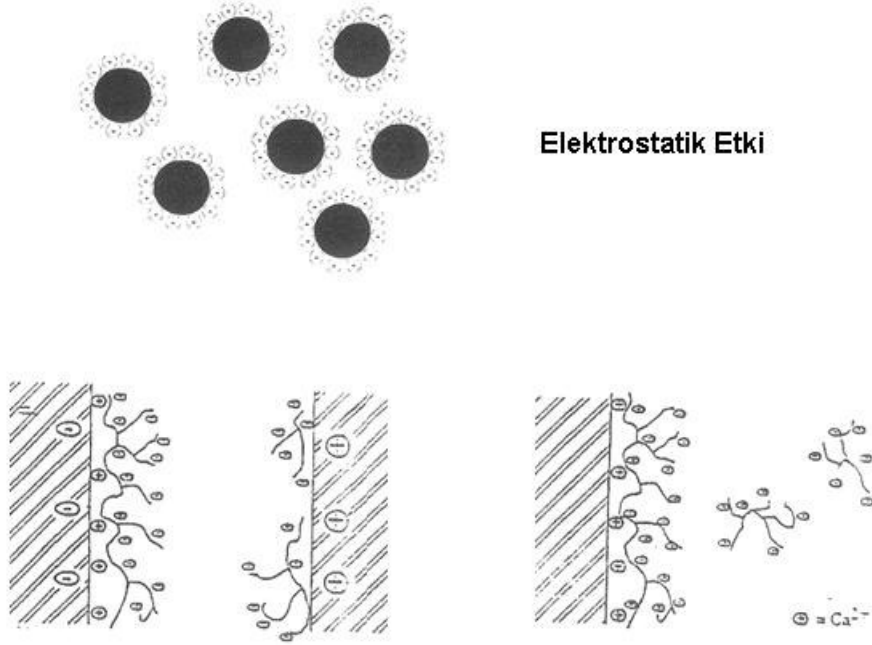
İşlenebilirliği düşürmeden su/çimento oranını ve aynı zamanda kullanılan çimento miktarını azaltan, ayrışma olmaksızın akıcılığı arttırarak ulaşılması en zor yerlere dahi beton dökümüne izin veren akışkanlaştırıcılar, son dönemde yeni kuşak süperakışkanlaştırıcıların da ortaya çıkması ile yüksek performanslı betonların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu betonların akışkanlıkları kendiliğinden yerleşme sağlayacak derecede yüksek olabilmekte ve kendiliğinden yerleşen betonların gelişmesine olanak sağlamaktadır. Kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında süperakışkanlaştırıcıları 3 farklı grupta toplamak mümkün olmaktadır;

- a) Sülfonatlı sentetik polimerler,
- b) Karboksilatlı sentetik polimerler,

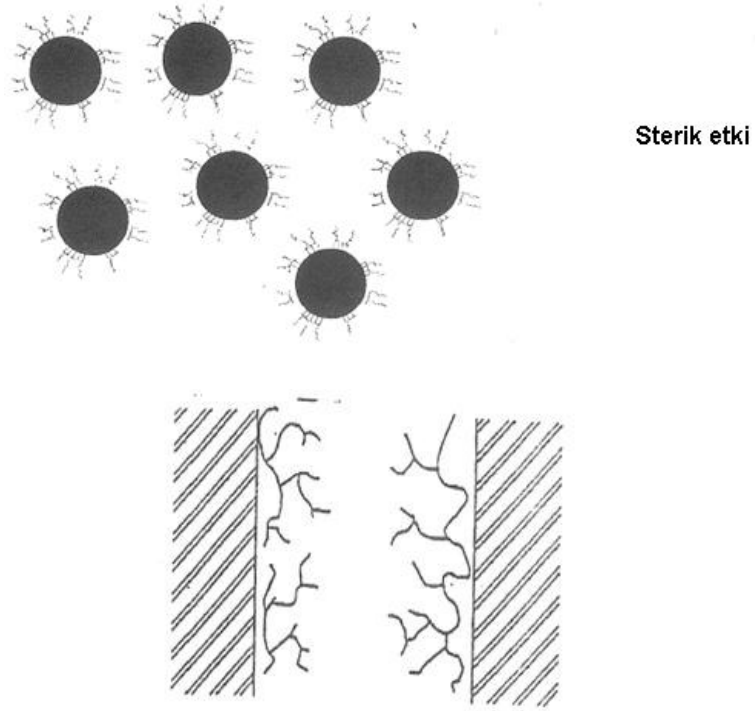
c) Modifiye linyo sülfonatlar.

Sülfonatlı sentetik polimerler sülfonatlı naftalin formaldehit (SNF) ya da sülfonatlı melamin formaldehit (SMF) bileşiklerinden oluşmaktadır ve piyasada da çoğunlukla kullanılan bu malzemeler süperakışkanlaştırıcıların temelini oluşturmaktadır. Karboksilat ya da hidrokarboksilat tuzları olan karboksilatlı sentetik polimerler, poliakrilat ana polimer zincirleri ile tarak şeklinde polieter yan bağları içeren katkılardır. Bu yapıları sayesinde sterik etki de oluşturarak daha yüksek performans elde edilmesini sağlamaktadır. Modifiye edilmiş linyosülfonatlar ise yapılarında farklı anodik ve kutupsal fonksiyon gruplarına sahip olan dispersiyon etkisi ile çalışan katkılardır.

Çimento tanelerini dağıtarak daha etkin bir hidrasyona olanak sağlayan ve sıvı ortamdaki viskoziteyi ve kayma eşğini düşürerek reolojik özellikleri etkileyen bu katkıların etki mekanizmaları Şekil 2.2 ve Şekil 2.3' de görülmektedir [7].



Şekil 2.2: Kimyasal Katkılarda Elektriksel Etkinin Şematik Olarak Gösterilmesi.



Şekil 2.3: Kimyasal Katkılarda Sterik Etkinin Şematik Olarak Gösterilmesi

2.1.1.6 Karışım ve ortam sıcaklığının etkisi

Beton karışımının sıcaklığının artması ve çevredeki sıcak hava koşulları, betonun içerisindeki suyun daha çabuk buharlaşmasına, çimento ile su arasındaki reaksiyonların daha hızlı yer almasına ve hidrasyon ısısının daha büyük bir hızla açığa çıkmasına yol açmaktadır.

Gerek hızlı buharlaşma nedeniyle betonun içerisindeki suyun azalması ve gerekse hidrasyonun daha hızlı yer almış olmasıyla, taze beton, daha katı bir karışım durumuna gelmekte, işlenebilirlik daha kısa sürede kaybolmaktadır. Sabit bir su/çimento oranı kullanarak yapılan betonlarda beton sıcaklığının artması, betonun kıvamında azalmaya neden olmaktadır. İstenilen kıvamı elde edebilmek için daha fazla karma suyuna gerek duyulmaktadır. Daha fazla karma suyu kullanıldığı takdirde taze betonun terlemesi fazlalaşmakta, beton yüzeyinde gelişigüzel çatlakların oluşması kolaylaşmakta ve beton dayanımı azalmaktadır [1].

Taze beton sıcaklığının artması karışımın akışkanlığını azaltarak çökme kaybını arttırmaktadır. Bu durum her zaman geçerli olmayabilir. Sıcaklık artışı süper akışkanlaştırıcı katkının tutunma oranını arttırdığından akışkanlıkta artma

sağlayabilir. Fakat sıcaklığın artışıyla tutunma oranının artmasının tutarlı bir sonuç olmadığı diğer araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [8].

Taze beton sıcaklığının artması betonun performansını olumsuz etkiler. Su ihtiyacını artırır. Çökme kaybını arttıracığı için şantiyede su ihtiyacı eğilimini artırır. Priz süresinin azalmasına sebep olur. İşlenebilirlik, sıkıştırılabilirlik ve sonlama işlemlerinde büyük zorluk çıkarmasına sebep olur. Plastik rötre çatlaklarının artmasına sebep olmaktadır. Hava miktarının kontrolünü zorlaştırır.

Samarai, Popovics ve Malhotra 1975' de beton sıcaklığının artması hızlı priz oluşmasını sağladığını belirttiler. Yüksek sıcaklıkta çimento ve su arasında hızlı reaksiyon meydana geldiği için priz süresi azalmaktadır. Bir başka problem ise yüksek sıcaklıkta yerleşme problemi yaşanmasıdır. Hidratasyon ısısı yüksek beton sıcaklığında ortalama 25°C ve 30°C 'lerde hızlı şekilde artmaktadır. Bu da betonun yerleşmesini olumsuz etkiler [9].

Beton karışım oranlarında hidratasyon ve ısının etkisini önemli ölçüde etkileyen kimyasal ve mineral katkıları kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalara göre, karışım öncesi sıcaklık ısı oranını önemli ölçüde etkilemektedir. Yüksek beton sıcaklığı, yüksek oranda ve hızlı hidratasyona sebep olur. Komonen ve Penttala karışım sıcaklığının en önemli değişken olduğunu açıklamışlardır.

2.1.2 Betonda segregasyon oluşması ve sebepleri

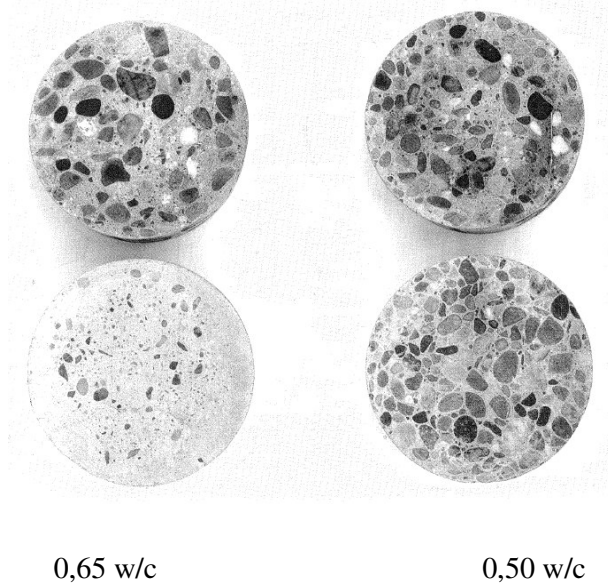
Segregasyon genellikle heterojen karışım içerisindeki bileşenlerin uniform olmayacak şekilde dağılımı olarak tanımlanır. Taze betonda segregasyon ince tanelerin yukarı doğru hareketi ve katı maddelerin aşağı doğru çökmesidir. İyi bir segregasyon direnci agrega parçalarının beton içerisinde her seviyede eşit oranda dağılmasıdır. Diğer bir deyişle düşeyde ve yatayda segregasyon oluşmamasıdır [10].

Segregasyon ya iri agregaların eğik düzlem boyunca ince agregalardan daha çabuk yol almaları şeklinde ya da özellikle sulu karışımlarda iri agregaların çökmesi biçiminde meydana gelmektedir. Eğer betonun yerleştirileceği yere kısa mesafede taşınması mümkün olabilirse, segregasyon tehlikesi azalır. Eğer beton santrali uzakta bulunuyorsa taşıma işleminin transmikserlerle yapılması gerekmektedir. Betonu oldukça yüksek yerden düşürmek, oluktan geçirmek, iletim yönünde değişiklikler yapmak veya bir engelle karşılaştırmak segregasyonu artırır. Pompa kullanımında

dış sürtünmeyi azaltmak için akıcı beton gerekse de akıcılıktan kaynaklanabilecek segregasyon tehlikesine karşı betonun kohezyonlu olması gerekmektedir [11].

Betonun iyi bir şekilde üretilmesi, ulaştırılması ve yerleştirilmesi segregasyonu önemli ölçüde azaltır. Vibrasyon işlemi betonun iyi bir şekilde sıkıştırılmasını sağlar, fakat yanlış kullanımı ve uzun süre işleme tabi tutulması, kaba malzemenin aşağıda, çimento hamurunun ise yüzeyde toplanmasına, dolayısıyla betonun zayıf olmasına neden olur.

Segregasyon betonun işlenebilirliğinde önemli ölçüde yer tutar. Şekil 2.4' de görüldüğü gibi en alt ve en üst yüzeyleri gösteren iki disk, iki farklı su oranı içeren karışımdan oluşmuştur. Bu iki karışım kalıplara dökülerek vibrasyon tablasında tutulmuştur. Karışım agrega/çimento oranı 5.8:1 ve %40 hafif malzemeler içermekte fakat su/çimento oranı bir partide 0.5 değerinde 0.65 olarak alınmıştır. Karışımdaki su oranı artınca segregasyon çok açık olarak gözleniyor. Betonun karışımı, işlenmesi ve taşınması, bileşimin homojenliğini sağlamak açısından son derece önemlidir [12].



Şekil 2.4:Farklı Su/Çimento Oranlarında Segregasyonun Gözlenmesi

Betonun segregasyonuna yol açan nedenler şu şekilde sıralanabilir:

1) Malzeme oranları ve özellikleri,

Taze betonu oluşturan malzemelerin uygun oranlarda kullanılmamış olması, kullanılan malzemelerin uygun özellikte olmaması ve beton içerisindeki malzeme

dağılımının homojen olmaması segregasyonun oluşmasına yol açan önemli etkenlerdir [11].

Beton karışımını oluşturan malzemelerin nitelikleri ve oranları ile ilgili olarak, segregasyonu artıran hususlar şu şekilde sıralanabilir:

- a) Beton karışımında yer alan iri agrega miktarının çok olması ve en büyük agrega tane boyutunun çok iri (25 mm.den büyük) olarak seçilmesi
- b) Beton karışımında kullanılan iri agreganın ve ince agreganın özgül ağırlıkları arasında önemli fark bulunması
- c) Betonda kullanılan ince agrega veya çimento gibi ince malzemelerin az olması.
- d) Betonda kullanılan agregaların düzgün yüzeye ve yuvarlak şekle sahip olmamaları, agregadaki yassı ve uzun şekilli kusurlu tanelerin fazla olması,
- e) Beton karışımının aşırı ölçüde sulu veya aşırı ölçüde kuru olması.

Beton karışımındaki ince agrega miktarındaki eksikliğin yol açabileceği segregasyonu önleyebilmek için çoğu zaman ince taneli mineral katkı maddeleri kullanılmaktadır.

Hava sürüklenmiş betonlarda, çimento hamurunun içerisine sürüklenmiş hava kabarcıkları da segregasyonun daha az olmasına neden olabilmektedir.

- 2) Beton üretiminde kullanılan malzemelerin karılma işleminin yeterince yapılmamış olması,

Betonu oluşturan malzemeler yeterince karılarak homojen bir dağılım elde edilemediği takdirde segregasyon olayı kaçınılmaz olmaktadır.

- 3) Taze beton taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işleminin uygun tarzda ve uygun süreyle yapılmaması

Taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri uygun yöntemlerle uygun tarzda yapılmadığı takdirde, taze beton kolaylıkla segregasyon gösterebilmektedir. Gereğinden daha uzun süreyle yapılan sıkıştırma(vibrasyon), betonda segregasyon yaratmaktadır [11].

2.1.3 Betonun terlemesi

Taze betonun yerine yerleştirilmesinden hemen sonra, katı parçacıkların yerçekimi etkisiyle dibe doğru ve suyun yukarı doğru hareket etme eğilimi bulunmaktadır. Taze betonun üst yüzeyine kadar erişebilen bir miktar su, bazen çok sık bir su birikintisi yaratıp buharlaşmakta, bazen de doğrudan doğruya buharlaşarak kaybolmaktadır. Beton üst yüzeyine erişemeyen bir miktar su da yüzeye yakın bir bölgede toplanmakta bu bölgenin su/çimento oranı yüksek, dolayısıyla zayıf bir beton olmasına yol açmaktadır [1].

Terleme sonucu yüzey ıslak hale geldiğinden çimentonun hidratasyonu için gerekli olan su kaybedilmiş olur, ancak fazla su ekleyerek bu sorunu telafi etmeye çalışmak boşluklu ve düşük mukavemetli betonun ortaya çıkmasına neden olur. Terleme suyu üst yüzeyin bitirilmesi sırasında karıştırılırsa zayıf taşıyıcı yüzey oluşur. Dolayısıyla terleme suyu tamamen buharlaşınca kadar yüzeyde herhangi bir düzeltme yapılmamalıdır. Beton yüzeyindeki buharlaşma hızı, terleme oranının gelişme hızından daha fazla ise, plastik büzülme (rötre) çatlakları meydana gelir [4].

Taze betonun terleme göstermesi, beton içerisinde yer alan çimento ve agrega taneleri gibi katı maddelerin aşağıya doğru çökme göstermesi ve beton içerisindeki suyu kendilerine bağlamış durumda tutamamalarından, böylece, suyun yukarıya doğru hareket edebilmesinden kaynaklanmaktadır. Terleme sırasında çimento ve kum gibi bir kısım ince malzeme de yukarı çıkabilmektedir. Terleme olayı aslında, su ile katı parçacıklar arasında bir nevi segregasyon sayılabilmektedir.

Taze betondaki terleme olayının beton özelliklerine olumsuz etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir [1].

- Taze betonun içerisindeki suyun üst kısımlara doğru hareket etmesi sonucunda betonun üst bölgesi çok sulu bir beton durumuna gelmektedir. Betonun üst kısımları daha gözenekli ve daha zayıf bir betondan oluşmaktadır. Böyle bir olay sonrası elde edilen sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan daha rahat su (veya sülfatlı su, asitli su) sızabilmektedir. Gözenekli betonun içerisine sızmış olan sular, çok soğuk havalarda donarak, betonun çatlamasına yol açabilmekte beton dayanıklılığını etkilemektedir.
- Taze betonun içerisindeki su yukarıya doğru hareket ederken, beraberinde henüz hidratasyon yapmamış çimento tanelerini veya çok ince agregalar gibi çok ince

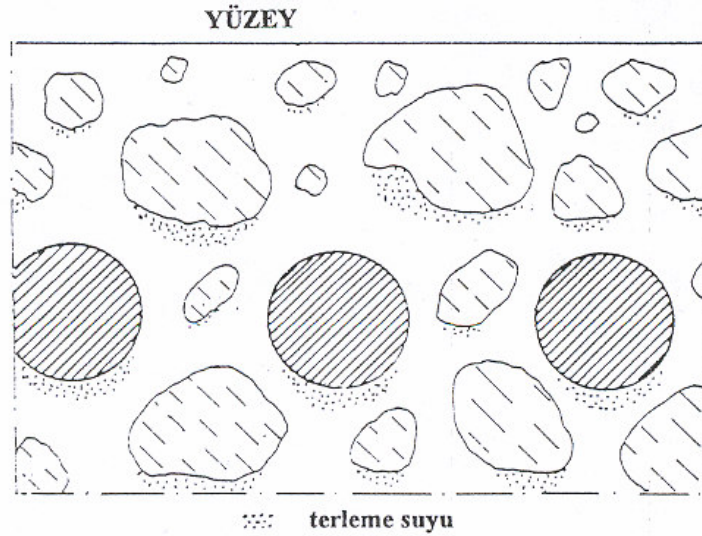
katı parçacıkları da sürüklemektedir. Bu durum betonun üst bölgelerinin ve yüzeyinin çok ince taneciklerden oluşmasına yol açmaktadır. Yüzeyinde ince katı parçacıklar yer almış olan sertleşmiş beton, aşınmaya karşı daha az dayanıklı olmaktadır.

- Betonun içerisinde su yukarıya doğru hareket ederken, bazen bu suyun bir miktarı iri agrega tanelerinin altına ya da betonarme yapı betonlarında yer alan demir donatıların altına takılarak hapsolmakta, su ceplerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Terleme nedeniyle beton içerisindeki iri agrega tanelerinin veya demir donatıların altında oluşan boşluklar, çimento hamuru ile demir donatı arasındaki aderansı zayıflatmaktadır [11].

- Beton yüzeyine çıkan suyun buharlaşma hızı oldukça önemlidir. Buharlaşma hızı, terleme hızından daha çok olduğu takdirde, betonun iç bölgeleri plastik durumunu korurken, betonun üst yüzeyi hemen kuruyup katılaşma göstermektedir.

Buharlaşma hızının terleme hızından daha yüksek olması nedeniyle, betonun üst yüzeyinde plastik büzülme çatlakları denilen gelişigüzel bir çatlak ağı oluşmaktadır.



Şekil 2.5: Terleme Sırasında Beton Suyunun Ayrışması ve Birikmesi [6].

Betondaki terleme hızını ve miktarını azaltacak faktörler aşağıda sıralanmaktadır.

- a) Kullanılan çimentonun inceliğinin yüksek olması,
- b) Çimento kompozisyonu,
- c) İnce öğütülmüş mineral katkıları,
- d) Karma suyu miktarının azaltılması,
- e) Beton içerisine sürüklenmiş olan hava miktarı,

2.2 Taze Betonda Reolojik Özellikler

Reoloji maddenin deformasyonu ve akışı ile ilgilenen bilim dalı olarak tanımlanmaktadır. Mühendislik uygulamalarında reoloji terimi ideal, elastik katılara, basit akışkanlara ve gazlara ait akış ve deformasyon kurallarına uymayan malzemelerin davranışlarını incelemeye kullanılır. Taze beton, en önemli bileşenlerinden biri olan taze çimento hamuru ile birlikte uygulamalı reolojinin faaliyet alanında incelenir. Reolojik parametreler belirli bir gerilme uygulandığında oluşacak şekil değiştirme veya akış miktarını veya belirli bir şekil değiştirmenin sebep olduğu gerilme miktarını tahmin etmemizi sağlar. Taze beton gibi karmaşık bir malzemeye uygulandığında teorik ve pratik reolojideki sınırlamaların da farkında olmak önemlidir.

İdeal bir Newton sıvısına kayma gerilmesi uygulandığında bu gerilme sıvının şekil değiştirmesine neden olur ve ideal katılardaki durumun aksine gerilme uygulandıkça sıvı şekil değiştirmeye devam eder.

$$\tau = \dot{\eta} \cdot d\gamma/dt = \dot{\eta} \cdot \gamma \quad (2.1)$$

Birim zamandaki deformasyon oranı γ , kayma gerilmesi τ ile (2.1) bağıntısında gösterildiği gibi orantılıdır. Buradaki $\dot{\eta}$ terimi viskozite katsayısı olarak ifade edilmektedir. Sıvılarda kayma genellikle biri diğerine göre bağıl hareket eden iki paralel yüzey ile temsil edilir. Sürekli devam eden kayma deformasyon oranı hız (V) olarak tanımlanabilir. Şayet sıvı laminar (düzgün) hareketinde kalırsa aralarında y birim mesafesi bulunan hareketli yüzeylerin hız değişim oranıyla kayma gerilmelerinin etkidiği tabakalarda Newton akışı doğacaktır. Kayma gerilmesi daha genel terimlerle tanımlanırsa;

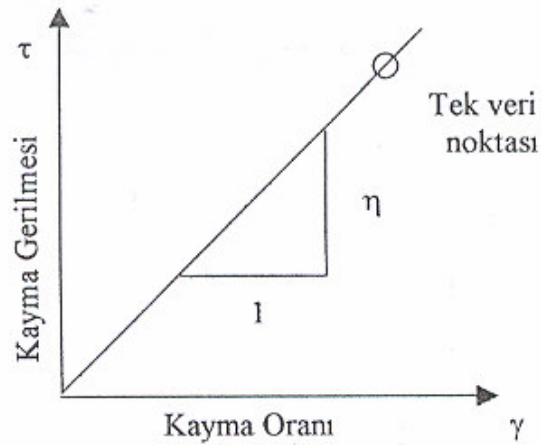
$$\tau = \dot{\eta} \cdot dv/dy = \dot{\eta} \cdot D \quad [D:\text{hız değişkeni } (dv/dy)] \quad (2.2)$$

Hız gradyanı zaman içinde kayma deformasyonunun değişme oranına eşitlendiğinde ($dv/dt = \dot{\gamma}$) denklem (2.1) bağıntısında gösterildiği gibi yazılır.

Düzgün akan Newton sıvısının temel reolojik özelliği η viskozitedir,

$$\begin{aligned}\eta &= \tau/\dot{\gamma} = \text{Kayma gerilmesi} / \text{kayma oranı} & (2.3) \\ &= \text{Pa}/\text{sn}^{-1} = \text{Pa}\cdot\text{sn}\end{aligned}$$

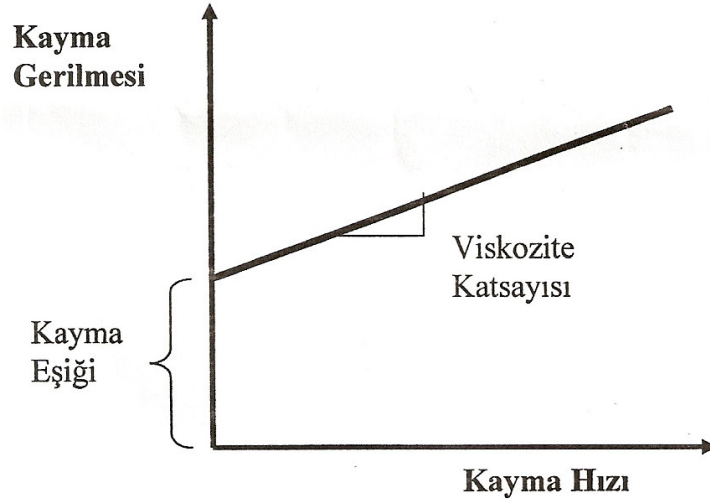
Newton sıvısının viskozitesi kayma gerilmesi ve kayma oranından bağımsızdır. Viskozite özellikle ilgili sıvının kendi doğasına ve karakterine bağlıdır ve o sıvının akışkanlığının ölçüsüdür. Bundan dolayı viskozite tek ölçüm neticesinde ve tek bir veri ile çizilebilen Şekil 2.6'da görülen kayma gerilmesi / kayma oranı diyagramından hesaplanabilir.



Şekil 2.6 Newton Sıvısının Viskoz Akışı [7].

Newton viskoz akışı olarak anılan kanun taze beton reolojisini açıklamada basit kalmaktadır çünkü taze betonu harekete geçirebilmek için önceden bir miktar kuvvet uygulanması gerektiği açıktır. Bu durum taze betonun bir akış direncine sahip olduğunu ve sonuç olarak akış eğrisinin orijinden geçmesinin mümkün olmadığını belirtmektedir. Bu nedenle taze betonun özelliklerini açıklamak için tek bir sabitin yetersiz olduğu görülmektedir.

Newton olmayan sıvılardan beton teknolojisini ilgilendirenler harekete başlayabilmek için önceden belli bir miktar kayma gerilmesi gerektiren τ_0 eşik gerilmesine sahip sıvılardır. Bu malzemelere Bingham sıvıları ya da plastikleri denir. Bingham sıvısının davranışı Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Bingham Sıvısında Kayma Gerilmesi-Kayma Hızı (Oranı) İlişkisi

Kayma gerilmesi/kayma oranı diyagramının eğimi plastik viskoziteyi (η_p) vermektedir. Bir Bingham sıvısının temel ilişkisi şu şekilde verilmektedir;

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma} \quad \eta_p: \text{plastik viskozite} \quad (2.4)$$

Bu durumda sıvının davranışını karakterize etmek ve akış eğrisini çizebilmek için iki sabite (τ_0 , η_p) ihtiyaç duyulmakta ve bunları elde etmek için en az iki veri gerekmektedir. Taze beton davranışı eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozite gibi en az iki katsayı ile değerlendirilmektedir. τ_0 ve η_p değerleri taze betonlarda iki nokta işlenebilme aygıtı ile saptanabilmektedir. Harç ve hamurlarda ise klasik eşeksenli bir viskozimetreden yararlanmak mümkündür [7,13].

2.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

1983' den önceki yıllarda, beton yapılarda dayanıklılık japonya'da büyük bir problem konusuydu. Dayanıklı beton üretmek için kalifiye elemanlar tarafından betonun yeterli miktarda sıkıştırılması gerekiyordu. Bununla birlikte, kalifiye eleman sayısı zamanla azalırken benzer şekilde gün geçtikçe yapı kalitesi de azaldı. Herhangi bir istihdama gerek duymadan başarılı bir dayanım elde etmek için ulaşılan çözümlerden bir tanesi kendiliğinden yerleşen betondur. Bu beton tamamen kendi ağırlığı ile herhangi bir vibrasyona gerek duymadan kalıbın her noktasına yayılmaktadır. Bu şekilde ihtiyaç duyulan beton 1986 yılında Okamura tarafından oluşturuldu.

Kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) işlenebilirliğinin geliştirilmesi üzerine önemli ölçüde Ozawa ve Maekawa tarafından Tokyo üniversitesinde çalışmalar yapıldı [14].

Japonyada öncülüğü yapılan KYB zamanla Asya, Güney Pasifik, Avrupa ve Kuzey Amerika'da kullanılmaya başlandı. KYB oluşturulurken yeterli miktarda su azaltıcılar gerekliydi. KYB' de su azaltıcı olarak temeli sülfanat naftalin formaldehit (SNF), sülfanat melamin formaldehit (SMF) veya polikarboksil etilen oksit (PCE) üzerine kurulmuştur[15].

KYB yüksek performanslı betonlar diye adlandırılmaktadır. Üç nitelik beklenmektedir;

1. Taze halde kendiliğinden yerleşme özelliği
2. Erken yaşta ilk kusurlardan uzak olması
3. Sertleşmiş halde dış kuvvetlere karşı korunabilir olması

Aynı zamanda yüksek performanslı beton düşük su/toz oranından dolayı yüksek durabiliteli beton olarak da tanımlanabilir[14].

Kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) vibrasyona gerek duymadan istenilen yere yerleşebilen, yüksek işlenebilirliğe sahip, terleme ve ayrışma probleminin yaşanmadığı, homojenliği yüksek betonlardır. Akıcı kıvamda olan, gürültü kirliliğini engelleyen, daha az işçilik gerektiren, ekonomik ve ayrışma olmaksızın sık donatılar arasından akabilen, her türlü kalıba yerleşebilen bu betonlar aynı zamanda kendi ağırlığının etkisi ile boşlukları minimuma indirerek yerleşme sağladığı için durabilitesi yüksek olan ve kararlı bir tekniğe sahip betonlardır. Kendiliğinden yerleşen betonların en önemli özelliği betonda ayrışma ve terleme görülmeden betonun döküldüğü kalıbı boşluk bırakmadan kendi ağırlığı ile doldurabilmesidir [16].

Kendiliğinden yerleşen beton, beton yerleşiminin hızlanmasını, daha kısa yapım zamanını ve yoğun donatının olduğu bölgelerde betonun daha kolay akmasını sağlamaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonun akışkanlığı ve ayrışma dayanımı, yüksek seviyede homojenlik, minimum beton boşlukları ve üniform beton dayanımını garanti eder ve yapı için daha üstün seviyede dayanıklılık ve bitirme potansiyeli sağlar. KYB genellikle potansiyel olarak erken yüksek dayanım sağlayan,

daha erken kalıptan alma ve yapıların veya elemanların daha hızlı kullanımını sağlayan düşük su-çimento oranı ile üretilir

Vibrasyon ekipmanlarının kullanılmaması şantiyede betonun yerleştirildiği yerde işçilerin gürültü ve vibrasyona maruz kalmalarını azaltarak çevre koşullarını iyileştirir.

Yüksek miktarda toz madde içermesi karışım suyunun bir kısmını emerek, su/toz oranının düşük olmasını sağlamaktadır. Su/toz madde oranının düşük tutulmasına rağmen KYB üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı katkıları hem betonda akışkanlığı sağlamakta, hem de homojen bir çimento dağılımı oluşturarak segregasyonun oluşmasını önlemektedir. Dayanım ve dayanıklılık özellikleri bakımından normal betona göre KYB daha avantajlıdır [17].

2.3.1 Kendiliğinden yerleşen betonun taze haldeki reolojik özellikleri

Taze haldeki KYB çoğunlukla çimento hamuru içinde agrega parçacıklarının askıda kalmasıyla oluşan yapıdadır. KYB' nin hazırlanmasındaki en önemli nokta segregasyon ile akışkanlık arasındaki çelişkiyi çözmektir. Katkılar için plastik sistemin oluşturulması gereklidir. Beton kalıba yerleşirken pompa basıncı altındaki kayma gerilmesi veya kendi ağırlığının etkisi düşük viskozite göstermektedir.

Taze beton, geniş bir aralıkta dağılan tanecik yapısına ve kimyasal reaksiyonların olduğu zamana bağlı davranışına rağmen, katı süspansiyonu olarak tanımlanabilir. Süspansiyon yaklaşımında, taneciklerin ve sıvı fazı tanımlanması geniş tane boyutu dağılımı nedeni ile değişebilmektedir. Bu tanım örneğin, kaba tanenin sıvı harç içinde olması yani fazın su, çimento ve ince tanelerden oluşması veya kum taneciklerinin sıvı çimento hamuru içinde olması bir başka deyişle sürekli fazın su, çimento ve toz boyutundaki diğer taneciklerden oluşması şeklinde yapılabilir [6].

2.3.1.1 Reolojik ölçümler

Çimento hamuru ve harcında reolojik özellikler eş eksenli silindirden oluşan viskozimetre yardımıyla ölçülebilir. Beton ve harç için ise bir paletin beton içine gömüldüğü ve belirli hızlarda dönen betonun palete uyguladığı dönme momentinin ölçümüne dayanan aletler kullanılmaktadır. Beton için ilk viskozimetre Tattersal tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra bu alet modifiye edilerek BML viskometresi ve

IBB Beton Reometresi adı altında modellenmiştir. Larrard ve arkadaşlarının geliştirdiği alet ise BTRHEOM Reometresi adını almıştır.

Söz konusu aletler betonu Bingham sıvısı olarak kabul ederek dönme hızı ile dönme momenti arasında lineer bir ilişki varsayımına dayanmaktadır.

$$T=g+hN \quad (2.5)$$

Burada T dönme momentini(Tork) ve N dönme hızını göstermektedir. Momentten kayma gerilmesine, dönme hızından ise kayma hızına geçilebilir[13].

2.3.2 Kendiliğinden yerleşen betonun oluşum biçimi

KYB' de akıcılığı sağlamak amacıyla kuvvetli bir süper akışkanlaştırıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özellik sadece ilk kuşak süper akışkanlaştırıcılarda olduğu gibi, ince tanelerin üzerine adsorbe olarak aynı işaretli elektrikle yüklü tanelerin birbirini iterek dağıtması (dispersiyon) ile sağlanmamakta, bunun yanında dallanmış uzun polimerlerin (süper akışkanlaştırıcılar) oluşturduğu hacim doldurma etkisi de gerekmektedir. Burada betonun akışının yanında hızı da önem ihtiva etmektedir.

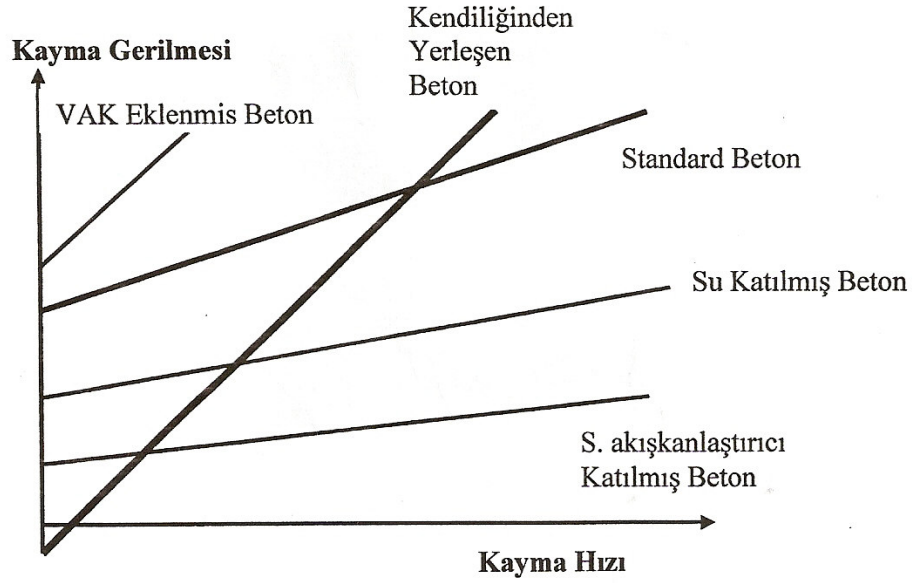
Beton içindeki agregta tanelerinin arasındaki sürtünme etkilerini azaltmak için tanelerin birbirinden uzaklaştırılması gerekir. Bu amaçla çimento hamuru miktarı arttırılabilir. Bunun sonucu betonun şekil değiştirme yeteneği artar [18].

İnce taneler arasındaki sürtünmeleri azaltmak için ise suyu arttırmak çözüm değildir. Çünkü bu durumda betonda ayrışma (segregasyon) eğilimi artacaktır. Bunun yerine tanelerin dağılımını sağlayan, bir süper akışkanlaştırıcıya gerek vardır. Böylece beton viskozitesini azaltmadan sürtünme azaltılabilecektir.

Reolojik büyüklükler açısından ele alınırsa, betonun şekil değiştirilebilir özelliği kazanması için kayma eşiğinin küçük olması, ancak ayrışma olmaması için viskozitenin düşmemesi gereklidir.

Normal bir betonun reolojik davranışı Bingham sıvısı modeli ile gösterilebilir. Akıcı bir beton elde etmek için kayma eşiğini düşürmek gerekir, dolayısıyla davranışın Bingham'dan Newton'a (kayma eşiği=0) doğru geçişi Şekil 2.7'de görüldüğü gibi söz konusudur. Bu özellik su miktarını artırarak sağlanamaz. Kuvvetli süper akışkanlaştırıcı kullanımı ise ilişki doğrusunun paralel ötelenerek merkeze gelmesini, dolayısıyla kayma eşiğinin sıfırlanmasını gerçekleştirebilir, ancak burada ayrışma sorunu ortaya çıkabilir. Bu durumda çözüm olarak, kayma eşiğini düşürürken

ayrışmayı önlemek için betonda ince malzeme miktarını artırmak ve/veya viskozite artırıcı katkı kullanmak uygulamaları yapılabilir [19].



Şekil 2.8 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Reolojik Özellikleri [20].

KYB' de kullanılan yeni kuşak kimyasal katkıların dağıtma gücü yüksektir. Buna karşılık ince malzeme miktarı su içeriği değiştirmeden yüksek tutulur. İnce malzeme olarak uçucu kül, taş tozu ve silis dumanı kullanılabilir. Genel olarak uçucu kül ve taş tozu kullanılan betonlarda toplam ince malzeme miktarının 500-600kg/m³ düzeylerine çıkması gerekir. Bu ise yüksek maliyete neden olur. Maliyeti düşürmek için ince malzeme miktarı azaltılırsa terleme ve ayrışmaya sebep olmaktadır. Bu yüzden ince malzeme miktarını düşürüp bunun yerine viskozite düzenleyici katkıları VDK geliştirilmiştir. Polisakkaritler, akrilik bazlı polimerler, selüloz türevleri ve nişasta kökenli ürünler örnek gösterilebilir.

Doğal bir polisakkarit olan Welan Gum' ın VDK olarak kullanımının etkili olduğu bulunmuştur. Ancak Welan Gum' ın pahalı bir ürün olması beton maliyetini arttırmaktadır. Mc. Lachemi ve arkadaşları polisakkarit bazlı farklı VDK içeren KYB' lar üretmişler ve bunları Welan Gum' lı KYB' la ve VDK' sızs KYB' larla reolojik özellikler ve maliyet açısından karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak Welan Gum' lı KYB' a göre maliyeti daha düşük, reolojik özellikleri daha iyi farklı VDK' lı betonlar üretmeyi başarmışlardır [21].

2.3.3 Kendiliğinden yerleşen betonun taze haldeki özellikleri

KYB'ların performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Reoloji ve işlenebilirlik parametreleri KYB'un pratikteki kullanım performansını etkilemektedir. Kendiliğinden yerleşme yeteneği üç parametre ile karakterize edilebilir: doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneği [18].

2.3.3.1 Doldurma yeteneği

KYB kendi ağırlığı ile şeklini değiştirme ve deforme olma özelliğine sahip olmalıdır. Doldurma yeteneği, betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı (deformasyon kapasitesi) kavramlarını içermektedir. Yayılma deneyi ile ölçülen betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre ile söz konusu özellik değerlendirilebilir. İyi bir doldurma yeteneği için, deformasyon kapasitesi ile deformasyon hızı arasında bir denge olmalıdır.

Betonun iyi deforme olabilmesi için, iri agregalar, ince agregalar ve her türlü bağlayıcı dahil katı tanecikler arasındaki sürtünmenin azaltılması faydalıdır. Ancak bu yeterli değildir; çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akışkanlıkla birlikte ayrışmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB'un engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin artırılması açısından önemlidir [22].

Uygun doldurma yeteneği için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

Çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin artırılması:

- ✓ Süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı
- ✓ Dengelenmiş su/bağlayıcı oranı

Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması:

- ✓ Düşük kaba agregalar hacmi (yüksek çimento hamuru fazı içeriği)
- ✓ Kullanılan agregalar ve çimentoya göre uygun değerlerde gradasyon

2.3.3.2 Ayrışmaya karşı direnç

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

KYB gerek durağan, gerekse akış halinde aşağıdaki tip ayrışmaları göstermemelidir:

- ✓ Terleme (su ve katı arasında ayrışma)
- ✓ Çimento hamuru fazı ve agrega ayrışması,
- ✓ Tıkanmaya neden olan kaba agrega ayrışması,
- ✓ Hava boşluğu dağılımının homojen olmaması

Terlemeden kaçınmak için, karışımda hareket eden su miktarının az olması gerekmektedir. Yer değiştiren su, karışım içerisinde katı malzemeyle karışmayan bağımsız olarak hareket eden su anlamına gelmektedir. Hareket eden su miktarı, su/toz madde oranı azaltılarak sağlanır. Serbest su, yüzeyi büyük olan malzemelerin üzerinde daha fazla bulunacağından, yüzey alanı çok olan toz malzemeler kullanmak mümkündür. Su ve katı arasındaki ayrışma direnci viskozite arttırıcı katkıları kullanarak iyileştirilebilir [14].

Uygun ayrışma direnci için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

Katı maddelerin ayrılmasını azaltmak,

- ✓ Sınırlı agrega içeriği
- ✓ Azaltılmış en büyük agrega tane çapı
- ✓ Düşük su/bağlayıcı oranı
- ✓ Viskoziteyi arttırmak

Serbest terlemenin minimize edilmesi,

- ✓ Düşük su içeriği
- ✓ Düşük su/bağlayıcı oranı
- ✓ Yüksek yüzey alanına sahip bağlayıcılar
- ✓ Viskozite arttırmak

KYB lar vibrasyona gerek duymadan kalıba kolaylıkla yerleşen betonlardır. Bu özellikleri sağlayabilmek için iyi bir deformasyona ve yüksek segregasyon direncine sahip olmalıdır. İyi bir segregasyon direnci beton içindeki agrega dağılımının tamamıyla her bölge ve seviyesinde eşit miktarda olması anlamına gelmektedir. Aynı zamanda betonun yatay ve düşey doğrultuda segregasyona uğramaması anlamına gelmektedir. Segregasyon direnci KYB için önemlidir, çünkü zayıf segregasyon

direnci düşük deformasyona, üniform olmayan bir basınç dayanımı dağılımına aynı zamanda kurumadan dolayı oluşan rötreye neden olabilir.[22].

2.3.3.3 Geçiş yeteneği

KYB yeterli akıcılığa ve aynı zamanda ayrışmaya karşı dirence sahip olduğunda etkili bir işlev görür. Ancak dar geçişler ve çok sık donatı söz konusu olduğunda, ekstra bir ihtiyaç daha doğmaktadır ki, bu da kaba agregaların blokajlanmamasıdır [13].

Mükemmel doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan bir KYB'da bile aşağıdaki durumlarda blokaj riski söz konusudur:

- ✓ Agreganın en büyük dane çapı çok büyükse
- ✓ İri agregaların içeriği çok yüksekse

Uygun geçiş yeteneği için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

Agreganın ayrışmasını azaltmak için kohezyonu arttırmak

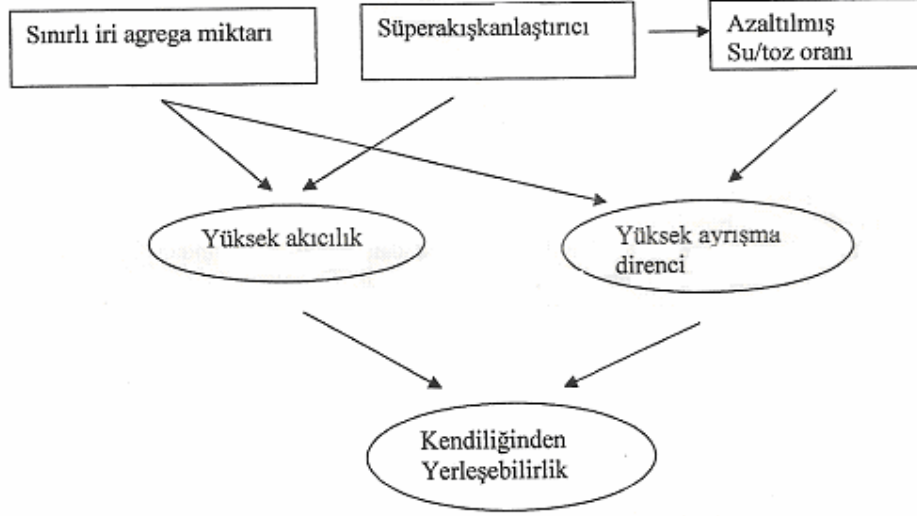
- ✓ Düşük su/bağlayıcı oranı
- ✓ Viskoziteyi arttırmak

Uygun iri agreganın kullanımı

- ✓ Düşük kaba agreganın hacmi
- ✓ Düşük en büyük dane çaplı agreganın

2.3.4 Tasarım kriterleri

KYB'un iyi bir performans sağlaması için gereken nitelikler Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Sınırlı iri agreganın içeriği agreganın tanelerinin çarpışmasını azaltmakta ve geçiş yeteneği sağlamakta ve geri kalan çimento hamuru fazı hacmini arttırmakta; düşük su/bağlayıcı oranı ve süper akışkanlaştırıcı katkı ise akıcılığı ve ayrışma direncini sağlamaktadır [18].



Şekil 2.9: KYB Bileşim Özelliklerinin Şematik Gösterimi

Ülkeler bazında, değişik uygulama alanlarına yönelik çok farklı tasarım yaklaşımları bulunmaktadır. Deneyimler başarılı KYB üretmek için bir takım limitler oluşmasına imkân vermiştir. Aşağıdaki tüm terimler hacimseldir.

- Beton hacminin % 30-34'ü iri agrega hacmidir. Bu değerler, normal işlenebilir bir beton için geçerli olan değerlerden daha azdır.
- Su/bağlayıcı oranı 0.8-1.2'dir. Bu sınırı zorladıkça genellikle bir viskozite arttırıcı katkıları kullanılmaktadır.
- Viskozite arttırıcı katkı kullanılmadığında $155-175 \text{ lt/m}^3$ su idealdir. Viskozite arttırıcı kullanıldığında 200 lt/m^3 'lere kadar çıkılabilir.
- Beton hacminin % 34-40'ı kadar bir çimento hamuru fazı hacmidir.
- Harç fazı hacminin % 40-50'si kadar ince agrega hacmidir.

Tüm bu sınır değerler ışığında, ağırlıkça aşağıdaki miktarlar kabaca önerilebilir:

İri agrega : $750-920 \text{ kg/m}^3$

İnce agrega : $710-900 \text{ kg/m}^3$

Bağlayıcı : $450-600 \text{ kg/m}^3$

Su : $150-200 \text{ kg/m}^3$

Taze haldeki KYB karışımlarındaki özelliklerin gerekli bileşimi elde etmek için:

- Hamurun akışkanlık ve viskozitesi çimento ve mineral katkıların dikkatli seçimi ve oranlamasıyla, su/toz malzeme oranını sınırlandırmayla ve sonra süper akışkanlaştırıcı ve (isteğe bağlı olarak) viskozite düzenleyici katkı ilave ederek ayarlanır ve dengelenir. KYB'nun bu bileşenlerinin doğru bir şekilde kontrolü, uygunluk ve etkileşimleri; iyi doldurma yeteneği, geçme yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç elde etmede anahtardır.
- Sıcaklık yükselmesini, ısı büzülme çatlama ve dayanımı kontrol etmek için toz malzeme miktarında, çimento miktarını kabul edilebilir bir seviyede tutmak için tip 1 ve tip 2 katkıları önemli bir oranını içerebilir.
- Hamur agreganın taşınması için bir araçtır; bu yüzden bütün agrega taneciklerinin bir hamur tabakası tarafından tamamen kaplanması için hamur hacmi agregadaki boşluk hacminden büyük olmalıdır. Bu akışkanlığı artırır ve agrega sürtünmesini azaltır.
- Karışımdaki iri agreganın ince agregaya oranı, tekil iri agrega taneciklerinin bir harç tabakası tarafından tamamen çevrelenmesi için azaltılır. Bu, beton donatılar arasındaki dar açıklıklardan veya boşluklardan geçerken, agrega kenetlenmesini ve köprülenmeyi azaltır ve KYB'nun geçme yeteneğini artırır.

Bu karışım, tasarım prensipleri geleneksel vibrasyonlu betona kıyasla normalde aşağıdakileri kapsayan bir beton ile sonuçlanır.

- Daha az iri agrega miktarı
- Arttırılmış hamur miktarı
- Düşük su/toz malzeme oranı
- Arttırılmış süper akışkanlaştırıcı
- Bazen viskozite düzenleyici katkı

2.3.5 Kendiliğinden yerleşen betonların mekanizması

Kendiliğinden yerleşebilirliğin metodu sadece çimento hamurundaki veya harçtaki yüksek deformasyonu değil aynı zamanda iri agrega tanelerinin beton içinde iki

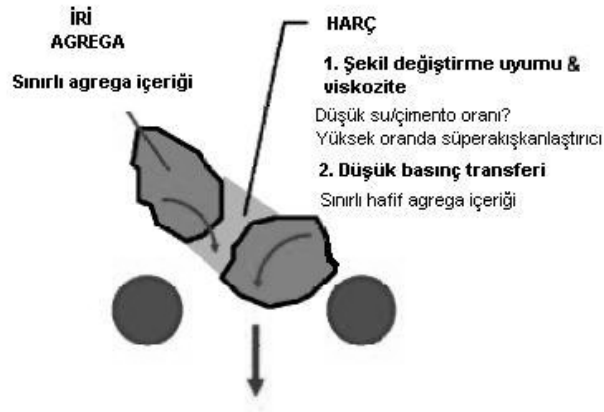
donatı arasında akarken segregasyona karşı direncidir. Okamura ve Ozawa yaptıkları çalışmalarla kendiliğinden yerleşebilirliği Şekil 2.10'daki gibi geliştirdiler



Şekil 2.10: KYB Üretmek İçin İzlenen Yol

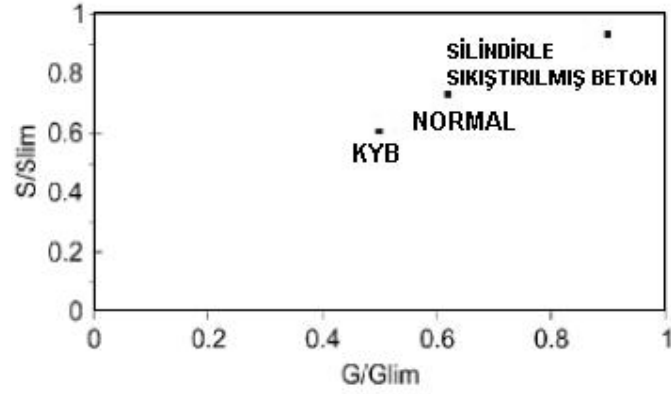
- 1) Sınırlandırılmış agrega içeriği
- 2) Düşük su/toz madde oranı
- 3) Süper akışkanlaştırıcı kullanımı

Agregalar arasındaki çarpışma ve temas azalan parçacıklar arasındaki rölatif mesafeyi arttırabilir. Daha sonra, beton deforme olunca özellikle bir engelle karşılaşınca iç basınç artar. Araştırmalar, akış için gerekli olan enerjinin artan iç basınç ve agregaların birbirini engellemesi sonucu tüketildiğini göstermektedir. Özellikle enerji tüketimi yoğun olan iri agregaların içeriğindeki sınırlama bu tip engellerden kaçınmak normal etkiye göre bir derece daha azdır. Yüksek viskoz çimento hamuru aynı zamanda beton, engel içine doğru akarken iri agregaların engel oluşturmasından kaçınmak için gereklidir [14].



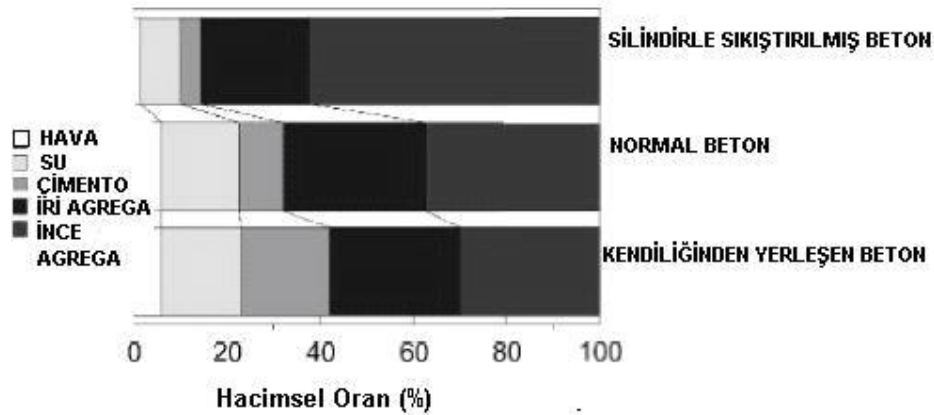
Şekil 2.11 Kendinden Yerleşebilirliğin Meydana Gelmesindeki Mekanizma [14]

Beton deforme olduğunda yüksek viskoziteli çimento hamuru aynı zamanda iri agregaların birbirine yaklaşmasıyla artan iç basıncı önler. Yüksek şekil değiştirme özelliği süper akışkanlaştırıcılar ve su/toz madde oranının düşük tutulması ile şekil 2.11’ de olduğu gibi sağlanabilir [14].



Şekil 2.12 Farklı Betonda İri ve İnce Agregaların Sıkışma Dereceleri [14]

İri agrega hacminin dolu katı hacme oranı (G/Glim) her bir beton için şekil 2.'12 de gösterilmiştir. KYB’ da iri agrega doluluk derecesi beton deforme olduğu zaman agregalar arasındaki etkileşimi %50 azaltır. Buna ek olarak harçtaki ince agrega hacminin katı hacme oranı (S/Slım) aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. KYB harcındaki ince agrega doluluk derecesi yaklaşık olarak %60 dır. Böylece kayma deformasyonu beton deforme olduğunda sınırlandırılabilir. Diğer taraftan, KYB çimento hamurunun viskozitesi, düşük su/toz madde olmasına rağmen diğer beton çeşitlerine nazaran en üst değerdedir.



Şekil 2.13 KYB ile Diğer Betonların Bileşenlerinin Karşılaştırılması [14]

Şekil 2.13’de kendiliğinden yerleşen beton, normal beton ve barajlarda üretilen silindirle sıkıştırılmış betonun karışım oranları mevcuttur. KYB’ da vibrasyonla sıkıştırma gerektiren geleneksel betonlara göre agrega içeriği daha azdır. Pratik olarak üç amaç doğrultusunda deneyler yapılabilir.

- 1) Betonun kendiliğinden yerleşebilir olup olmadığının kontrol etmek,
- 2) Karışım oranlarının KYB için yeterli olmadığında ayarlamak için

2.3.6 Kendiliğinden yerleşen betonlarda performans

1980’li yıllarda Japonya’da doğan ve yavaş yavaş bütün dünyaya yayılan KYB en iyi bilinen geniş ölçekli uygulamalara sahiptir. Yüksek doldurma yeteneği, vibrasyona ihtiyaç duyulmaması, gürültü azlığı, yüksek akışkanlığı sayesinde uzun mesafeye akabilme özelliği, zayıf işçiliğe karşı homojen olarak dağılması, yüksek dayanım ve dayanıklılık, mükemmel yüzey sağlaması KYB’ a yüksek performanslı beton özellikleri kazandırır.

2.3.6.1 Sıkıştırma derecesi ve numuneler

Beton yapı, tam olarak yapılamayan sıkıştırmadan dolayı yüksek oranda etkilenebilir. En iyi sıkıştırma ölçüsü yapılan deneylerden 1 olarak elde edilmiştir. Fakat beton, perde duvara, kolana veya dar plakalara yerleştiği zaman sıkıştırılması güç olur. Bu bölgelerde vibratör kullanarak yapılan sıkıştırma en fazla 0,93- 0,98 oranında yapılabilir. Sonuç olarak sıkıştırma derecesi 1 den küçük olmaktadır. Basınç dayanımı her 0,01 değeri için % 5 oranında azalmaktadır. 0,97 ölçekli bir sıkıştırma %15 oranında basınç dayanımında azalmaya sebep olacaktır. KYB’ da sıkıştırma derecesi 0,98-1 arasında olmaktadır. Çünkü kendi ağırlığı ile yerleşme yeteneği iyi yapılmış vibrasyonlu betondan daha üstün kılmaktadır. KYB’ de iki önemli sonuç çıkmaktadır.

- ✓ Sıkıştırma derecesi, kalıp şekli, mesafesi, geometrisinde farklılık ve donatı yoğunluğunu aldırmeden yapının her bölgesinde eşit olmaktadır.
- ✓ Bütün deney numuneleri iyi sıkıştırma derecesine sahiptir. Sonuç olarak numuneler temsilidir. Bundan dolayı KYB’ da iyi yerleşme sonuçlardaki kuşkuyu ortadan kaldırır [23].

KYB, normal betona kıyasla daha yüksek oranda sıkışık hava boşluğu içermesine rağmen, normal betona kıyasla çok daha yüksek basınç dayanımı değeri vermesi

göreceli olarak düşük su/çimento oranına, kullanılan akışkanlaştırıcı ve mineral katkılarına bağlanabilir. Ayrıca KYB' nun sıkışık hava boşluklarının, şekil olarak küresel yapıda olması da dayanım ve dayanıklılık açısından birçok avantajlar getirebilmektedir. Boşluk adedi ve boşluk alanının toplam alana oranı için normal betondan elde edilen değişkenlik katsayılarının KYB' na kıyasla çok daha yüksek olduğu için KYB' da iri boşlukların daha homojen bir boyut dağılımında olduğunu ortaya koymaktadır [17].

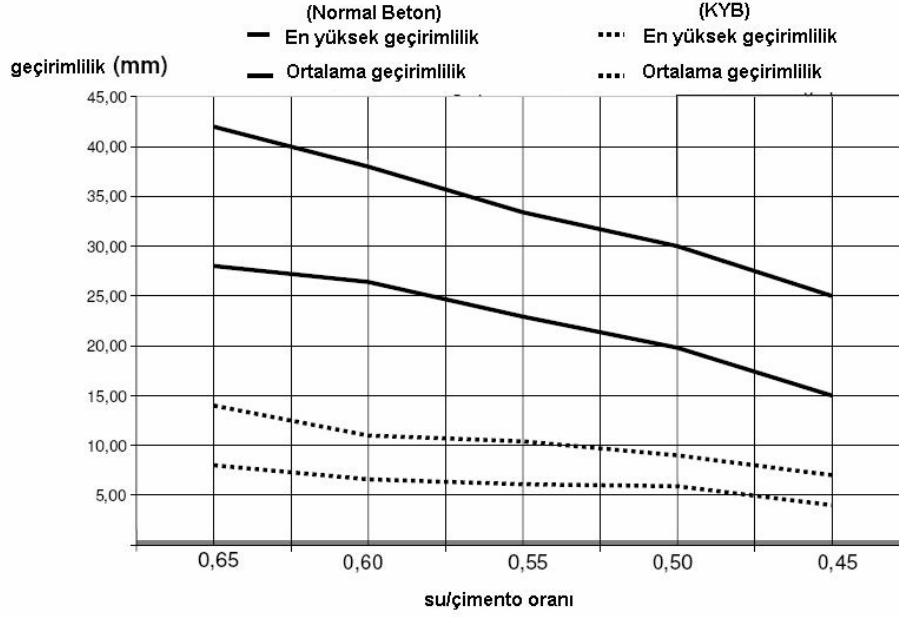
2.3.6.2 Kendiliğinden yerleşen betonda basınç dayanımı

İyi sıkışmadan dolayı yüksek basınç dayanımı beklenmektedir. Tecrübelerle göre C25/30 en düşük KYB özelliklerinde görülür. C30/35 en çok kullanılan ve C55/60 silis dumanı, uçucu kül veya diğer özel katkıları olmadan kolayca elde edilebilmektedir.

2.3.6.3 Geçirimsizlik özelliği

KYB' da ince madde oranı fazla olduğu için güçlü miktarda geçirimsizlikte azalma beklenmektedir. Aynı oranda su/çimentoya sahip normal beton ile KYB karşılaştırıldığında aşağıda belirtilen etkileyici sonuçlar çıkmaktadır. Şekil 2.14' de görüldüğü gibi KYB de geçirimsizlik daha düşüktür.

- ✓ Geçirimsizlik derinliği su/çimento arttıkça KYB' da normal betona göre daha yavaş artmaktadır. Bu durum ince madde oranının yüksek olmasıyla açıklanabilir.
- ✓ Ortalama ve maksimum geçirimsizlik derinliği azalmaktadır. Bu yüksek oranda homojen dağılımın sonucudur.



Şekil 2.14 KYB’da Su/Çimento - Geçirimlilik Özelliği İlişkisi

2.3.7 Kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılan deney yöntemleri

2.3.7.1 Çökme-yayılma deneyi

Çökme - yayılma deneyi geleneksel çökme hunisi ile gerçekleştirilir. Fakat düşey yükseklikten çok yatay yayılma mesafesi ölçülür. Çökme yayılma testi bilinen Abram’s konisinden (Yüksekliği 300 mm en alt çapı 200 mm en üst çapı 100 mm) yararlanılarak yapılır. Ayrıca 1000 mm x 1000 mm boyutunda yayılma tablası kullanılır. Yayılma tablası üzerinde 20cm ve 50cm çaplı iki daire çizili olarak bulunmaktadır. Tamamen düz bir yüzeye yerleştirilen yayılma tablasının yüzeyi nemlendirildikten sonra merkezine Abram’s konisi yerleştirilir ve yaklaşık 5.5 litre beton ile doldurulur. Daha sonra koni tablaya dik olarak çekilir ve 50cm çapındaki daireye yayılması sağlanır. Yayılma tamamen durduktan sonra birbirine dik iki yönde çap ölçülerek ortalama yayılma çapı hesaplanır. Deney sonuçlarına göre yüksek yayılma değeri akışkanlığı yüksek beton anlamına gelmektedir. Çökme – yayılma mesafesi 600 mm den büyük ise kendiliğinden yerleşebilirliği sağlayacak yeterli bir karışım sağlanmış demektir. Buna ek olarak yayılma mesafesinin yanında koni kaldırıldıktan sonraki andan yayılmaya başlayan betonun 50 cm çapındaki daireye ulaştığı ana kadar geçen süre de ölçülür. T_{50} zamanı olarak adlandırılan bu süre saniye olarak kayıt edilir [24].



Şekil 2.15 Çökme-Yayıma Testi Deney Düzenegi

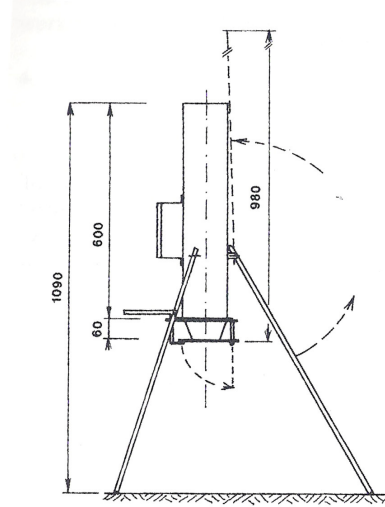
En kısa T_{50} zamanı KYB' un yerleşmesinin en hızlı olduğu durumda gözlenir. Zaman taze betonun viskozitesine bağlıdır. T_{50} zamanının 3 – 6 sn arasında olması önerilir. Yayılma çapının ise 600 – 800 mm arasında olması beklenir. Çökme – yayılma deneyi uygulanması kolay ve hızlı bir deney çeşididir. Hem laboratuvar da hem de sahada rahatlıkla uygulanabilir [25].

2.3.7.2 Orimet testi

Orimet testi pratik olarak yüksek işlenebilirliği, betonun akışkanlığını sağlayan karışımını belirlemek, özellikle sahada hızlı değerlendirme sağlamak için geliştirilmiştir. Test düzenegi 120 mm iç çapında düşey boru daha aşağıda birbiriyle değişebilir boru içermektedir. Orimet normal olarak 70mm – 80mm çapında boruya sahiptir. Bu düzenegin altında akan betonun dolması için bir kova mevcuttur. Yaklaşık olarak agrega boyutu 20 mm yi geçmemektedir. Üçayaklı sehpa ile boru harekete karşı tutturulur.

Bu test taze halde kendiliğinden yerleşen beton karışımında doldurma kolaylığını ölçmek için şartnamelere uygun biçimde ve aynı şekilde betonun hareketini hızlı bir şekilde kontrol etmek için uygulanır. Sonuç, normal olarak taze karışım da akış zamanıdır. Bu zaman borunun içerisindeki betonun düşmeye başladığı andan, borunun altında bulunan standart kovanın içine düştüğü ana kadar geçen süredir. Bu deneyde düzenegi doldurmak için yaklaşık 7,5 litre taze beton gereklidir. Genel olarak deney iki kez uygulanır. İlk sonuç değerlendirmeye alınmaz boru temizlenmeden ikinci kez uygulanır. Boru kalıp temizlenmeden elde edilen değer dikkate alınır. Bu şekilde taze betonda karışımın doldurma veya geçme kolaylığı ölçülür. Orimet uygulanması kolay, sağlam ve kendiliğinden yerleşen betonun sahadaki yerleşmesinin en güzel benzetimdir. Herhangi bir ölçü veya kuvvet gerekli

değildir. İşlem çok kolay ve hızlıdır 3 dakika içinde üç deney yapılabilir. Özellikle hazır bir zemin gerekli değildir. Düşeylikten sapma test sonuçlarını etkilememektedir. Akış zamanı değeri arttıkça karışımın viskozite değerinin arttığını gösterir. Segregasyon direnci çok düşük olan bir karışımda iri agregaların boru içerisinde yerleşmesine sebep olur, akış zamanını arttırır veya akış hareketinin aralıklı olmasına sebep olur [24].

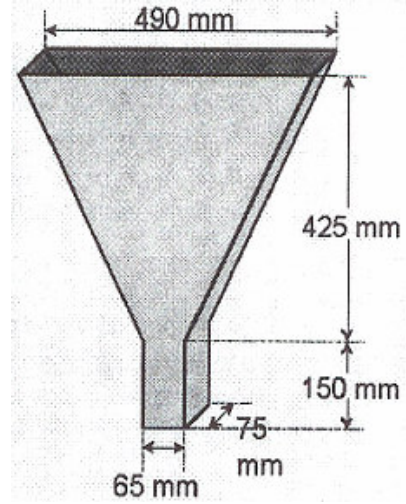


Şekil 2.16 Orimet Testi Deney Düzenegi

2.3.7.3 V-hunisi deneyi

KYB' nun dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek amacı ile yapılan bir deneydir. Akış hızının belirlenmesi ve gözlem yapılması sureti ile KYB' nun viskozitesi hakkında bilgi veren bu deney yönteminde, belirli aralıklarla belirlenen akış sürelerinin kullanılması sonucu ayrışma direnci hakkında da bilgi edinilmektedir. Bu deney için maksimum agrega boyutu 25 mm yi geçmemelidir. Deney düzeneği V şeklinde dikdörtgen kesitli bir huniden oluşmaktadır. Yaklaşık 12 – 15 litre hacme sahip taze beton gereklidir. Huninin en alt kesitinde betonun akışına izin vermek üzere kullanılan bir kapak bulunmaktadır. Deney düzeneğinin yüzeyleri nemlendirildikten sonra üst yüzeye kadar beton ile doldurulur. Alt kapağın açılması ile beton V hunisinden akmaya başlar. Kapağın açıldığı anda, üstten bakıldığında alt kesitte ışığın görüldüğü ana kadar geçen süre ölçülür. Deney sırasında sürekli ya da geçici olarak, akışın bloklanma nedeni ile engellenip engellenmediği gözlemlenir ve not edilir. Kullanılan beton deney tamamlandıktan 5 dakika sonra tekrar test edilir ve

süre tekrar kaydedilir. Yaklaşık 10 saniye olması gereken akış süresi betonun akıcılığı hakkında bilgi verirken, 5 dakika ara ile yapılan ölçümler arasındaki fark segregasyon direnci hakkında bilgi vermektedir. Normal olarak iki defa deney yapılması yeterlidir fakat üç kez yapılması önerilir [24].



Şekil 2.17 V Hunisi Deney Düzenegi

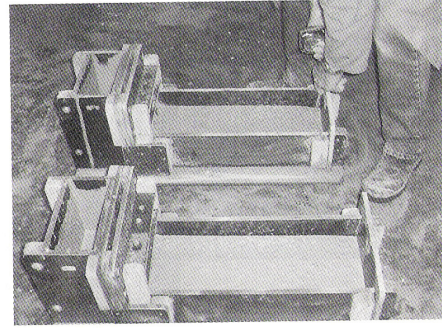
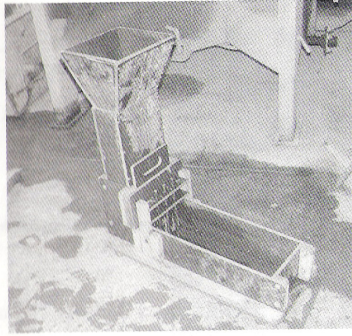
2.3.7.4 L-kutusu deneyi

Bu test kalıbı içinde bulunan donatının serbest betonun akışına etkisini tayin etmek için yapılır. L kutusu su altı betonlarının akış kabiliyetlerini değerlendirmek için tasarlanmıştır.

Betonun düşey kolon kesitinden yatay bir oluk içine akması sağlanarak yapılır. Temel olarak test sonucu engelleme oranı h_2/h_1 olarak belirlenir. Bu oran beton donatılarının arasından oluğa geçtikten sonraki yüksekliği (oluk içindeki yükseklik) h_2 'nin, düşey doğrultudaki en büyük yükseklik (düşey kolon kesitindeki yükseklik) h_1 'e bölünmesiyle hesaplanır. L-Kutusu deney düzenegi yatay ve düşey olmak üzere iki hazneden meydana gelmektedir. Düşey haznenin sonunda gerçek durumdaki donatıları simgeleyen donatılar bulunmaktadır. Bu donatıların açıklıkları kullanılan maksimum agrega boyutuna ve lif boyutuna göre değişmektedir. Dikey haznenin sonunda bir de kapak bulunmaktadır. Bu kapak aracılığı ile betonun akışına izin verilmekte ve donatılar arasından akması sağlanmaktadır. Deneye başlamadan önce düzenegin iç yüzeyleri yağlanır, nemlendirilir ve dikey haznenin ucundaki kapak kapatılır. Yaklaşık 12 litre hacmindeki beton düşey hazneye yerleştirilerek 1 dakika süre ile bekletilir. Bu gecikmenin amacı betonun oturmasına izin vermek ve şayet

varsa belirgin bir segregasyonu gözlemlemektir. Herhangi bir şekilde sıkıştırma enerjisi uygulanmadan düşey hazneye doldurulmuş olan beton, kapağın kaldırılması ile yatay haznede bulunan donatılar arasından geçerek akmaya başlar. Yatay oluk içerisinde sürme kapıdan sonra 200 mm ve 400 mm mesafede iki adet işaret bulunmaktadır. Buna ek olarak temel sonuç oluk içindeki betonun 200 mm' ye ulaştığı an T_{20} ve 400 mm 'ye ulaştığı an T_{40} saniye olarak ölçülür. Akış tamamlandıktan sonra her iki uçtaki beton yükseklikleri ölçülerek birbirine oranlanır (h_2/h_1). Bloklanma oranı olarak bilinen bu değer, T_{20} ve T_{40} değerleri ile birlikte tıkanma olasılığı hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Uygulayan kişinin tecrübesinin önem kazandığı bu deneyde geçiş yeteneği, ayrışma ve tıkanma olasılığı ile birlikte akış özellikleri hakkında da önemli verilere ulaşmak mümkün olmaktadır [24].

Bu deneyde h_2/h_1 oranının 0,8 den daha yüksek olması, T_{20} zamanının 1,5 sn den daha az, T_{40} zamanının ise 3,5 sn' den az olması önerilir [25].



Şekil 2.18 L Kutusu Deney Düzenegi

2.3.7.5 U-kutusu deneyi

Bu deney yöntemi, kendiliğinden yerleşen betonlarda ve su altı betonlarında akış yeteneği ve doldurma kapasitesini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Maksimum agrega boyutu 25mm' den küçük seçilir. U şeklindeki bu alet arada metal plaka ile iki bölmeye ayrılmış olup plaka tabana kadar devam etmemektedir ve taban kısmında kayıcı bir kapak bulunmaktadır. Mevcut kapağın önünde ise gerçek durumu temsil eden, 13mm çapında ve 35mm net açıklığa sahip donatılar bulunmaktadır. Bu donatılar yerleştirildikten sonra kapak kapatılarak ilk hazneye yaklaşık 20 litre beton doldurulur. Bir dakika boyunca burada bekletilen beton, kapağın açılması ile birlikte diğer hazneye doğru akmaya başlar. Akış tamamlandıktan sonra iki haznedeki betonun yükseklikleri ölçülerek aradaki fark belirlenir. Elde edilen bu değer ile

betonun doldurma yeteneği hakkında veri elde edilmektedir. Her iki haznedeki beton yükseklikleri 3 farklı noktadan ölçölür ve ortalama değerler kullanılarak yükseklik farkı hesaplanır. Bu farkın 30cm' den küçük olması durumunda betonun doldurma yeteneğinin yeterli olduğu kabul edilmektedir.

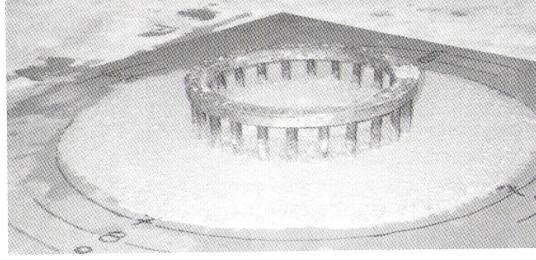


Şekil 2.19 U Kutusu Deney Düzenegi

2.3.7.6 J-Halkası deneyi

Bu deney yöntemi KYB' nun geçiş yeteneğini ve bloklanma davranışını belirleyebilmek için tasarlanmıştır. Bu deney aleti, yayılma tablası, yayılma tablasının merkezine yerleştirilen ve açıklıkları üretilen betonun özelliklerine göre değişen donatılardan oluşmuş 18 eşit alana ayrılan bir halka ile Abram's konisinden oluşmaktadır. Gerçek durumdaki donatıları temsil eden bu halkanın çapı 300mm ve donatı yüksekliği 125mm'dir. Bu deneyin uygulanması sırasında, yayılma tablasının tamamen yatay olarak yerleştirildiğinden emin olunmalı ve kullanılan her aparatın temiz ve yüzeyleri nemlendirilmiş olmalıdır. Daha sonra J-Ring yayılma tablasının üzerine sabit bir şekilde yerleştirilir ve içersine konulan Abram's konisi 7 litre taze beton ile doldurulur. Ardından koni sabit bir hızla dikey olarak çekilerek betonun tabla üzerinden akması sağlanır. Donatılar arasından geçen betonun yayılması tamamlandıktan sonra birbirine dik iki yönde çap ölçölerek ortalaması alınır. Bu sırada süre de ölçölülebilirse, davranış hakkında bilgi vermesi açısından yararlı olur. Bununla birlikte halka içinde kalan betonun yüksekliği ile halka dışındaki betonun yüksekliği 4 farklı noktadan ölçölür ve yükseklikler arasındaki fark incelenerek betonun donatılar arasından geçiş yeteneği hakkında bilgi sahibi olunur. Büyük

yayılma hem doldurma hem de akış kabiliyeti yüksek demektir. Bununla beraber yeterli geçiş kabiliyeti betonun halkanın içi ile dışı arasındaki mesafeye bağlıdır. Eğer bu kısa mesafe 10 mm den az değil ise KYB yeterli geçiş kabiliyetine sahip demektir [24].



Şekil 2.20 J Halkası Deney Düzeneği

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada katkı dozajının ve taze beton sıcaklığının kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisini incelemek amacıyla taze beton üretilmiştir. Taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1 Çimento

Beton karışımlarında CEM III B tipi yüksek fırın curufllu Set çimento kullanılmıştır. Karışımda çimento dozajı 525 kg/m^3 tür. Kullanılan çimentonun özgül ağırlığı $2,98 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri ile basınç dayanımları sırasıyla Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.1: CEM III B Çimentosunun Fiziksel Özellikleri

Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2,92
Blaine (cm^2/g)	4070
Priz başlangıcı (dk)	200
Priz sonu (dk)	235
Hacim genleşmesi (mm)	0

Tablo 3.2: CEM III B Çimentosunun Kimyasal Özellikleri

Toplam SiO_2 (%)	31,90
Çözünmeyen Kalıntı (%)	1,46
Al_2O_3 (%)	10,49
Fe_2O_3 (%)	1,96
CaO (%)	45,92
MgO (%)	4,88
SO_3 (%)	1,32
Na_2O	0,38
K_2O (%)	0,65
Kızdırma Kaybı (%)	1,67
Toplam Katkı (%)	65,62
Toplam Alkali (%)	0,81
Cl^- (%)	0,0166
7 Günlük Hidratasyon Isısı (Joul/g)	198,0

Tablo 3.3: CEM III B Çimentosunun Basınç Dayanımı

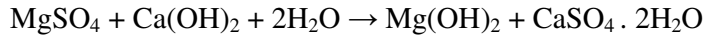
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	
2 Gün (MPa)	12,2
7 Gün (MPa)	26,7
28 Gün (MPa)	41,3

Çimentolar, hidrolik bağlayıcı maddeler olup gerek kendi başına gerekse yanı sıra katılan kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerle birlikte su ile karıştırılıp hamur haline getirildikten sonra hem havada hem de su içinde yavaş yavaş sertleşerek taş haline dönüşürler. Çimentonun ilk günlerindeki mukavemetini sıra ile C₃A ve C₃S bileşenleri temin eder. Bu bileşenlerin çimento içindeki oranı yaklaşık olarak %70-80 civarındadır. Bunların hidrasyon ısıları fazla olduğundan C₃A ve C₃S oranı fazla olan bir çimentonun kütle inşaatlarında kullanılması iç gerilmeler yapması dolayısıyla zararlıdır. Ancak çabuk mukavemet kazanılması istenilen yerlerde C₃A ve C₃S oranı fazla olan çimentolar kullanılır [26].

3.1.2 Karma Suyu

Çimentonun kimyasal reaksiyonunu sağlamak ve çimentonun hidrasyonunu sağlayarak mukavemet kazandırmasını sağlamak karma suyunun en önemli işlevidir. Bir diğer işlevi ise agrega ile çimento hamurunun birbirine yapışması, betonun boşluksuz yerleştirilip sıkıştırılması bir başka deyişle işlenebilmeyi sağlamaktır. Su beton içinde beton hacminin yaklaşık %14–21 arasında bir hacmi oluşturur. Beton özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek yabancı maddeler içinde bulundurmayan bütün doğal kaynaklı sular beton üretiminde kullanılabilir.

Beton karma suyunda en tehlikeli faktör, fazla miktarda sülfat iyonlarının bulunmasıdır. Bu hal suyun önemli miktarda magnezyum sülfat (MgSO₄) ihtiva ettiğini gösterir. İçme suları her zaman karışım suları olarak kullanılabilir. MgSO₄ tuzu, prizden önce, çimentonun serbest kireciyle, magnezyum hidroksit ve jips olmak üzere reaksiyona girdiği için zararlıdır.



% 1 den fazla sülfat (SO₃) ihtiva eden suların karma suyu olarak kullanılmaması gerekir. Kalsiyum karbonat CaCO₃ ve Magnezyum karbonat (MgCO₃), suda çözünmediklerinden beton mukavemetini etkilemezler. Ancak suda bulunan magnezyum bikarbonat Mg (HCO₃)₂ mukavemeti etkiler. Suda % 0,04 den fazla olmamalıdır. Kalsiyum klorür (NaCl) çimento ağırlığına oranla %2' ye kadar prizi

hızlandırmak ve mukavemeti arttırmak bakımından kullanılır. %3'den fazla sodyum klorür (NaCl) ihtiva eden sular, beton mukavemetine önemli tesir ettiği için zararlıdır.

Beton karışım suyunda çözülmüş halde en fazla 15gr/lit tuz ve 3 gr/lit SO₃ bulunabilir. Karışım suyunda suyun pH değeri çok önemlidir. Genellikle betonların karışım sularının pH değeri 7±1 olmasında büyük yarar vardır [26].

Su ağırlığının çimento ağırlığı oranına su/çimento oranı adı verilir. Bu oran 0,3 ile 0,6 arasında olabilir. Ancak mümkün olduğu kadar küçük olması gerektiği de unutulmamalıdır. Eklenmesi gereken su, kullanılan agreganın içindeki nem değeri çıkarılmak suretiyle yapılır. Agregatanelerinin yüzeyi, iç kısmına göre çoğunlukla daha kuru durumda bulunduğundan beton yapımı sırasında sık sık agreganın nem içeriğinin saptanması ve eklenecek su miktarının ayarlanması gerekir.

3.1.3 Katkı maddeleri

Beton katkı maddeleri, harç ve betonların taze veya sertleşmiş haldeki bazı özelliklerini değiştirmek amacıyla karıştırma işlemi sırasında veya hemen önce karışıma katılan agregat, su, hidrolik bağlayıcı gibi ana bileşenlerden farklı olan maddelerdir.

Katkı maddeleri genel olarak beton içinde %8'lik bir hacim işgal ederler. Katkı maddelerinin, temel üretim kurallarına aykırı hazırlanan bir betonun kötü niteliklerini iyileştirmeleri beklenemez. Katkı maddelerinin seçimi ve kullanılmasında bilinçli davranılması gerekir. Çünkü betonun bazı özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan bir katkı maddesi, betonun bazı özellikleri üzerinde olumsuz etki gösterebilir veya beklenen olumlu etkiyi göstermeyebilir. Bu maddelerin yerinde ve özelliğine göre uygun miktarda kullanılmasıyla çimentoların mukavemet artışını hızlandırmak, daha az su kullanarak mukavemeti arttırmak, soğuk havalarda beton dökmek, dış etkilere karşı daha dayanıklı beton üretmek gibi olumlu sonuçlar elde edilebilir [19].

3.1.3.1 Akışkanlaştırıcı katkı maddesi

Deneysel çalışmada su ihtiyacını büyük oranda azaltan, kendiliğinden yerleşen betonlar için üretilmiş yeni nesil bir süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi olan, Grace firmasının ürettiği ADVA Flow 450 katkı maddesi kullanılmıştır.

3.1.3.2 Akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların teknik özellikleri

Beton karışımlarında kullanılan kimyasal katkı çok küçük dozajda bile yüksek çökme özelliği gösteren basınç dayanımını çok az etkileyen özelliğe sahiptir. Hızlı yayılma özelliği gösteren ADVA priz süresi ve yüksek çökme özelliği arasında mükemmel bir kombinasyon göstermektedir. Özellikle süper akışkanlaştırıcı kullanılmayan aynı çökme değerine sahip betonlarla kıyaslandığında segregasyon direnci çok yüksektir. ADVA betona kolayca sonlama özelliği kazandırmakta, yapışkanlık özelliği bulunmamaktadır.

Akışkanlaştırıcı kimyasallar, beton üretiminde genellikle, sabit işlenebilirlikte su kesme amacıyla kullanılmaktadır. Bazı durumlarda ise örneğin yüksek işlenebilirliğe sahip kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları gibi sadece işlenebilirliği arttırmak amacıyla da kullanılabilirler.

Akışkanlaştırıcılar su kesme yeteneklerine göre normal (%10–15 arası su kesebilenler), süper (%15–30 arası su kesebilenler) ve hiper (%30'un üstünde su kesme özelliği olanlar) olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma performans dayalı bir sınıflandırma olduğundan katkının kimyasal özelliğini yansıtmaz. Ama çoğunlukla lignosülfonat bazlı katılardan normal, melamin ve naftalin sülfonat formaldehit bazlılardan süper ve polikarboksilat bazlılardan hiper akışkanlaştırıcılar üretilmektedir.

İkinci nesil olarak adlandırılacak katkılar Melamin (SMF) ve Naftalin (SNF) formaldehit sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcılardır. Süper akışkanlaştırıcılar gerek su kesme açısından gerekse akışkanlık sağlama açısından lignosülfonatlardan çok daha etkilidir. Melamin ve naftalin sülfonat esaslı katkılarla uygulanmada karşılaşılan en sık sorun zamanla betonda meydana gelen işlenebilirlik kaybıdır. İşlenebilirlik kaybını çözmek için 3. nesil olarak adlandırılan polikarboksilat bazlı katkılar geliştirilmiştir. Bu katkılar, yüksek oranda su kesme özelliğine sahip olup aynı zamanda yüksek işlenebilirlik etkisi sağlayan katkılardır.

Kimyasal katkı maddeleri, çimento ile elektriksel, fiziksel ya da fizikokimyasal bir etkileşime girip çimentonun hidrasyon hızını ve oranını değiştirebilirler. Ancak temel etkisi fizikseldir. Kimyasal katkılar, çimento hamuru ile kimyasal tepkimeye girmemekte fakat dolaylı yoldan çimento hamurunun hidrasyonunda hızlandırıcı veya yavaşlatıcı etki gösterebilmektedir [27].

3.1.4 Agregalar

Deneysel çalışmada ince malzeme olarak Ergören- Şile doğal kumu ve Kancataş Maden – Gebze kırma kumu kullanılmıştır. İri agrega olarak Kancataş Maden – Gebze Kırma taş II nolu ve Kırma taş I nolu agregalar kullanılmıştır. Agrega karışımında %27 oranında doğal kum, %23 oranında kırma kum, %22 kırma taş I ve %28 oranında kırma taş II kullanılmıştır. Agrega deneyleri TS 706 EN 12620 ‘ ye uygun olarak yapılmıştır. Beton karışımlarında kullanılan agregaların tane yoğunluğu ve su emme oranı TS EN 1097-6 ya uygun olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.4’de gösterilmiştir. Agrega karışımında maksimum dane çapı 25 mm’dir. Agregaların tane boyutları TS EN 933-1’ e uygun olarak yapılmıştır. Elek analizi sonuçları Tablo 3.5’ de belirtilmiştir. Agrega karışımında B32 eğrisi referans olarak alınmış olup, agrega karışımın granülometri eğrisi B32 eğrisine yakındır. Şekil 3.1’de beton agrega karışımın granülometri eğrisi gösterilmektedir

Beton karışımında tasarım yapılmadan önce agrega elek serisinden elenerek tane boyutu dağılımı belirlenir. Sonuçlar grafik üzerinde gösterilerek granülometri eğrisi çizilir. Tane boyutu dağılımı ile doluluk oranı yüksek boşluk oranı az bir karışım elde edilir. İyi bir gradasyona sahip ve tane yoğunluğu yüksek olan agregalarla yapılan beton daha yüksek dayanıma sahip ekonomik bir beton olmaktadır.

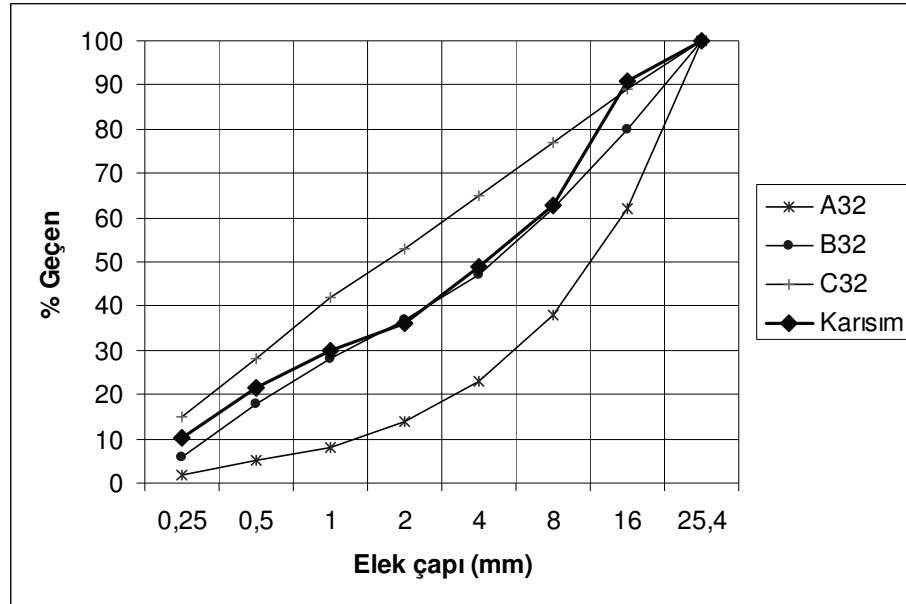
Agregaların granülometrik yapısı, üretilecek betonun doluluğuna, mekanik direncine ve geçirimsizliğine etki eder. Bu sebepten dolayı iri tanelerin arasında kalan boşluk ufak çaplı tanelerle doldurulmalıdır. Maksimum kompakte ve minimum yüzey alanı çelişkisinde optimum çözüme ulaşmak için ideal granülometri eğrileri tayin edilmiştir [28].

Tablo 3.4:Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega Türü	Özgül Ağırlık (Mg/m ³)	Su Emme (%)
Kırmataş II	2,72	0,40
Kırmataş I	2,71	0,50
Doğal Kum	2,60	1,0
Kırma Kum	2,70	0,80

Tablo 3.5: Agregaların Tane Boyutu Dağılımı

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)				
	Kırmataş II	Kırmataş I	Kırmakum	Doğal Kum	Karışım
25,4	100	100	100	100	100
16	68,0	100	100	100	91,0
8	1,3	55,5	100	100	62,6
4	0,8	3,3	91,7	100	49,0
2	0,8	1,6	41,6	96,8	36,3
1	0,8	1,4	23,1	89,7	30,1
0,5	0,8	1,2	10,2	68,8	21,4
0,25	0,8	1,1	3,8	32,8	10,2
0,125	0,8	1,0	2,0	5,4	2,4
0,063	0,6	0,9	1,6	3,4	1,7
Karışım	%28	%22	%23	%27	%100



Şekil 3.1 Beton Agregası Karışımının Granülometrisi ve Referans Eğrileri

3.2 Beton Karışımı

Bu çalışmada katkı yüzdesi ve sıcaklık değiştirilmiş diğer bileşenler sabit tutulmuştur. Su/çimento 0,31 değerinde hesaplanmıştır. Sıcaklığın kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisini belirlemek için 15°C, 20°C, ve 30°C' de taze beton üretilmiştir. Kimyasal katkının etkisini belirlemek için laboratuvar ortamında

farklı katkı dozajlarında beton üretilmiştir. 15°C’ de çimento ağırlığının %1, %1.05, %1.10 oranlarında, 20°C’ de %0.90, %1.00, %1.10 oranlarında ve 30°C’ de %0.95, %1.0, %1.10 oranlarında katkı kullanarak 9 farklı karışım üretilmiştir. Üretilen betonun karışım dizaynı 1 m³ için Tablo 3.6’ da belirtilmiştir.

Tablo 3.6: Beton Karışım Dizaynı

Malzemeler	Hacim(dm ³)	Ağırlık(kg/m ³)
Çimento	180	525
Su	162	162
Doğal Kum	171	445
Kırma Kum	146	389
Kırmataş I	139	376
Kırmataş II	177	480
Katkı(HRWR)	5,0	5,25
Hava İçeriği	20	-
Toplam	1000	2389

3.3 Üretimde İzlenen Sıra

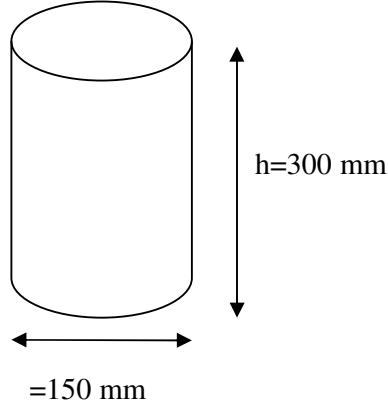
- Agregalardan oluşan kuru karışımın 60 saniye süre ile karıştırılması
- Çimento ve karma suyunun yarısı eklenerek 60 saniye süre ile karıştırılması,
- Karma suyunun kalan yarısının eklenmesi ve 60 saniye süre ile karıştırmaya devam edilmesi,
- Akışkanlaştırıcı katkının eklenmesi
- Karışımın buharlaşmaya engel olacak şekilde 1 saat bekletilmesi
- Yayılma deneyi, U kutusu deneyinin yapılması,
- Birim ağırlık deneyi, hava miktarının ölçülmesi,
- Betonun kalıplara doldurulması

Numuneler üretimden bir gün sonra kalıptan çıkarılarak nem odasına alınmıştır.

3.4 Numune Boyutları ve Şekilleri

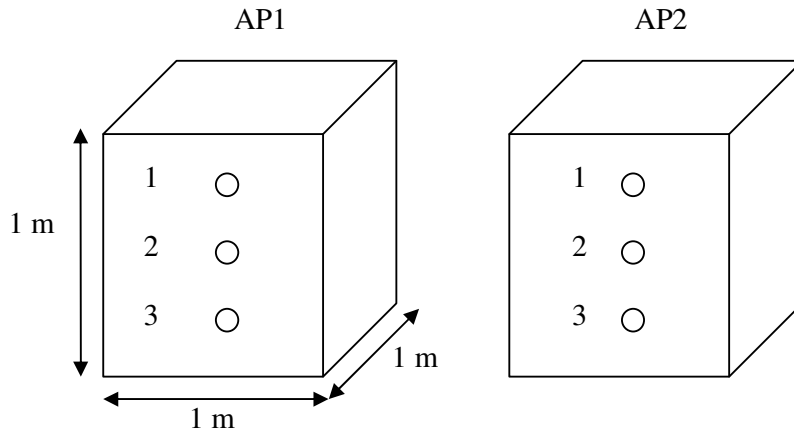
Bu çalışmada laboratuvar ortamında her sıcaklık değeri için 3 farklı katkı oranına sahip 9 silindir ve aynı silindirden 3 adet olmak üzere toplam 27 adet silindir numune

üretimiştir. Aynı özelliklere sahip numunelerden birincisi basınç dayanımı, ikincisi yüzey görüntü analizi ve üçüncüsü yarmada çekme dayanımı için ayrılmıştır. Yarmada çekme dayanımı için ayrılan silindirler deneyden önce (150 x 100)mm boyutlarında 3 adet disk oluşacak şekilde kesilmiştir.

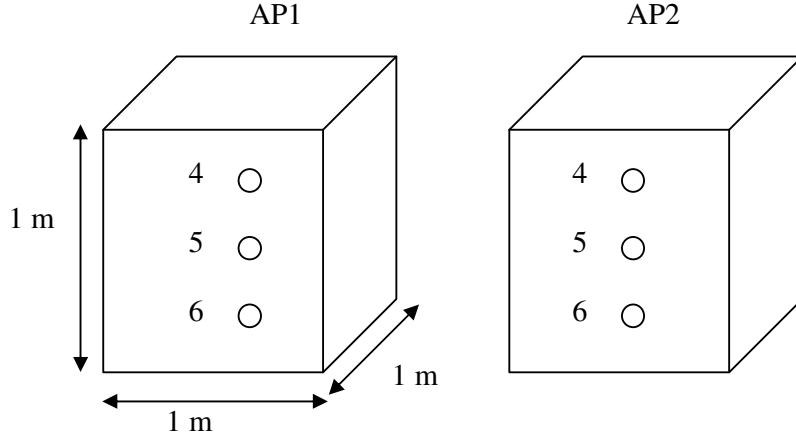


Şekil 3.2: Numune Şekli ve Boyutları

Şantiye ortamında ise 1 m^3 hacminde küp şekilli beton üretilmiş olup şekil 3.3 ve şekil 3.4' te görüldüğü gibi küplerin ön ve arka yüzünden yatay olarak her bir yön için 3 adet toplam 12 adet karot silindir numune alınmıştır.



Şekil 3.3: Şantiye Betonun Ön Yüzünden Karot Alınma Biçimi.



Şekil 3.4: Şantiye Betonun Arka Yüzünden Karot Alınma Biçimi.

3.5 Numune Kodları

Bu çalışmada laboratuvarda üretilen beton numunelerde ilk bölüm sıcaklık S harfi ve yanına rakamla derecesini ikinci bölüm ise katkı K harfi ve rakamla dozajını göstermektedir.

Tablo 3.7:Laboratuvar Numune Kodları ve Açıklaması

Numune Kodlaması	Açıklaması
S15_K1,00	Sıcaklık 15°C ve Katkı Dozajı %1,00
S15_K1,05	Sıcaklık 15°C ve Katkı Dozajı %1,05
S15_K1,10	Sıcaklık 15°C ve Katkı Dozajı %1,10
S20_K0,90	Sıcaklık 20°C ve Katkı Dozajı %0,90
S20_K1,00	Sıcaklık 20°C ve Katkı Dozajı %1,00
S20_K1,10	Sıcaklık 20°C ve Katkı Dozajı %1,10
S30_K0,95	Sıcaklık 30°C ve Katkı Dozajı %0,95
S30_K1,00	Sıcaklık 30°C ve Katkı Dozajı %1,00
S30_K1,10	Sıcaklık 30°C ve Katkı Dozajı %1,10

Bu çalışmada şantiyede üretilen küplerin her biri AP harfi (after pumping) ve rakamla 1 ve 2 şeklinde karışım sürelerini belirtmekte sırasıyla 120sn ve 90sn olarak göstermektedir.

Tablo 3.8: Şantiye Numune Kodları ve Açıklaması

Numune Kodlaması	Açıklaması
AP1	Şantiyede Karışım Süresi 120 Saniye
AP2	Şantiyede Karışım Süresi 90 Saniye

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Laboratuvar Taze Beton Deney Sonuçları

Taze beton deneylerinden laboratuvarında, serbest yayılma, T_{50} süresi, U kutusu deneyi, birim ağırlık ve hava miktarının ölçülmesi testleri yapılmıştır.

4.1.1 Serbest yayılma deneyi

Bu deney betonun kendiliğinden yayılma özelliğini ölçmek için uygulanmıştır. Klasik çökme hunisi kullanılmıştır. 30cm yüksekliğe sahip, alt silindir çapı 20cm ve üst silindir çapı 10cm olan çökme hunisi yayılma tablasının üzerine konmuştur. Taze beton şişleme yapılmaksızın koniğe doldurulup yukarı dikey olarak çekilmek suretiyle yayılma sağlanmıştır. Yayılma bittikten sonra birbirine dik iki doğrultuda yayılma çapları ölçülmüş ve ortalamaları alınarak betonun yayılma çapı bulunmuştur. Deney karışımdan 1 saat sonra katkının etkisini gözlemlemek için karışımdan 1 saat sonra tekrarlanmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.1’ de gösterilmektedir. Şekil 4.1’de serbest yayılma deneyi görülmektedir.



Şekil 4.1: Serbest Yayılma Deneyi Ölçümü

Tablo 4.1: Serbest Yayılma Deneyi Sonuçları

Karışım No	Serbest yayılma (Karışımından hemen sonra) mm	Serbest yayılma (Karışımından 60 dk sonra) mm
S15_K1,00	450	610
S15_K1,05	470	550
S15_K1,10	510	705
S20_K0,90	405	475
S20_K1,00	555	700
S20_K1,10	645	750
S30_K0,95	465	430
S30_K1,00	585	645
S30_K1,10	600	745

4.1.2 T 50 süresi tayini

Yayılma tablası önceden nemlendirilmiş ve üzerine 50cm çaplı bir daire çizilmiştir. Taze beton koninin içine şişleme yapılmadan yerleştirildikten sonra koni dikey olarak yukarıya doğru kaldırılmıştır. Taze beton kendi ağırlığı ile yayılırken betonun 50cm'ye yayılma süresi önceden çizilen 50 cm çaplı daire yardımıyla ölçülmüş ve T₅₀ olarak kaydedilmiştir. Deney karışımından 1 saat sonra tekrarlanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.2' de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: T₅₀ Deneyi Sonuçları

Karışım No	T ₅₀ 500 mm Yayılma (Karışımından hemen sonra) sn	T ₅₀ 500 mm Yayılma (Karışımından 60 dk sonra) sn
S15_K1,00	*	17,3
S15_K1,05	*	16
S15_K1,10	14	10
S20_K0,90	*	*
S20_K1,00	9	7,1
S20_K1,10	6,5	5,9
S30_K0,95	*	*
S30_K1,00	7,9	8,2
S30_K1,10	9,3	7,5

(*) Karışım 500 mm ye ulaşmamıştır.

4.1.3 U kutusu deneyi

U şeklinde olan bu alet bir orta duvar ile iki hazneye ayrılmıştır. Bu orta duvar tabana kadar devam etmemekte olup taban kısmında kayıcı bir kapak bulunmaktadır.

Mevcut kapağın önünde gerçek durumu temsilen 13mm çapında ve 35mm net açıklığa sahip donatılar bulunmaktadır. Bu donatıların yerleştirilmesinden sonra kapak kapatılmış ve ilk hazneye yaklaşık 20 litre taze beton doldurulmuştur. Bir dakika bu haznede bekletilen beton kapak açıldıktan sonra diğer hazneye doğru akmaya başlamıştır. Akma işlemi tamamlandıktan sonra diğer haznedeki beton yükseklikleri ölçülmüştür. Deney sadece karışımdan 1 saat sonra yapılmıştır.

Tablo 4.3: U Kutusu Deney Sonuçları

Karışım No	U Kutusu (Karışımdan 60 dk sonra) mm
S15_K1,00	345
S15_K1,05	330
S15_K1,10	345
S20_K0,90	280
S20_K1,00	345
S20_K1,10	342
S30_K0,95	270
S30_K1,00	335
S30_K1,10	301

4.1.4 Birim ağırlık deneyi

Üretilen betonlar kalıba yerleşmeden önce birim ağırlığı TS EN 12350-6 standardına uygun olarak bulundu. Birim ağırlık deneyi sonuçları Tablo 4.4' de gösterilmiştir. Deney karışımdan hemen sonra ve 1 saat sonra olmak üzere iki kez yapıldı.

Tablo 4.4: Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Karışım No	Taze Birim Ağırlık kg/m ³ (Karışımdan sonra)	Taze Birim Ağırlık kg/m ³ (Karışımdan 60 dk sonra)
S15_K1,00	2395	2396
S15_K1,05	2386	2385
S15_K1,10	2393	2380
S20_K0,90	2383	2386
S20_K1,00	2391	2413
S20_K1,10	2399	2436
S30_K0,95	2389	2388
S30_K1,00	2369	2408
S30_K1,10	2398	2419

4.1.5 Hava miktarının ölçülmesi

Üretilen betonlar kalıba yerleşmeden önce hava miktarı TS EN 12350–7 standardına uygun olarak basınç ölçme metoduyla bulundu. Hava miktarı deneyi sonuçları Tablo 4.5’ de gösterilmiştir. Deney karışımdan 1 saat sonra yapılmıştır.

Tablo 4.5: Taze Beton Hava Miktarı Sonuçları

Karışım No	Basınç Metodu İle Hava miktarı (Karışımdan 60 dk sonra) %	Hesap yöntemiyle hava miktarı %
S15_K1,00	1,9	1,7
S15_K1,05	1,8	2,2
S15_K1,10	1,5	2,4
S20_K0,90	1,5	2,2
S20_K1,00	1,1	1,0
S20_K1,10	0,6	0,1
S30_K0,95	2,1	2,1
S30_K1,00	1,4	1,2
S30_K1,10	1	0,8

4.2 Laboratuvar Sertleşmiş Beton Deneyleri

Üretilen betonlar silindir kalıplara dökülür. Su kaybını en aza indirmek için üzerleri örtülür ve bir gün süreyle kalıpta bırakılır. Daha sonra kalıptan çıkarılan numuneler % 98 bağıl neme sahip rutubet odasında bekletilir.

4.2.1 Silindir basınç deneyi

Basınç deneyinde 150x300 mm olan silindir numuneler kullanılmıştır. 28 gün boyunca %98 bağıl nemde 20 ± 2 °C’ de rutubet odasında bekletilmiş, silindir numuneler rutubet odasından alınmış tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Basınç deneyi İ.T.Ü Marmaray Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiş ve 3000 kN’ luk beton pres makinesi kullanılmıştır. Basınç deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.6’ da verilmiştir.

Tablo 4.6: Silindir Basınç Deneyi Sonuçları

Numune No	28 günlük Basınç Dayanımı(Mpa)
S15_K1,00	66,91
S15_K1,05	66,09
S15_K1,10	61,72
S20_K0,90	59,33
S20_K1,00	64,42
S20_K1,10	60,43
S30_K0,95	53,39
S30_K1,00	56,15
S30_K1,10	48,00

4.2.2 Disk yarma – çekme deneyi

%98 bağıl nemde 20±2 °C' lik rutubet odasında bekletilen silindir numunelerden 7. günde yarma çekme deneyi uygulanmıştır. Çapı 150 mm yüksekliği 300 mm olan silindirler üç adet 150x100 mm boyutunda disklerle ayrılmıştır. Bu deney için 3000 kN' luk Beton pres makinesi kullanılmıştır. Gerilme hesaplanırken (4.1) bağıntısı kullanılmıştır. Bu bağıntıda σ ; yarma-çekme dayanımı (Mpa), P; yük (N), D; çap (mm), L; yükseklik (mm) dir.

$$\sigma = [2P/\pi DL], N/mm^2 \quad (4.1)$$

Yarma - çekme deneylerinde elde edilen sonuçlar Tablo 4.7' de verilmiştir.

Tablo 4.7: Disk Yarma – Çekme Deneyi Sonuçları

Numune No	7 Günlük Yarma- Çekme Dayanımı (Mpa)		
	Üst	Orta	Alt
S15_K1,00	4,20	4,30	4,79
S15_K1,05	3,94	3,71	4,28
S15_K1,10	3,50	3,67	3,95
S20_K0,90	4,91	4,80	4,21
S20_K1,00	3,08	4,24	4,87
S20_K1,10	5,20	5,00	5,10
S30_K0,95	3,48	4,28	3,87
S30_K1,00	4,25	3,80	3,94
S30_K1,10	4,51	4,63	4,38

4.3 Şantiyede Yapılan Deneyler

Karışım süresi 120 saniye olan API kodlu numunelere ait şantiyede yapılan taze beton deney sonuçları Tablo 4.8' de belirtilmiştir. Pompadan önce olarak belirtilen sonuçlar, beton üretildikten 1 saat sonra yapılmıştır.

Tablo 4.8: AP1 Taze Beton Deney Sonuçları

AP1	Pompadan Önce	Pompadan Sonra(65 dakika)	Pompadan Sonra(95 dakika)
Serbest yayılma(mm)	775	585	490
T ₅₀ süresi (sn)	3,6	10	-
U kutusu (mm)	345	305	245
Birim ağırlık(kg/m ³)	2385	2377	2376
Beton sıcaklığı(°C)	20	22,7	21,1
Hava miktarı(%)	1,3	2,2	2,5
Ortam sıcaklığı(°C)	12,6	12,3	12,1

Karışım süresi 90 saniye olan AP2 kodlu şantiyede yapılan taze beton deney sonuçları Tablo 4.9' de belirtilmiştir.

Tablo 4.9: AP2 Taze Beton Deney Sonuçları

AP2	Pompadan Önce	Pompadan Sonra(65 dakika)	Pompadan Sonra(95 dakika)
Serbest yayılma(mm)	740	730	680
T ₅₀ süresi (sn)	6,3	6,5	9,5
U kutusu (mm)	340	340	340
Birim ağırlık(kg/m ³)	2390	2383	2382
Beton sıcaklığı(°C)	19,4	20,1	18,2
Hava miktarı(%)	1,1	1,7	2,0
Ortam sıcaklığı(°C)	11,5	11,4	11,2

Şantiyede üretilen 1m³ küplerden alınan karot numuneler laboratuvarında 7,11 ve 15. günlerde basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları Tablo 4.10' da belirtilmiştir.

Tablo 4.10: AP1 karot silindir basınç dayanımı sonuçları

Numune Kodu	Yaş (Gün)	Basınç Dayanımı(MPa)
AP1-1	7	39,5
	11	48,0
	15	49,5
AP1-2	7	37
	11	51
	15	58
AP1-3	7	35,5
	11	47,5
	15	53,0

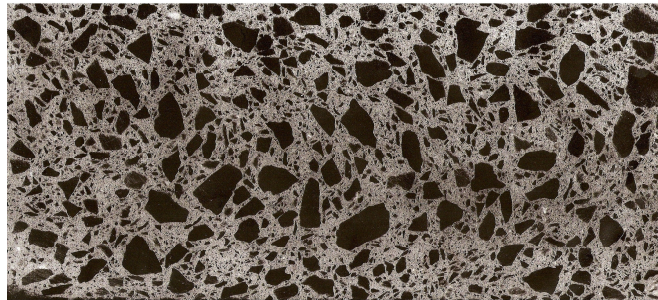
Tablo 4.11: AP2 karot silindir basınç dayanımı sonuçları

Numune Kodu	Yaş (Gün)	Basınç Dayanımı(MPa)
AP2-1	7	41,5
	11	53,0
	15	56
AP2-2	7	41,5
	11	55
	15	58,5
AP2-3	7	40,5
	11	48,0
	15	50,0

4.4 ImageJ Programı İle Yüzey Görüntü Analizi

Image J, A.B.D. Ulusal Sağlık Enstitüsü (National Institute of Health) tarafından geliştirilen genel amaçlı görüntü analizi programıdır [32].

Görüntü analizi, üretilen silindir numunelerin dik olarak kesilmesiyle elde edilen 150x300 mm’lik alandaki agregaların beton içerisindeki dağılımının incelenmesi ile sağlanmıştır. İlk olarak beton kesit, taş cilası ile cilalanarak yüzeydeki tüm agregalar görünür duruma getirilmiştir. Kuruyan yüzeyin fotokopisi çekilerek agregaların görüntüsü kâğıt ortamına aktarılmıştır. Şekil 4.2 de görüldüğü gibi yüzey elde edilmiştir.



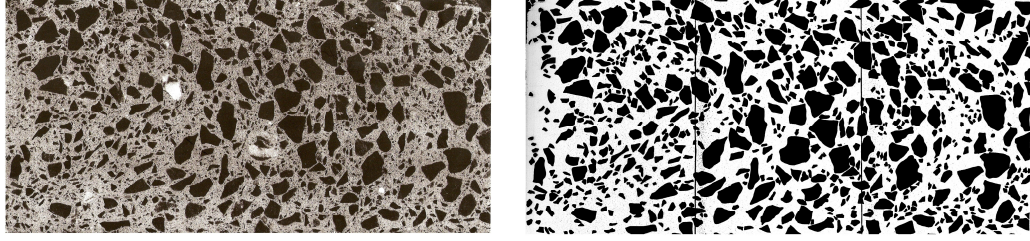
Şekil 4.2: Görüntü Analizi İçin Silindir Numune Kesiti

Kâğıt üzerine aktarılan kesitlerin üzerine asetat kâğıdı konulmak suretiyle kalıcı kalemle 4mm üzerindeki agregalar çizilmiştir. Daha sonra tarayıcı yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılan resim ‘PAINT’ yardımıyla içleri doldurularak siyah renge boyanmıştır. Dosya formatından ‘JPEG’ seçilerek kaydedilmiştir. Agregalar

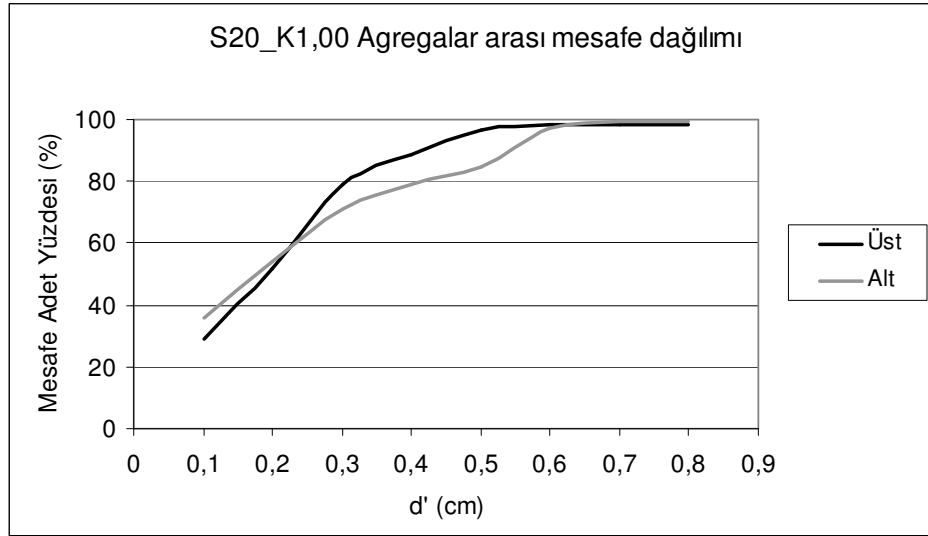
Şekil 4.3' deki gibi hazırlandıktan sonra ImageJ programı ile yüzey analizi yapılmıştır. ImageJ programında uygulanan işlemler aşağıdaki gibidir.

1. ImageJ programı çalıştırılır. 'File' menüsünden 'Open' ile analizi yapılacak numuneye ait resim seçilir.
2. 'Image' menüsünden 'Type -8- bit' seçilir.
3. 'Process' menüsünden 'Binary – Threshold' seçilir.
4. Resim üzerinde daha önce oluşturulan 1 cm referans çizgi yardımı ile uzaklığın x veya y koordinatı üzerindeki değeri ImageJ programının Toolbar'ının altından ölçülür. Gerçek uzunluğun resimde kaç Pixel' e denk geldiği bulunur, kaydedilir.
5. 'Analyze' menüsünden 'Set Scale' seçilir. Açılan pencerede 'Distance in Pixels' kısmına resim üzerinde referans çizgi uzunluğuna karşılık gelen madde 4' de kaydedilen pixel değeri yazılır. 'Known Distance' '1.0', 'Pixel Aspect Ratio' '1.0' ve 'Unit of Length' kısmına 'cm' yazılır. Resimdeki pixel değeri 1cm ye ayarlanmış olur.
6. 'Analyze' menüsünden 'Set Measurements' seçilir. Açılan pencerede hesaplanması istenilen değerler seçilir. Bu çalışma için 'Area' ve 'Center of Mass' değerleri seçilmiştir.
7. 'Analyze' menüsünden 'Analyze Particles' seçilir. Bu çalışmada açılan pencerede 'size cm²' kısmına '0.16-infinity' yazılarak ortalama 4 mm'nin altındaki agregalar hesap dışı bırakılmıştır. Aynı pencerede 'Display Results' işaretlenir. 'Ok' işaretlenerek istenilen değerlerin analizi yapılır.
8. Elde edilen değerler 'File' menüsünden 'Save As' seçilerek excel formatında kaydedilir.

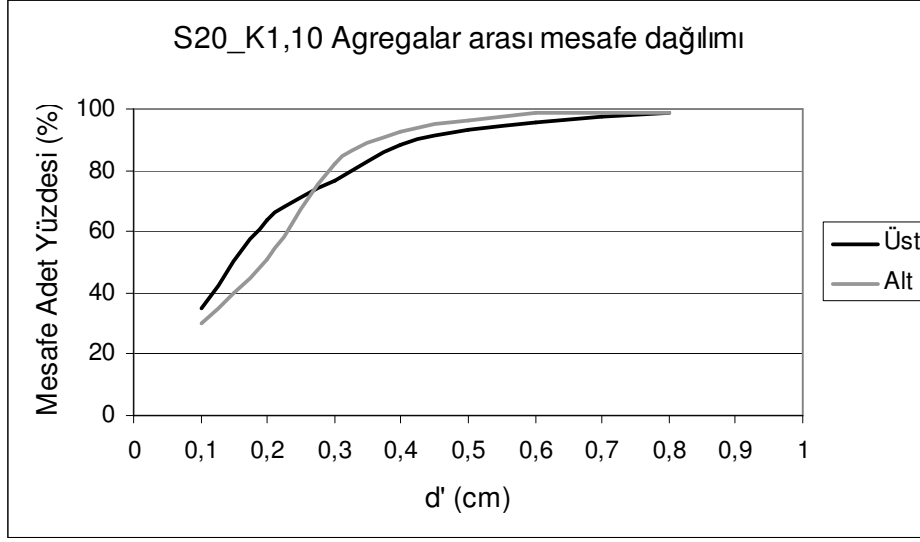
Excel programıyla satır ve sütun indisi agrega sayısı olacak şekilde matris oluşturularak her bir agrega arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Her bir karışım için agregalar arası mesafeler ve agrega yüzey alanı ayrı ayrı incelenmiştir. Şekil 4.3'deki gibi bilgisayar ortamına aktarılan agregalar, analiz yapılarak şekil 4.4 ve şekil 4.5'te olduğu gibi agregalar arası mesafe dağılımlarını gösteren grafikler elde edilmiştir.



Şekil 4.3: ImageJ Programı ile Yüzey Analizinin Yapılması



Şekil 4.4: S20_K1,00 Kodlu Numunenin Üst ve Alt Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi Dağılımı



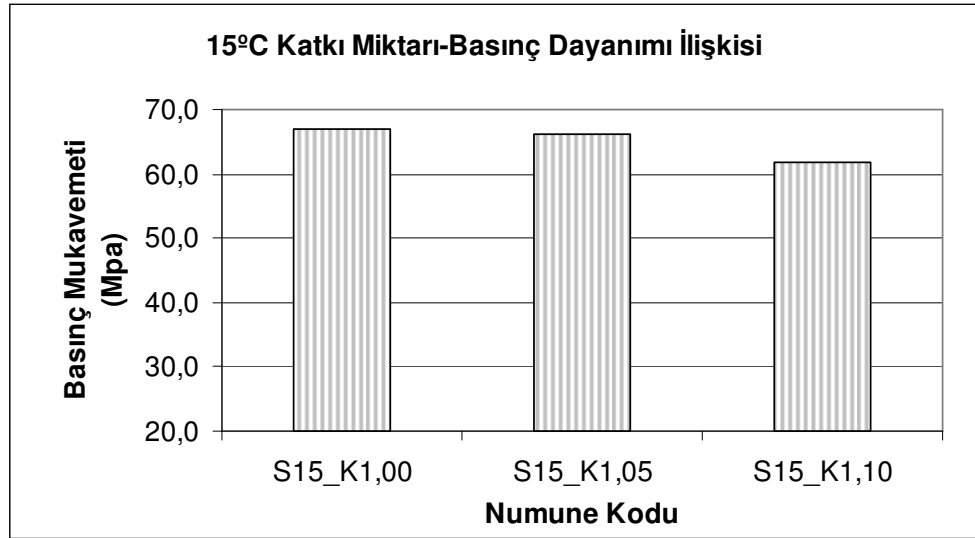
Şekil 4.5: S20_K1,10 Kodlu Numunenin Üst ve Alt Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi Dağılımı

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Sertleşmiş Beton Deneyleri

5.1.1 Basınç dayanımına katkı dozağı ve sıcaklık etkisi

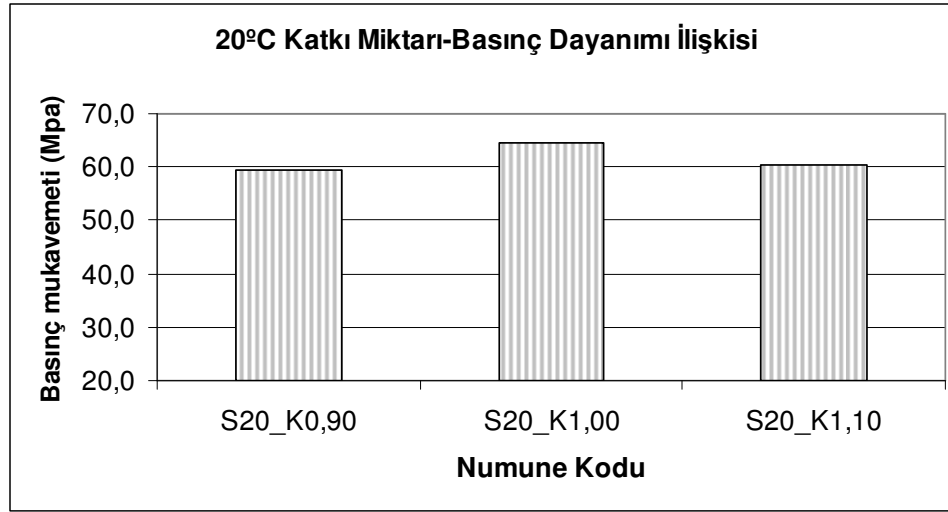
Şekil 5.1' de 15°C sıcaklığındaki betonda %1, %1,05 ve %1,10 oranlarında üç farklı dozajda katkı kullanılarak üretilen betonlara ait silindir basınç mukavemetlerindeki değişim görölmektedir. Deneysel çalışmaya göre, S15 numunesinde maksimum basınç dayanımı %1,0 katkı oranında gözlenmiştir. Katkı oranı %1,0'den %1,05' e çıkarıldığında basınç dayanımının değişmediği, katkı oranı %1,10 'a çıkarıldığında basınç dayanımının %8 azaldığı görölmüştür.



Şekil 5.1: S15 Kodlu Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Değişimi

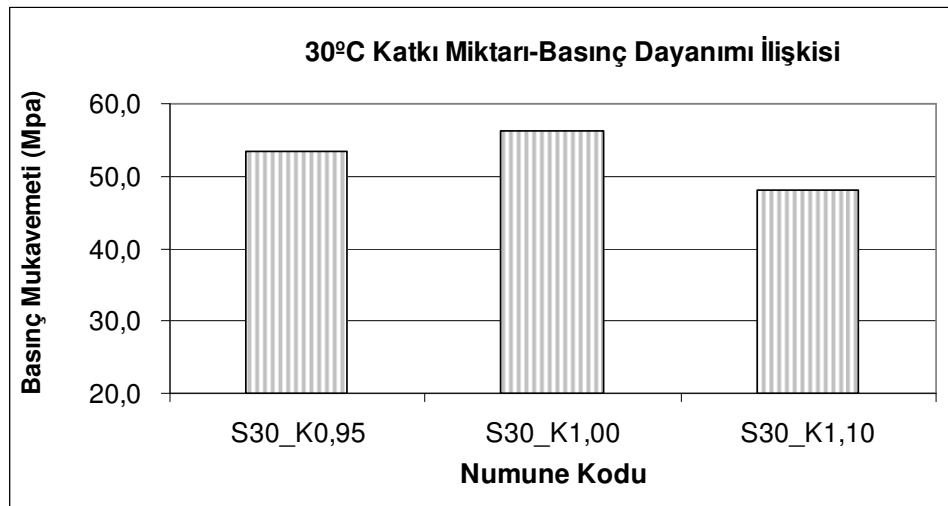
Şekil 5.2' de 20°C sıcaklığındaki betonda %0,90, %1,0 ve %1,10 oranlarında üç farklı katkı miktarı için basınç dayanımlarındaki değişim görölmektedir. Maksimum basınç dayanımı %1,0 katkı oranı için gözlemlenen bu karışımda katkı miktarı %1'den %1,10'a arttırıldığında basınç dayanımında %7 oranında azalma görölmüş, katkı % 0,90' a düşürüldüğünde basınç dayanımı %9 oranında azalmıştır. Katkı miktarının arttırılması veya azaltılması ile basınç dayanımı daha düşük sonuca eğilim

göstermektedir. Bu yüzden maksimum basınç dayanımı için en uygun katkı dozajı belirlenmelidir.



Şekil 5.2: S20 Kodlu Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Değişimi

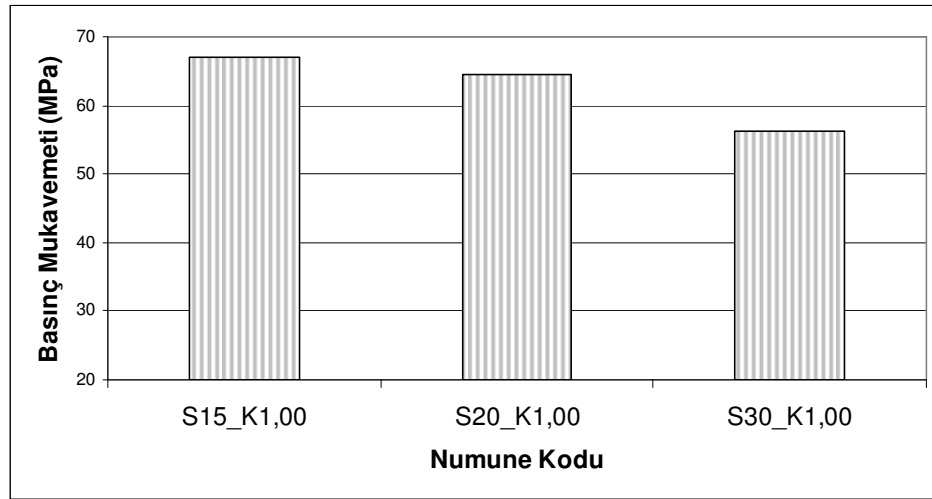
Şekil 5.3' de ise 30°C sıcaklığındaki betonda %0,95, %1,0 ve %1,10 oranlarında üç farklı dozajda katkı ile hazırlanan karışımlara ait silindir numunelerin basınç dayanımlarındaki değişim görülmektedir. Bu sıcaklık değerinde de maksimum basınç dayanımı %1,0 katkı oranında görülmüştür. Katkı oranı %1'den %0,95'e düşürüldüğünde basınç dayanımı % 5 oranında azalmış, katkı oranı %1,10' a arttırıldığında basınç dayanımında %17 oranında azalmıştır. 30°C'de üretilen betonda dayanımın diğer sıcaklıklardan düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 5.3: S30 Kodlu Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Değişimi

Farklı oranlarda katkı kullanarak segregasyonun olup olmadığı incelenen numuneler hakkında, genel olarak kıyaslama yapılırsa katkı miktarı optimum değeri aştığında segregasyon meydana gelmekte ve basınç dayanımı düşmektedir. Aynı şekilde katkı miktarı gereğinden az kullanıldığında işlenebilirlik de azaldığı için basınç dayanımı azalmıştır. Sıcaklık değişiminin etkisi incelendiğinde beton sıcaklığının yüksek olması işlenebilirliği azaltmış, beton içerisinde hava miktarında artışa sebep olmuş ve basınç dayanımında düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Sıcaklığın basınç dayanımına etkisi Şekil 5.4' de gösterilmiştir. Beton sıcaklığı hariç diğer hesapların eşit olduğu %1 katkıya sahip üç karışım incelendiğinde maksimum basınç dayanımı 15°C' de görülmüştür. 20°C'deki beton da yüksek performans göstermiş fakat 30°C' de üretilen beton %19 oranında daha düşük dayanım göstermiştir.



Şekil 5.4: Beton Sıcaklığının Basınç Dayanımına Etkisi

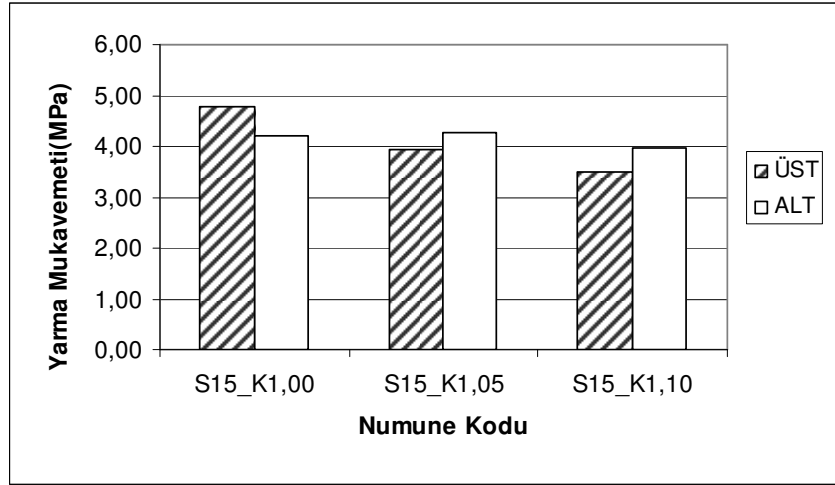
5.1.2 Yarma – çekme dayanımı agrega yüzey alanı karşılaştırması

Şekil 5.5' de 15°C' de %1, %1,05 ve %1,10 oranlarında üç farklı katkı ile üretilen silindir numunelerin üst ve alt bölümlerinden kesilerek elde edilen disklere ait 7 günlük yarma – çekme mukavemetlerindeki değişim görülmektedir. S15 kodlu numunelerde %1,05 ve %1,10 katkı oranı için alt kısım mukavemet değerinin üst kısma göre daha yüksek olduğu görülmektedir. %1 katkı oranı için alt bölüm üst diske göre daha düşük değer göstermiştir.

Görüntü analizi sonucuna göre kesitteki toplam agrega yüzey alanı hangi bölümde fazla ise yarma çekme dayanımı da aynı bölümde yüksek olduğu görülmüştür.

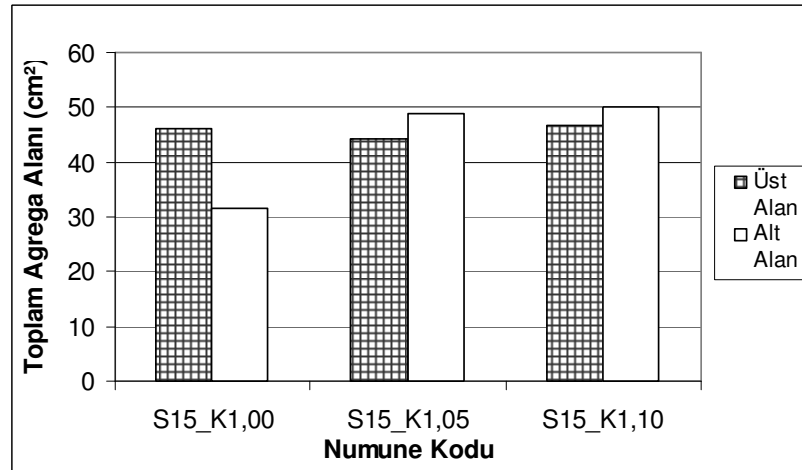
Segregasyon oluşması sebebiyle agregalar beton içerisinde homojen dağılmadığı için silindirin üst ve alt bölümdeki agrega miktarları farklılıklar göstermiştir.

Katkı oranı %1 için alt bölüm üst bölüme göre %12 daha düşük yarma çekme dayanımı gösterirken yüzey alanı üst kesitten % 45 daha azdır.



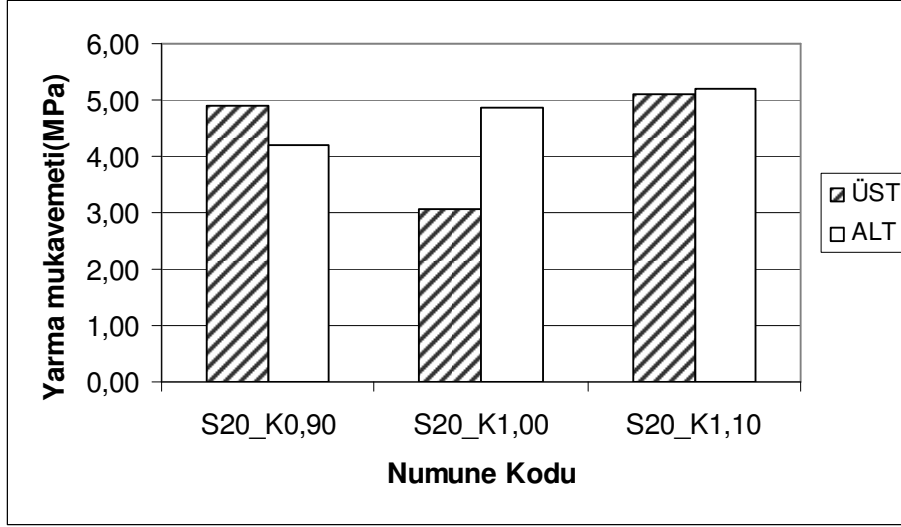
Şekil 5.5: S15 Kodlu Numunelerin Yarma – Çekme Mukavemetlerinin Değişimi

Şekil 5.6’ da 15°C üretilen farklı katkı oranlarında agrega yüzey alanı değişimi gösterilmiştir. %1,05 katkı oranı için yarma çekme dayanımı alt bölüm üst bölüme göre %9 artış göstermiş yüzey alanı %11 oranında artmıştır. %1,10 katkı oranı için yarma çekme dayanımı alt bölüm üst bölüme göre %12 artış göstermiş yüzey alanı %7 oranında artmıştır.



Şekil 5.6: S15 Kodlu Numunelerin Alt-Üst Kesit Yüzey Alanı Değişimi

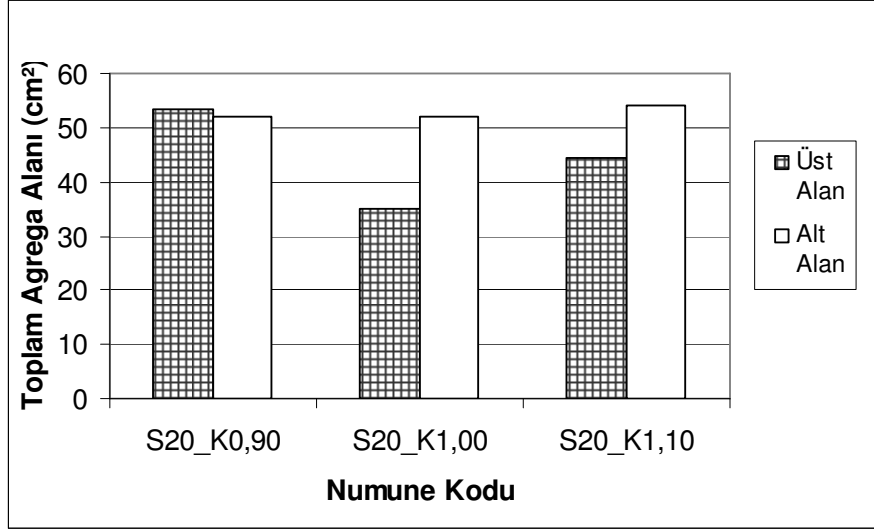
Şekil 5.7’ de 20°C’ de %0,90, %1 ve %1,10 oranında üç farklı katkı ile üretilen silindir numunelerin üst ve alt bölümlerinden kesilerek elde edilen disklere ait 7 günlük yarma – çekme mukavemetlerindeki değişim görülmektedir. %0,90 katkı oranı için alt bölümde üst bölüme göre %9 daha az yarma çekme dayanımı görülmüştür. Agrega yüzey alanı üst bölüme göre da %3 daha azdır.



Şekil 5.7: S20 Kodlu Numunelerin Yarma – Çekme Mukavemetlerinin Değişimi

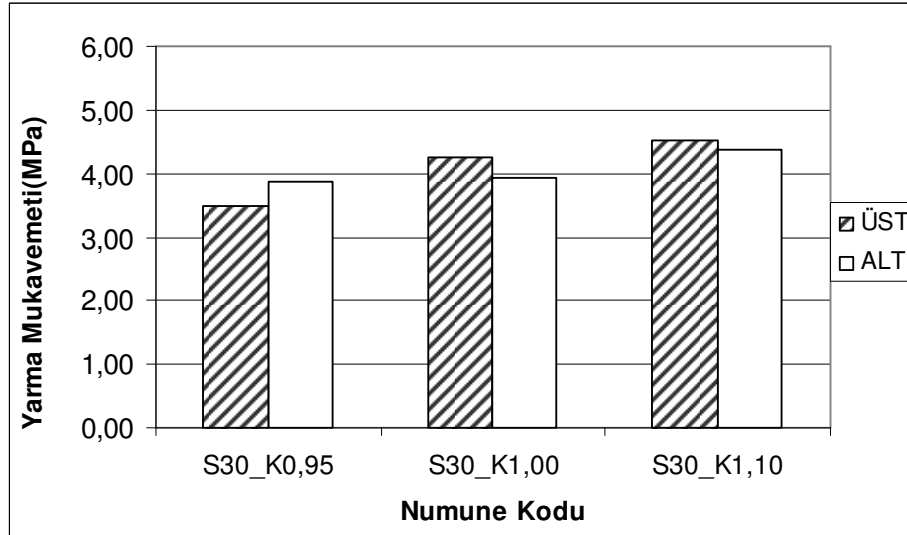
20 °C’ de %1 katkı oranı için alt bölümde üst bölüme göre %58 daha fazla yarma çekme dayanımı görülmüştür. Agrega yüzey alanı üst bölüme göre da %49 daha fazladır. Segregasyonun oluştuğu bu betonda taze halde yayılma süresi T_{50} 7,1 sn ile düşük değer almıştır. % 1,10 katkı oranı için alt bölüm üst bölüme göre %2 daha fazla yarma çekme mukavemeti göstermiş, yüzey alanı %22 alt bölümde daha fazladır.

Şekil 5.8’ de 20°C üretilen farklı katkı oranlarında agrega yüzey alanı değişimi gösterilmiştir.



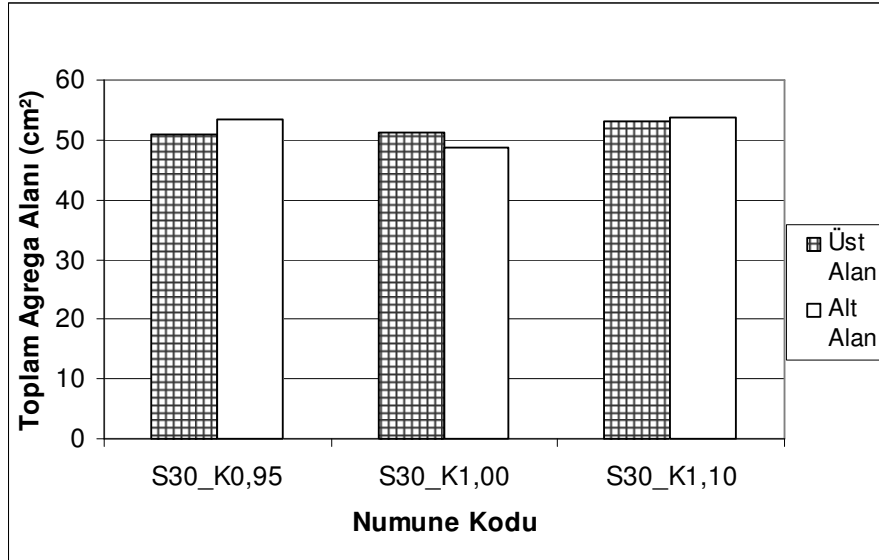
Şekil 5.8: S20 Kodlu Numunelerin Alt-Üst Kesit Yüzey Alanı Değişimi

30°C sıcaklıktaki yarma çekme dayanımı mukavemetlerinin değişimi şekil 5.9 'da gösterilmiştir. Katkı oranı %0,95 için yarma çekme dayanımı alt bölüm üst bölüme göre %11 yüzey alanı üst bölüme göre % 5 fazladır. % 1 katkıda yarma çekme mukavemeti alt bölümde %7 daha az iken agrega yüzey alanı da % 5 daha azdır. % 1,10 katkı için alt bölümde yarma çekme dayanımı alt bölümde %3 az iken yüzey alanı alt bölümle aynıdır.



Şekil 5.9: S30 Kodlu Numunelerin Yarma – Çekme Mukavemetlerinin Değişimi

Şekil 5.10’ da 30°C üretilen farklı katkı oranlarında agrega yüzey alanı değişimi gösterilmiştir.



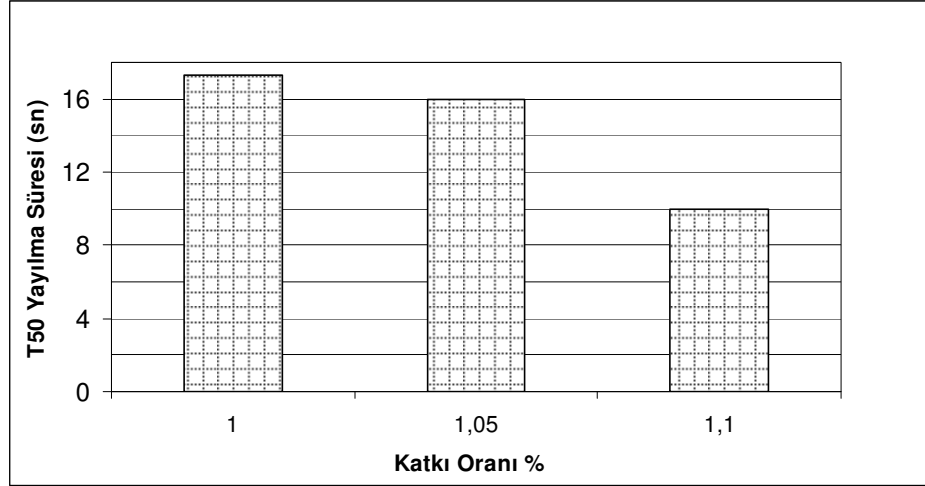
Şekil 5.10: S30 Kodlu Numunelerin Alt-Üst Kesit Yüzey Alanı Değişimi

Genel olarak üç farklı sıcaklıkta farklı katkı oranlarında üretilen silindirlerin üst ve alt bölümlerinden kesilerek elde edilen disklerde yarma çekme dayanımı incelendiğinde yüzey alanı fazla olan bölümde yarma çekme dayanımı daha yüksektir. 30°C’ de üretilen betonda en düşük basınç dayanımı elde edildiğini görmüştük. En düşük yarma çekme dayanımı da 30°C’ de üretilen betonda görülmüştür. 30°C’ de %1,1 katkı için yeterli işlenebilirlik sağlansa dahi basınç dayanımı ve yarma- çekme dayanımı diğer sıcaklıklardan düşüktür.

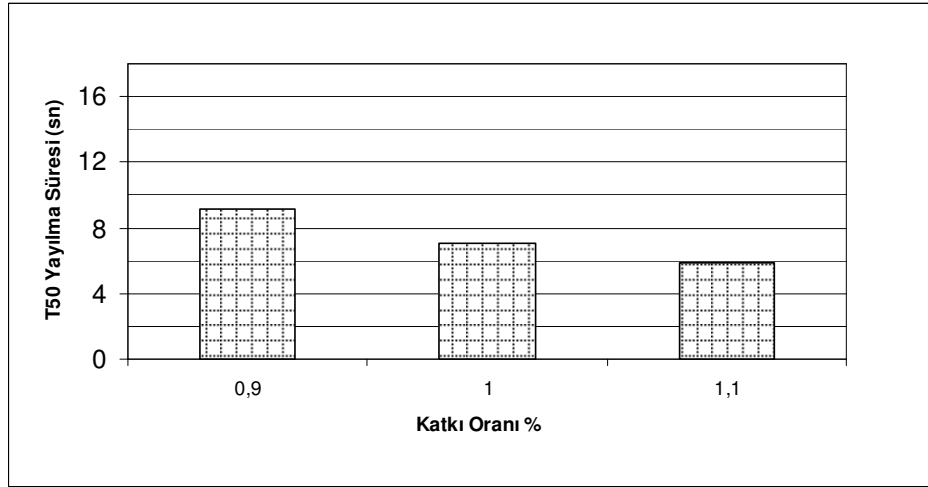
5.2 Laboratuvarda Yapılan Taze Beton Deneylerinin Değerlendirilmesi

5.2.1 Taze beton sıcaklığı ve katkı miktarı - yayılma çapı ilişkisi

Laboratuvarda farklı katkı dozajlarında ve farklı sıcaklıklarda yapılan deneysel çalışmalara göre, yayılma süresi ile katkı miktarı karşılaştırıldığında katkı miktarı arttırıldığında beton daha akıcı duruma geldiği için yayılma hızı artmakta buna bağlı olarak 500 mm yayılma süresi azalmaktadır. Şekil 5.11, şekil 5.12 ve şekil 5.13 de farklı sıcaklıklarda yayılma çapı ile katkı miktarı arasındaki ilişki görülmektedir.

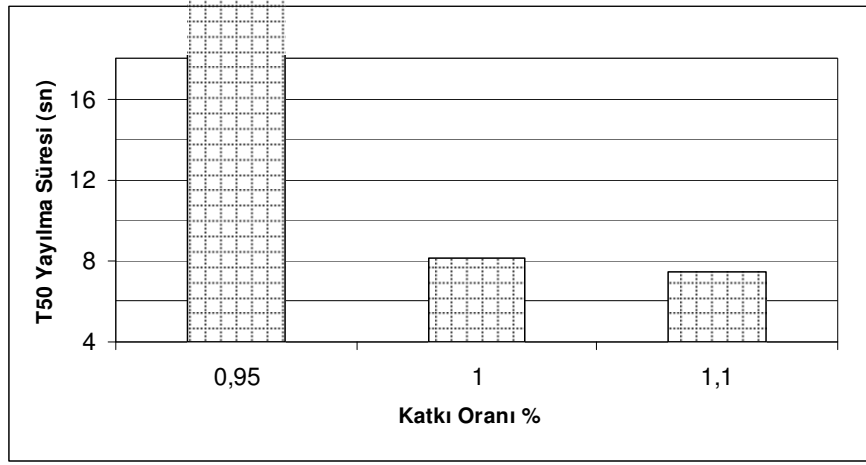


Şekil 5.11: 15°C’de Betonda Katkı Oranı T₅₀ Süresi İlişkisi



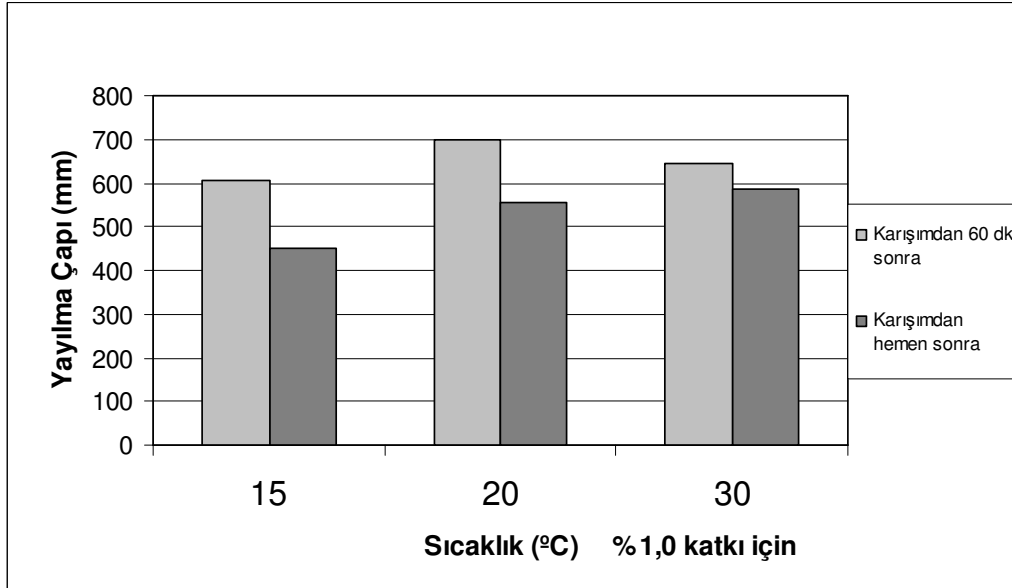
Şekil 5.12: 20°C’de Betonda Katkı Oranı T₅₀ Süresi İlişkisi

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’ e bakıldığında katkı miktarı %1 den sonra sıcaklığın etkisi görülmektedir. Sıcaklık artışı yayılma hızını arttırmaktadır. Sıcaklık artışı normal betonlarda çökme kaybına sebep olurken KYB’ da sıcaklık artışı süper akışkanlaştırıcı katkının tutunma oranını arttırdığı düşüncesiyle akışkanlıkta artma sağlamış olabilir. Ancak diğer taraftan 30°C sıcaklıkta aynı karışım için diğer sıcaklıklara göre daha fazla katkı dozajına ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü %0,95 oranında katkı kullanıldığında 430 mm yayılma gerçekleşirken, 500 mm yayılma olmamıştır. Fakat %0,90 katkı kullanılan 20°C’ de üretilen betonda 600 mm yayılma çapı ile 500 mm yayılma gerçekleşmiştir. Basınç dayanımlarına bakıldığında 30°C’ de üretilen beton 20°C’ de üretilen betona göre %11 daha düşük basınç dayanımı göstermiştir.

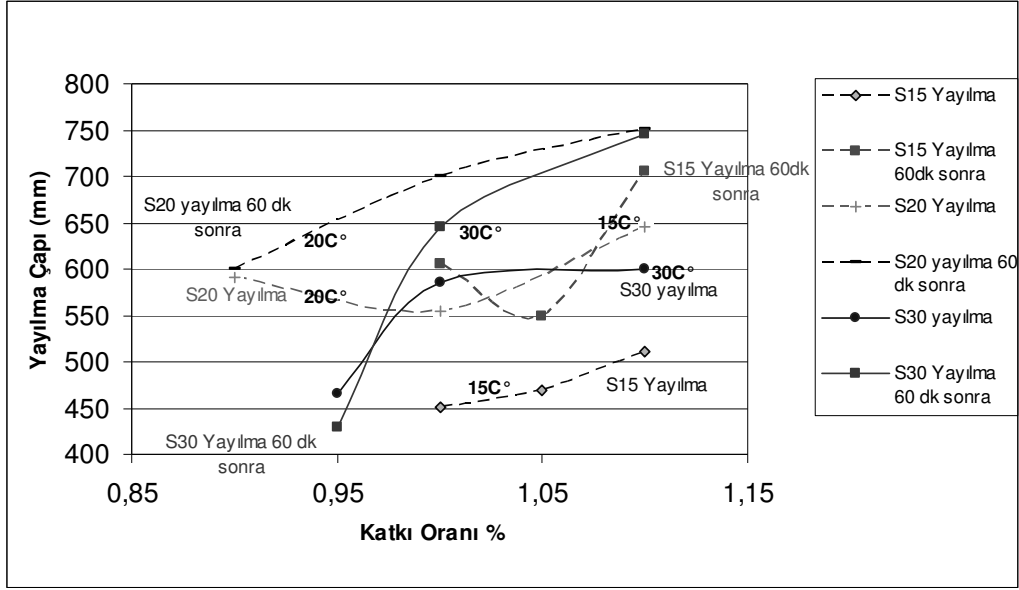


Şekil 5.13: 30°C’de Betonda Katkı oranı T₅₀ Süresi İlişkisi

Kimyasal katkıının taze betonda akışkanlaştırıcı etkisi, karışımdan 1 saat sonra daha belirgin olduğu şekil 5.14’ de açıkça görülmektedir. Ayrıca taze beton sıcaklığı ile yayılma çapı arasındaki ilişki sıcaklık hariç diğer etkenlerin sabit tutulduğu karışımlarda katkıının 1 saat sonraki etkisi, 30°C’ de üretilen betonda diğer sıcaklıklara göre daha az olduğu görülmektedir. Sıcaklık katkıının tutunma etkisini arttırarak daha çok yayılmasına sebep olurken, diğer taraftan betonda zamanla kıvam kaybına da neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.14: Beton Sıcaklığı Yayılma Çapı İlişkisi



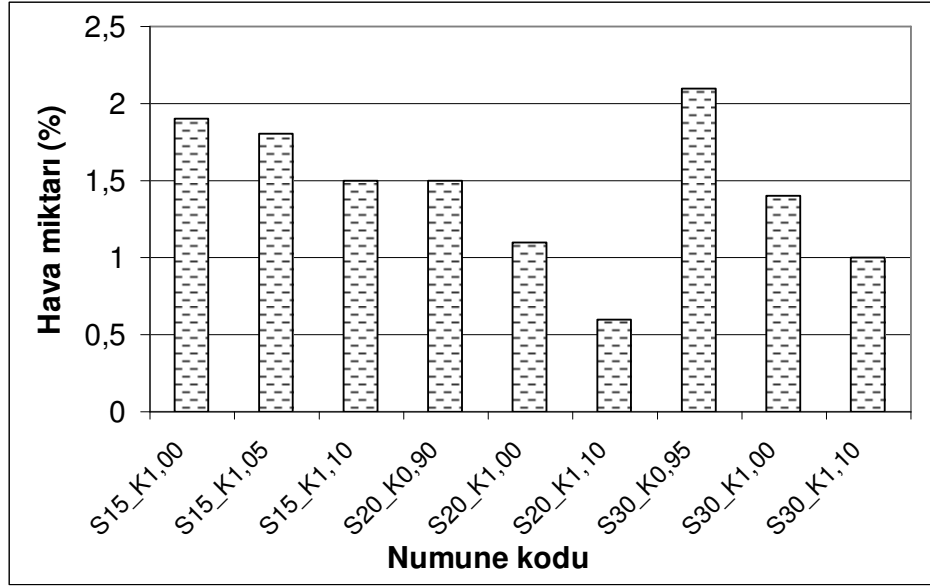
Şekil 5.15: Farklı Sıcaklıklarda Katkı Oranı-Yayımla Çapı İlişkisi

Şekil 5.15' de katkı oranı ve yayılma çapı arasındaki ilişki görülmektedir.

Katkı miktarı %1,1 olarak kullanıldığında her üç sıcaklıkta da, karışımdan 1 saat sonra yayılma çapı 700 mm nin üzerindedir. Bu noktadan sonra segregasyon eğilimi artacağı tahmin edilmektedir. Deneysel çalışmanın ışığında katkı oranı %1 'in üzerinde olduğunda basınç dayanımı azalma eğilimindedir.

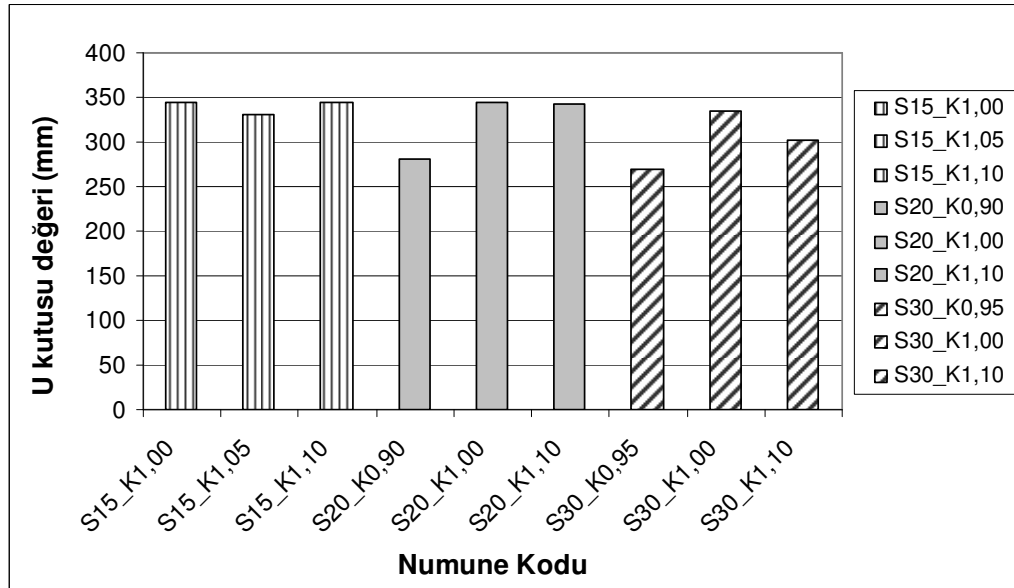
5.2.2 Karışım sıcaklığı – katkı oranı ile hava miktarı ve doldurma yeteneği ilişkisi

Taze beton üretildikten 1 saat sonra basınç metodu ile ölçülen hava miktarları şekil 5.16' da görülmektedir. Üç sıcaklık değeri için de katkı miktarı arttıkça yerleşme daha kolay olacağı için hava miktarı azalmıştır. 500 mm yayılmanın gerçekleşmediği S30_K0,95 karışımında hava miktarı %2,1 ile en yüksek değeri alırken, S20_K1,10 karışımında % 0,6 değeri ile en düşük hava miktarı ölçülmüştür. S20_K1,10 karışımı 750 mm yayılma ile en yüksek yayılma çapına sahiptir. 20°C betonda katkı oranı %0,9' dan %1,1' e çıktığında hava miktarında %60 azalma olduğu görülmektedir. 30°C' de üretilen betonda katkı miktarı %0,95' den %1,1'e çıktığında hava miktarında %52 azalma görülmüştür. 15°C' de üretilen betonda katkı oranı %1'den %1,1 oranına yükseldiğinde hava miktarında %21 azalma olduğu görülmüştür. Üç sıcaklık için genel bir değerlendirme yapılırsa, beton içerisinde en düşük hava miktarı üç katkı dozajı için de 20°C' de üretilen betonda olduğu görülmüştür.



Şekil 5.16: Farklı Sıcaklıklarda Katkı Oranı-Hava Miktarı İlişkisi

Şekil 5.17’ de üç farklı sıcaklıklara sahip taze betonların katkı oranına göre doldurma yetenekleri görülmektedir. Doldurma yeteneği 20°C’ de ve 30°C’ de katkı oranı arttıkça doldurma yeteneği artmıştır. Fakat % 1 katkı oranından sonra üç sıcaklıkta da doldurma yeteneği değişmemektedir. Deneysel çalışmada üretilen betonda doldurma yeteneği en uygun olarak % 1 katkıda görülmüştür. Sonuç olarak, en uygun katkı miktarından sonra doldurma yeteneği değişmemektedir.



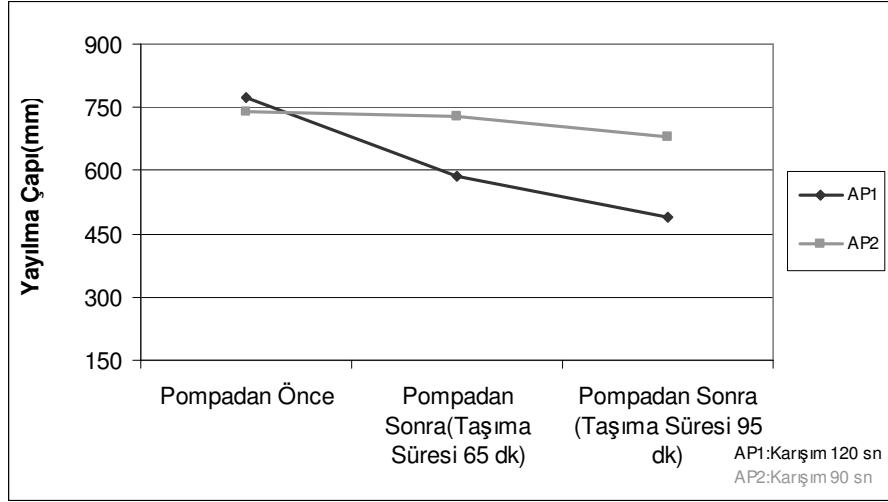
Şekil 5.17: Farklı Sıcaklıklarda Katkı Oranı-Doldurma Yeteneği İlişkisi

5.3 Şantiyede Taze Beton Deneylerinin Değerlendirilmesi

Şantiyede 120 ve 90 sn olmak üzere iki farklı karışım süresine sahip iki beton üretilmiştir. AP1 ve AP2 diye adlandırılan karışımlar pompadan önce ve 95 ve 65 dakika taşıma süresinden sonra pompadan sonraki taze beton özellikleri incelenmiştir.

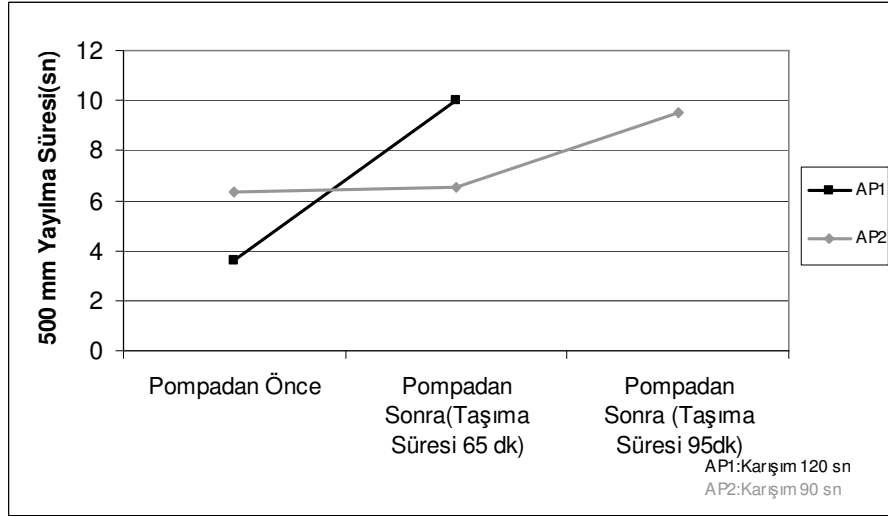
5.3.1 Karışım ve taşıma süresinin yayılma çapına ve süresine etkisi

Yayılma çapı şekil 5.18’ de görüldüğü gibi pompadan sonraki betonda azalmıştır. Taşıma süresi arttıkça yine yayılma çapında azalma görülmüştür. Bu azalma karışım süresi daha kısa olan AP2 numunesinde daha belirgin olduğu görülmektedir. Pompalanan beton yayılma özelliğini bir miktar kaybetmektedir.



Şekil 5.18: Karışım ve Taşıma Süresinin Yayılma Çapına Etkisi

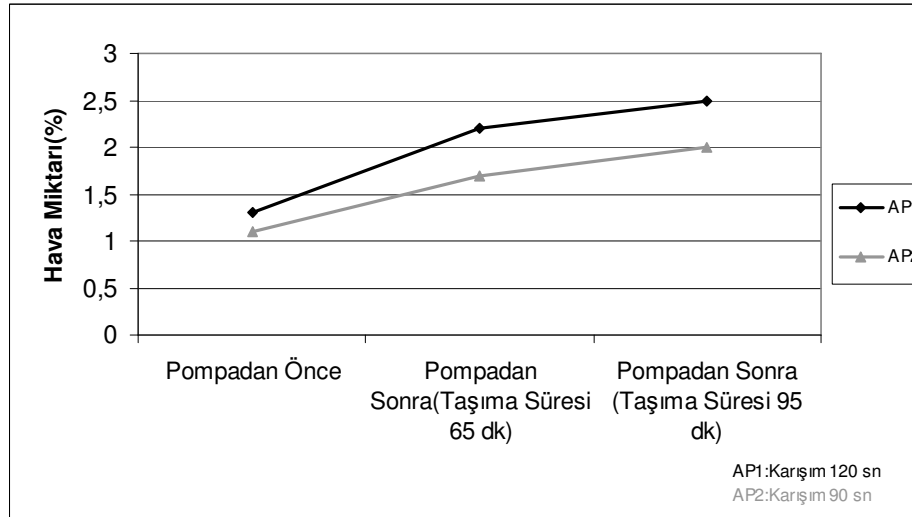
T₅₀ süresi, beton yayılma çapının 500 mm ye ulaştığı süre ile belirlenir. Şantiyede üretilen betonlarda şekil 5.19’ da görüldüğü gibi azalan yayılma çapına bağlı olarak 500 mm ye ulaşma süresi artmaktadır. AP1 karışımı 95 dakika taşıma süresinden sonra 500 mm ye ulaşmamıştır.



Şekil 5.19: Karışım ve Taşıma Süresinin T_{50} Süresine Etkisi

5.3.2 Karışım ve taşıma süresinin hava miktarına etkisi

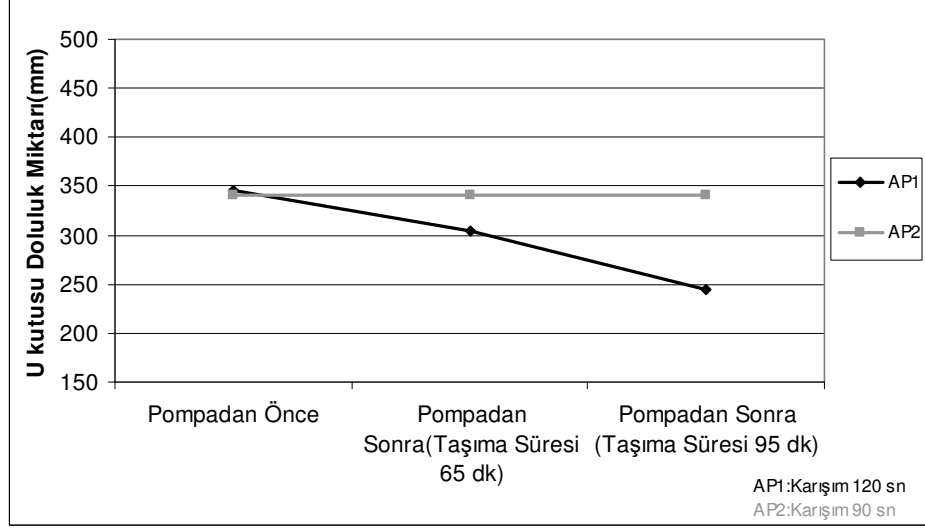
Başlangıçta yakın değerleri alan hava miktarı, taşıma süresi arttıkça artmaktadır. Karışım süresi 90 sn olan AP1 betonunda hava miktarının daha az olduğu görülmüştür. Pompalanan betondaki hava miktarı yüzdesi taşıma süresiyle daha da artmaktadır.



Şekil 5.20: Karışım ve Taşıma Süresinin Hava Miktarına Etkisi

5.3.3 Karışım ve taşıma süresinin doldurma yeteneğine etkisi

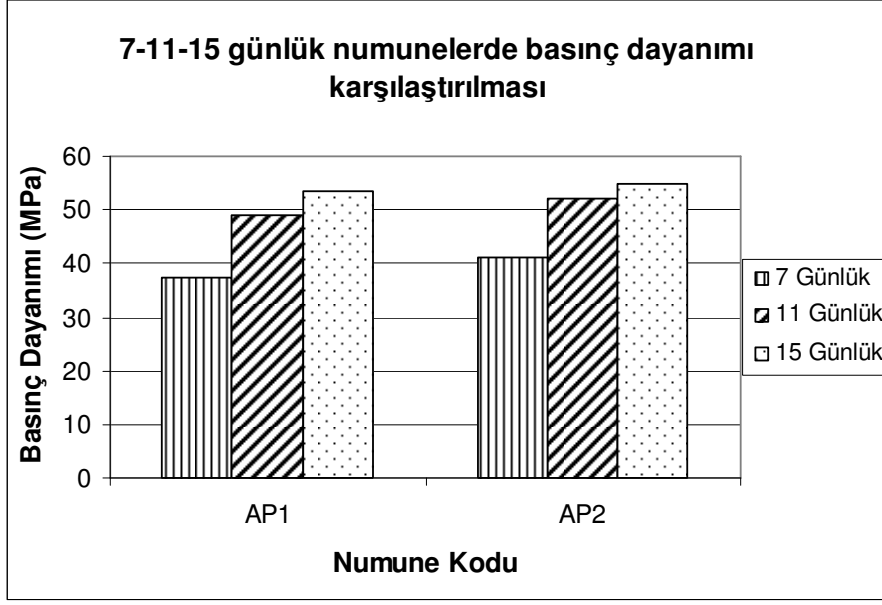
Şekil 5.21’de görüldüğü gibi doldurma yeteneği pompadan önce AP2 ve AP1 karışımlarında aynı değer iken 120 sn karışım süresine sahip AP1 betonu taşıma süresi arttıkça doldurma yeteneğini önemli ölçüde kaybetmiştir.



Şekil 5.21: Karışım ve Taşıma Süresinin Doldurma Yeteneğine Etkisi

5.4 Şantiyeden Alınan Karot Silindir Numunelerin Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi

Şantiyede üretilen 1m³ küp şekilli beton numunelerden alınan silindir karotlar 7, 11 ve 15. günlerde basınç dayanımı testine tabi tutulmuşlardır. Farklı karışım sürelerine sahip AP1 ve AP2 numunelerinin basınç dayanımları arasında önemli bir fark görülmemiştir. Mukavemet şekil 5.22’de görüldüğü gibi zamanla azalan hızda artmaktadır.

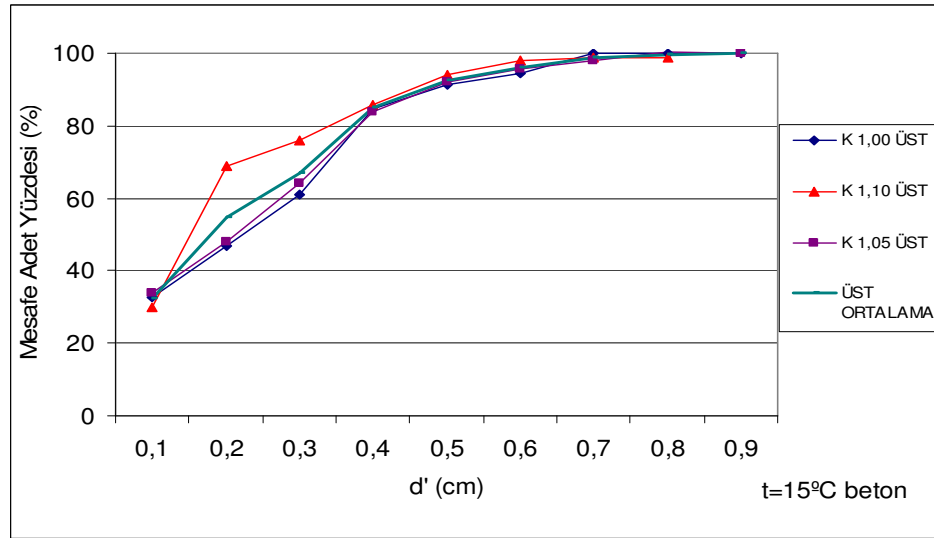


Şekil 5.22: Karot Silindir Numunelerin Basınç Dayanımları

5.5 ImageJ Programı İle Yüzey Görüntü Analizinin Değerlendirmesi

5.5.1 Laboratuvar numunelerinin incelenmesi

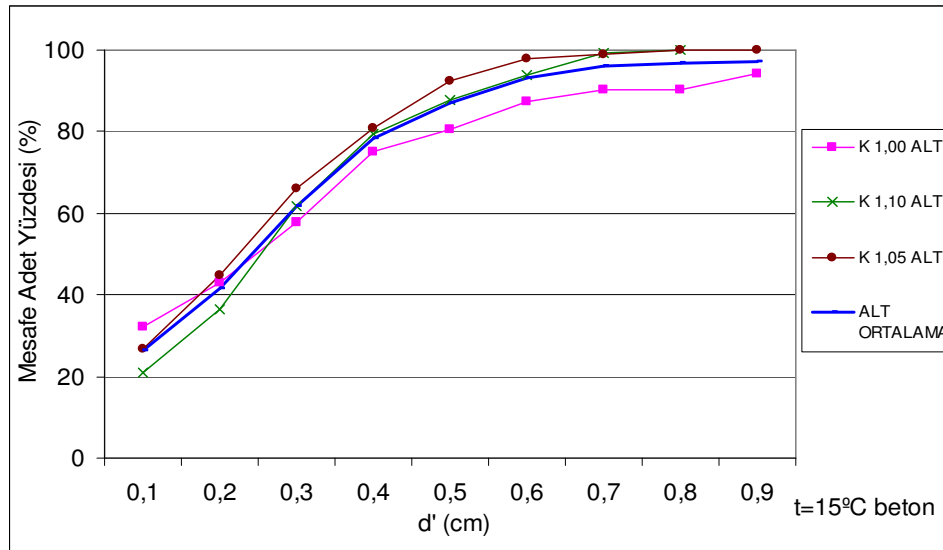
Şekil 5.23' de ImageJ programı ile yüzey görüntü analizi yapılan S15_K1,00 – S15_K1,05 ve S15_K1,10 kodlu numunelere ait silindirin üst kısımlarının agregalar arası mesafe adet yüzdesi verilmektedir.



Şekil 5.23: S15 Kodlu Numunelerin Farklı Katkı Oranları İçin Üst Kesitteki Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

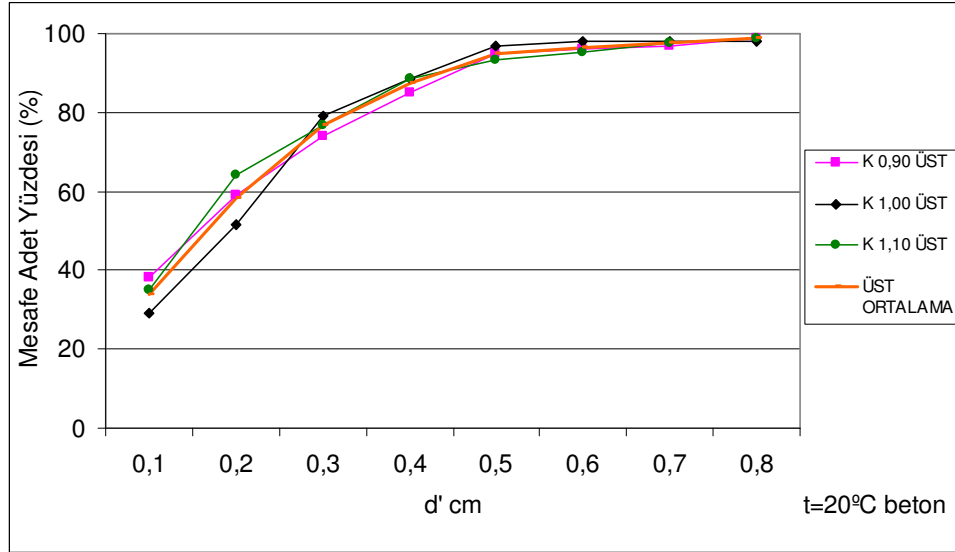
Segregasyon sonucu homojen dağılımı olmayan S15_K1,10 numunesinde katkı oranı arttıkça agregalar arası mesafe adet yüzdesi ortalama değerden daha fazla sapma meydana gelmiştir. Aynı karışımın alt bölüm disk yarma çekme dayanımı ve silindir basınç dayanımı diğer karışımlara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca serbest yayılma deneyinde yayılma çapı diğer karışımlara göre daha fazladır.

Şekil 5.24’ de S15 kodlu numunelerin alt kesitlerine ait agregalar arası mesafe adet yüzdesi görülmektedir. Bu kesitte üç farklı katkıda da agregalar arası mesafe ortalama değere yakındır. Agregalar arası mesafe en yakın olan S15_K1,05 numunesinde yarma çekme dayanımı diğer karışımlardan daha yüksektir. Silindir basınç dayanımı yüksektir. Katkı oranı % 1 olan karışımda alt kesitte agregalar arası mesafe diğer karışımlara göre daha fazladır.



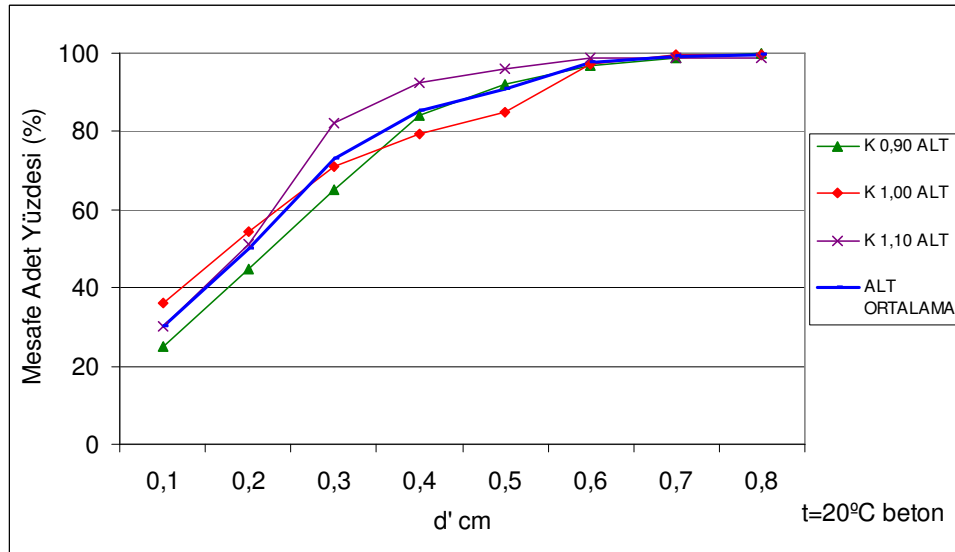
Şekil 5.24: S15 Kodlu Numunelerin Farklı Katkı Oranları İçin Alt Kesitteki Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

Beton sıcaklığı 20°C olan, S20_K0,90 – S20_K1,00 ve S20_K1,10 kodlu numunelere ait silindirlerin üst kısımlarının agregalar arası mesafe adet yüzdesi Şekil 5.25’ de görülmektedir. S20_K1,00 numunesinde silindir üst bölümünde agregalar birbirinden ortalama değere göre belirgin derecede uzak olmamasına rağmen yarma çekme dayanımı üst kesitte alt bölüme göre belirgin şekilde düşüktür. Aynı silindire ait görüntü analizinde üst bölümde ince agregaların yoğunlukta olduğu görülmektedir.



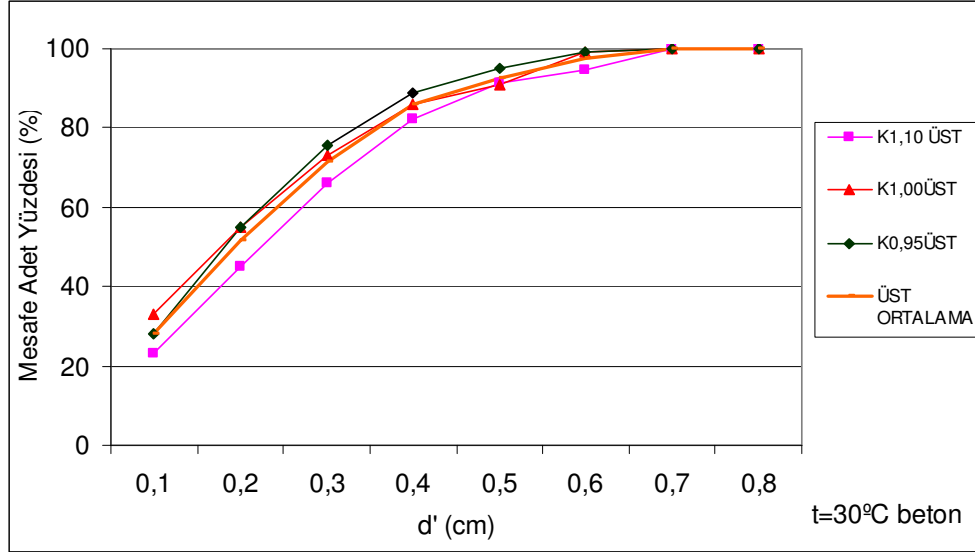
Şekil 5.25: S20 Kodlu Numunelerin Farklı Katkı Oranları İçin Üst Kesitteki Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

Şekil 5.26' da beton sıcaklığı 20°C olan, S20_K0,90 – S20_K1,00 ve S20_K1,10 kodlu numunelere ait silindirlerin alt kısımlarının agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı görülmektedir. Katkı oranı %1,1 olan numunede agregalar arası mesafe yakinen katkı oranı %0,90 olan numunede agregalar birbirinden daha uzaktadır. Katkı oranı arttıkça kesitin alt bölümünde agregalar birbirine daha yakındır.



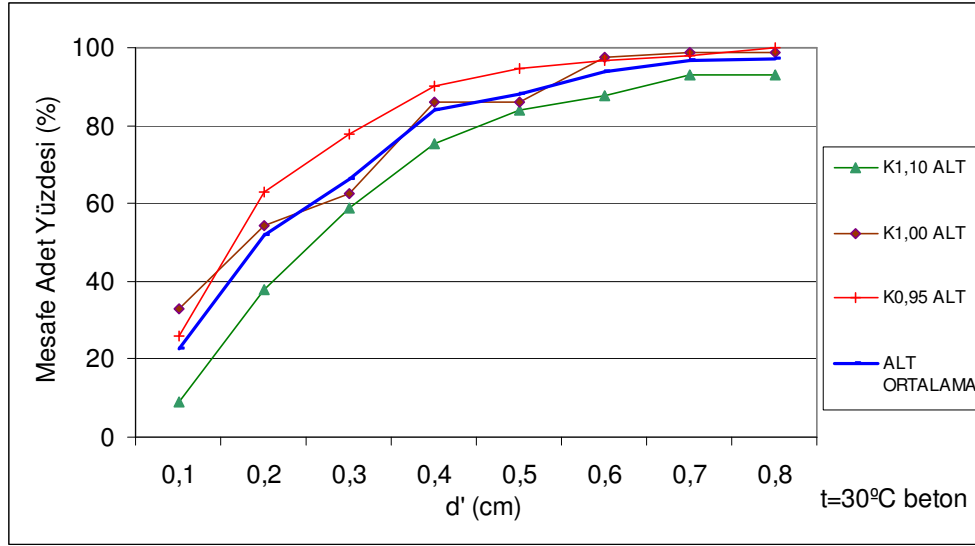
Şekil 5.26: S20 Kodlu Numunelerin Farklı Katkı Oranları İçin Alt Kesitteki Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

Şekil 5.27’ de beton sıcaklığı 30°C olan, S30_K0,95 – S30_K1,00 ve S30_K1,10 numunelerine ait silindirlerin üst kısımlarının agregalar arası mesafe adet yüzdesi dağılımı görülmektedir. Kesitin üst bölümünde agregalar arası mesafe ortalama değere yakındır.



Şekil 5.27: S30 Kodlu Numunelerin Farklı Katkı Oranları İçin Üst Kesitteki Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

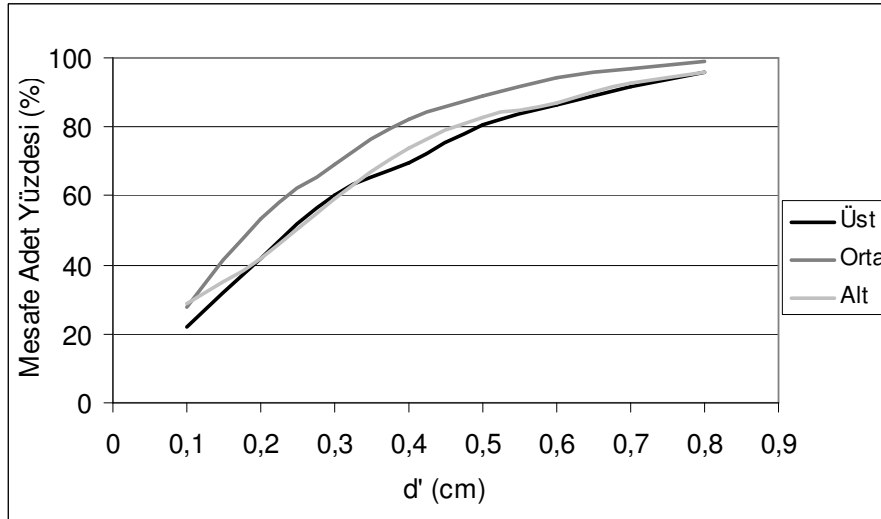
Şekil 5.28’ de 30°C sıcaklığa sahip betonda silindirin alt bölümüne ait agregalar arası mesafe dağılımı görülmektedir. Ortalama değerden büyük ölçüde sapma meydana gelmiştir. Betonda sıcaklık artışı ile kesitin alt bölümünde agregaların düzensiz dağıldığı görülmektedir. Basınç dayanımının 30°C’ de daha düşük sonuç vermesinde homojen olmayan dağılımın da etkisi olduğu düşünülmektedir.



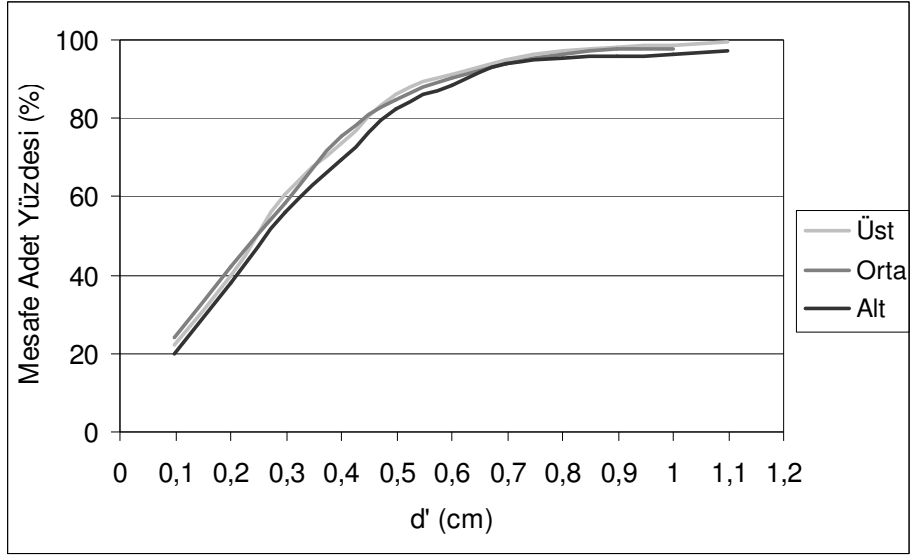
Şekil 5.28: S30 Kodlu Numunelerin Farklı Katkı Oranları İçin Alt Kesitteki Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

5.5.2 Şantiye numunelerinin incelenmesi

Karışım süresinin 120 sn olduğu AP1 numunesine ait agregalar arası mesafe adet yüzde dağılımı şekil 5.29' da görülmektedir. Agregalar kesitin orta ve alt bölgesinde daha yakındır. Karışım süresinin 90 sn olduğu AP2 numunesine ait numunede agregalar arası mesafe şekil 5.30' da görüldüğü gibi üç bölgede de aynı mesafededir.



Şekil 5.29: AP1 Kodlu Numunelerin Üst Orta ve Alt Kesitteki Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



Şekil 5.30: AP2 Kodlu Numunelerin Üst Orta ve Alt Kesitteki Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

6. GENEL SONUÇLAR

- Kendiliğinden yerleşen betonlarda akışkanlığı sağlamak amacıyla kullanılan süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları beton karışımında en uygun dozajda kullanılmalıdır. Katkı gereğinden az veya fazla olduğunda daha düşük basınç dayanımı elde edilmektedir. Deneysel çalışmada en yüksek dayanım %1 oranında katkı ile üretilen betonda görülmüştür.
- Beton sıcaklığı hariç diğer hesapların eşit olduğu %1 katkıya sahip üç karışım incelendiğinde maksimum basınç dayanımı 15°C’ de görülmüştür. 20°C’deki betonda da yüksek dayanım görülmüş, fakat 30°C’ de üretilen beton 15°C deki betondan %19 oranında daha düşük dayanım göstermiştir.
- Taze betonda sıcaklık artışı süper akışkanlaştırıcı katkının tutunma oranını arttırdığından katkının akışkanlık etkisi 30°C’ de daha fazladır. Ayrıca katkı oranı arttıkça akışkanlık da artmaktadır. Beton sıcaklığı katkının akışkanlığını olumlu etkilerken, aynı akışkanlığa sahip 15°C ve 20°C’ de üretilen betonlardan daha düşük basınç dayanımı göstermektedir.
- Deneysel çalışmada kullanılan kimyasal katkı karışımından 60 dakika sonra daha yüksek performans göstermektedir. Betonun doldurma yeteneğini, akış kabiliyetini karışım sonrasına göre daha fazla güçlendirmektedir.
- ImageJ programı ile yüzey görüntü analizi sonuçlarına bakıldığında, 15°C ve 20°C de üretilen betonlarda katkı oranı arttıkça (%1 den sonra) iri agregaların çökmesi sonucu alt kesitte toplam iri agrega alanı üst kesitten daha fazladır. Yarma çekme dayanımı incelendiğinde, iri agreganın çok olduğu yönde yüksektir.
- Üç sıcaklık değeri için de katkı miktarı arttıkça yerleşme daha kolay olacağı için hava miktarı azalmıştır. Beton içerisinde en düşük hava miktarı üç katkı dozajı için de 20°C’ de üretilen betonda olduğu görülmüştür. 20°C betonda katkı oranı %0,9’ dan %1,1’ e çıktığında hava miktarında %60, 30°C’ de üretilen betonda katkı miktarı %0,95’ den %1,1’e çıktığında %52 ve 15°C’ de

üretilen betonda katkı oranı %1'den %1,1 oranına yükseldiğinde hava miktarında %21 azalma görülmüştür.

- Katkı miktarı arttıkça betonun doldurma yeteneği artmaktadır. Fakat bu sürekli değildir. Belli bir dozajdan sonra değişmemektedir. Deneysel çalışmada üretilen betonda doldurma yeteneği en uygun olarak % 1 katkıda görülmüştür.
- Yayılma çapı, pompadan sonraki betonda azalmıştır. Taşıma süresi arttıkça yine yayılma çapında azalma görülmüştür. Pompalanan beton yayılma özelliğini bir miktar kaybetmektedir.
- Taşıma ve karışım süresi arttıkça hava miktarı artmaktadır. Ayrıca pompalanan betondaki hava miktarı daha fazladır.
- Doldurma yeteneği pompadan önce ve sonra farklılıklar göstermektedir. Karışım ve taşıma süresi arttıkça doldurma yeteneği azalmaktadır.
- İki farklı karışım süresine sahip numunelerin basınç dayanımları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. 7, 11 ve 15. gündeki basınç dayanımı sonuçlarına göre mukavemet artış hızı zamanla azalmaktadır.
- ImageJ programı ile yüzey görüntü analizi sonuçlarına göre, karışım süresinin 120 sn olduğu numunede, agregalar kesitin orta ve alt bölgesinde daha yakındır. Karışım süresinin 90 sn olduğu numunede ait numunede agregalar arası mesafe üç bölgede de aynı mesafededir. Karışım süresi arttıkça beton segregasyona eğilim göstereceği için agregalar alt bölgelerde daha yakındır.
- 30°C sıcaklığa sahip betonda, imageJ programı ile yüzey görüntü analizi sonuçlarına göre, silindir numunenin alt bölümünde agregalar arası mesafe dağılımı ortalama değerden büyük ölçüde sapma meydana geldiği görülmüştür. Betonda sıcaklık artışı işlenebilirliği azaltmaktadır. Buna bağlı olarak agregalar betonda homojen olarak dağılmamış, basınç dayanımı daha düşük sonuç vermiştir.
- Katkı dozajı farklı oranlarda kullanıldığında basınç dayanımında önemli bir değişme görülmemiştir. Ancak görüntü analizinde, segregasyon sonucu aynı numune üzerinde üst ve alt bölümde agregaların farklı oranlarda dağıldığı, yarma-çekme dayanımı sonuçlarında farklılık olduğu saptanmıştır, Bu

sebeple betonda bölgesel kusur oluştuğu ve çatlak riski meydana geldiği anlaşılmıştır.

- Betonda yüksek performans elde edebilmek için, beton en uygun katkı dozajıyla üretilmelidir. Beton sıcaklığı katkının akışkanlaştırıcı etkisini katkı dozajına bağlı olarak etkilemektedir.

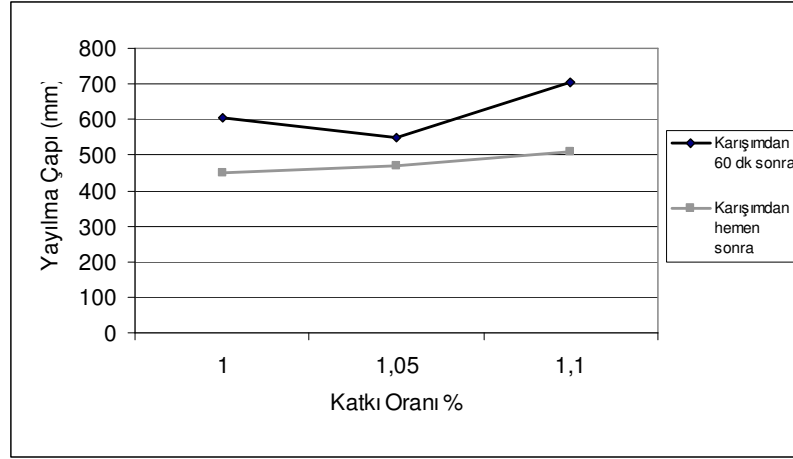
KAYNAKLAR

- [1] **Erdoğan, T. Y.**, 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş Yayı.ı.
- [2] **Kocataşkın, F.**, 1991. Betonun Dünü Bugünü Yarını, 2. *Ulusal Beton Kongresi*, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası) Sf. 23-42.
- [3] **Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M.**, 1999. Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- [4] **Ağar, E., Öztaş, G., Sütaş, İ.**, 1998. Beton Yollar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.
- [5] **Yeğınobalı, A., Ertün, T.**, 2005. Çimentoda Yeni Standardlar ve Mineral Katkılar, Ar-Ge Enstitüsü, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara
- [6] **Sağlam, A. R.**, 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Reolojik Özelliklerine Bileşim Parametrelerinin Etkisi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [7] **Doğan, Ü., A.**, 2000. Yeni Kuşak Süper Akışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] **Ramyar, K.**, 2007. Portland Çimentosu – Süper akışkanlaştırıcı Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*
- [9] **Schindler, A.K., McCullough, B.F.**, 2002. The Importance of Concrete Temperature Control During Concrete Pavement Construction in Hot Weather Conditions, A paper offered for publication at the Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D. C.

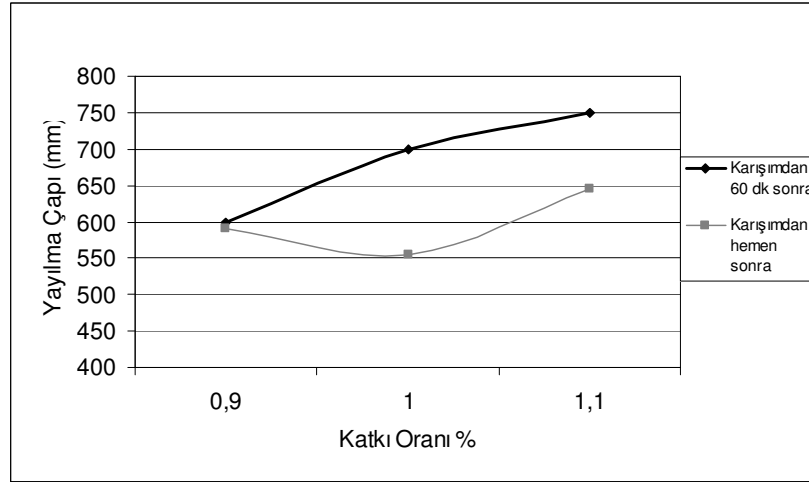
- [10] **Sonebi, M., Rooney, M., Bartos, P.J.M.**, 2005. Evaluation of The Segregation Resistance of Fresh Self – Compacting Concrete Using Different Test Methods, First International Symposium on Design, Performance and Use of Self Consolidating Concrete, Changsha, Hunan, China
- [11] **Mindess, S., Young, F.J.**, 1981. Concrete, Prentice- Hall, New Jersey.
- [12] **Tattersall, G. H.**, 1991 Workability and Quality Control of Concrete, Department of Civil and Structural Engineering University of Sheffield.
- [13] **Demirtaş, M.**, 2004. Yüksek Akışkanlığa Sahip Betonlarda (Kendiliğinden Yerleşen Betonlar) bileşimin taze ve sertleşmiş betonlara etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] **Okamura, H., Ouchi, M.**, 2003 Self Compacting Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, Japan Concrete Institute.
- [15] **Reknes, K., Petersen, B.G.**, 2003 Self Compacting Concrete with lignosulphonate based superplasticizer, *3rd International Symposium on SCC*, Reykjavik, Iceland.
- [16] **Grünwald, S., Walraven, J. C.**, Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete., Cement and Concrete Research 31 (12): 1793-1798 Dec. 2001.
- [17] **Felekoğlu, B., Önal, O., Özden, G.**, 2005 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Boşluk Yapısının Normal Betonla Karşılaştırılması, *6. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul
- [18] **Skarendahl, A., Petersson, O.**, 2000. Self Compacting Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC
- [19] **Droll, K.**, “Self Compacting Concrete-State of the Art- New Perspectives”, Concrete Plant International, No.6, Dec, 2001,40-51
- [20] **Özkul, M.H.**, 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen Sıkışan Beton THBB Hazır Beton Dergisi yıl:9 sayı:32 Sf. 64-71.
- [21] **Özkul, M.H., IŞIK., İ.E., Sağlam, A.R., Parlak, N.**, 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Viskozite Düzenleyici Katkı Kullanımı, *6. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul

- [22] **Bui, V. K., Montgomery, D., Hinczak, I., Turner, K.,** 2002. Rapid Testing Method for Segregation Resistance of Self – Compacting Concrete, Cement and Concrete Research
- [23] **Borroni, M.,** Ready-mix Concrete Production and Application Development
- [24] **Bartos, Peter. J. M.,** 2005. Testing – SCC: Towards New European Standards For Fresh SCC, *First International Symposium on Design, Performance and Use of Self Consolidating Concrete SCC*, China, 26 – 28 May 2005, Changsha, Hunan, China
- [25] **Arbeláez Jaramilo, C.A., Rigueira Victor, J.W., Marti Vargas, J.R., Serna Ros, P., Pinto Barbosa, M.,** 2003 Reduced Models Test for The Characterization of the Rheologic Properties of Self Compacting Concrete, *3rd International Symposium on Self- Compacting Concrete*, 17- 20 August 2003, Reykjavik, Iceland
- [26] **Şimşek, O.,** 2004. Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [27] **Türkel, S., Felekoğlu, B.,** Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 6 Sayı: 1 Sh: 77-89, Ocak 2004
- [28] **Gülşahin, Seda.,** 2006. Taze Betonda Segregasyon Ölçülmesi ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [29] **TS 706 EN 12620,** Nisan 2003. Beton Agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [30] **TS EN 1097-6,** Mart 2002 Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [31] **TS 3530 EN 933-1,** Nisan 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [32] <http://rsb.info.nih.gov/ij/>

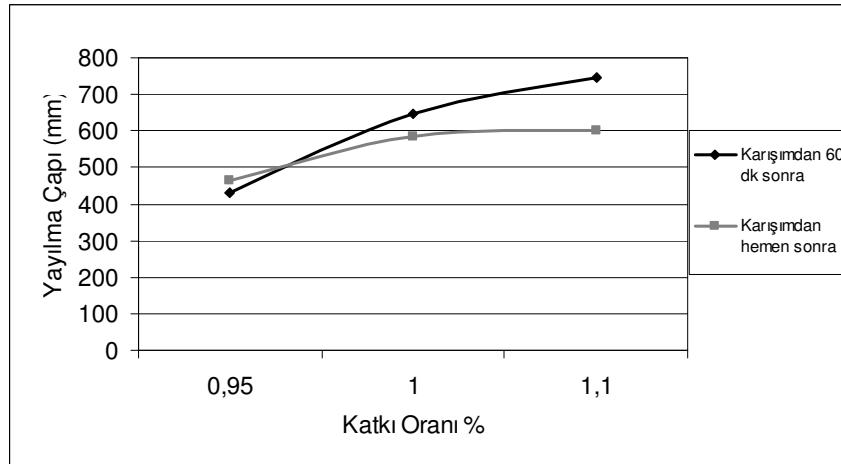
EKLER



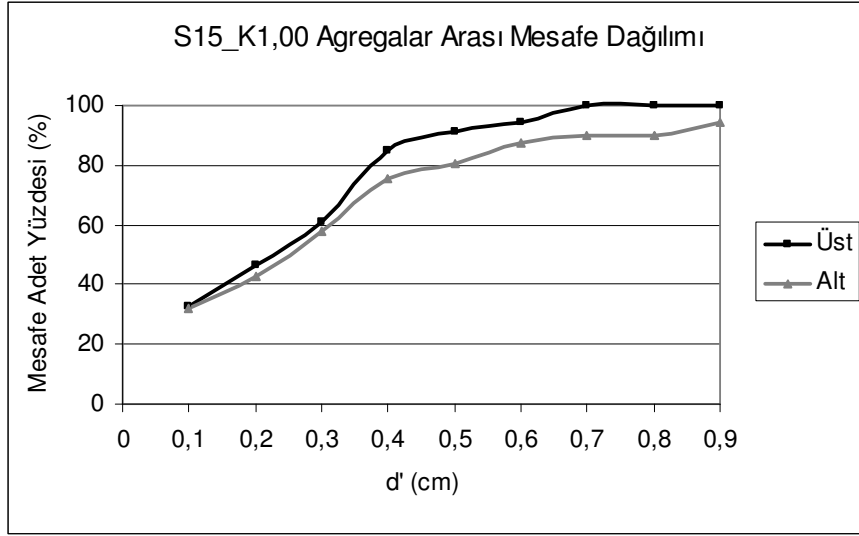
Şekil A.1: 15C° de Katkı Oranı - Yayıma Çapı İlişkisi



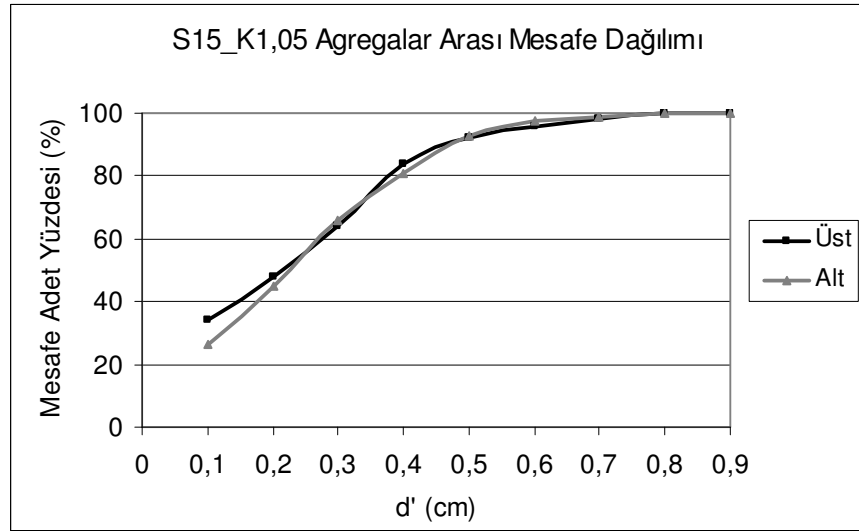
Şekil A.2: 20C° de Katkı Oranı - Yayıma Çapı İlişkisi



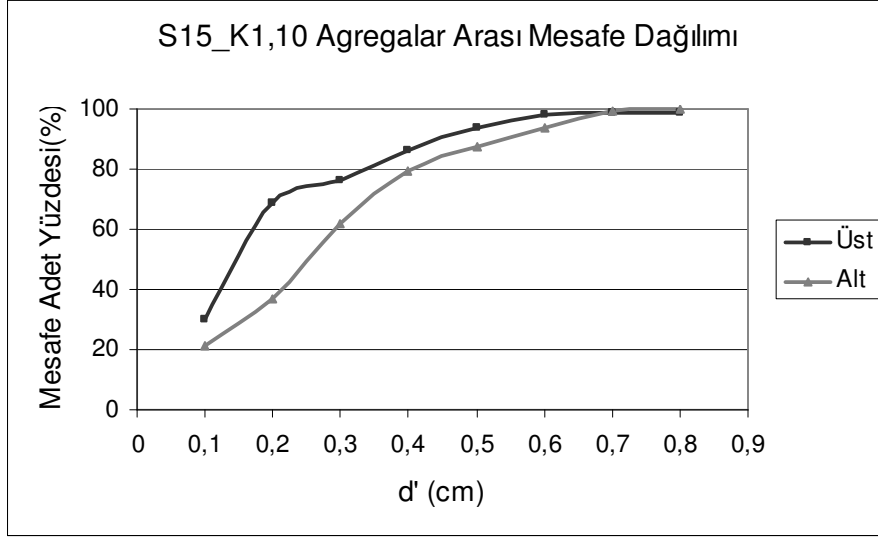
Şekil A.3: 30C° de Katkı Oranı - Yayıma Çapı İlişkisi



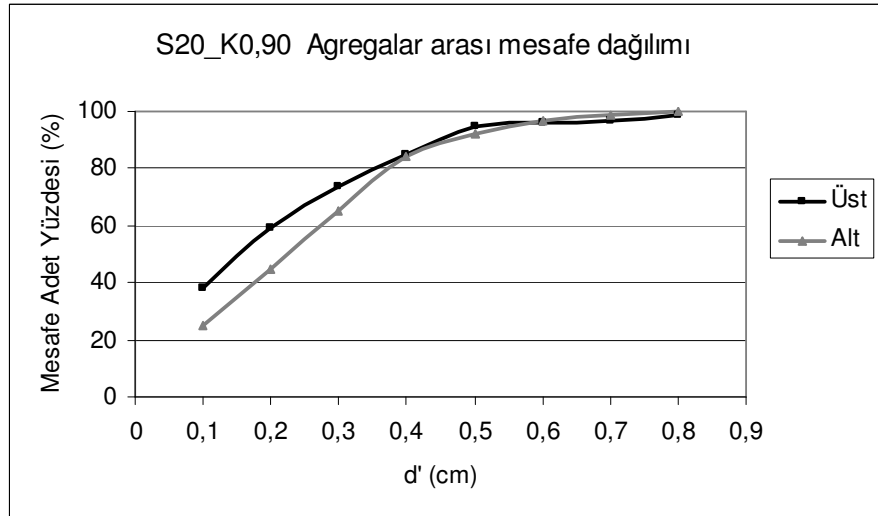
Şekil B.1: S15_K1,00 Kodlu Numunenin Üst ve Alt Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi Dağılımı



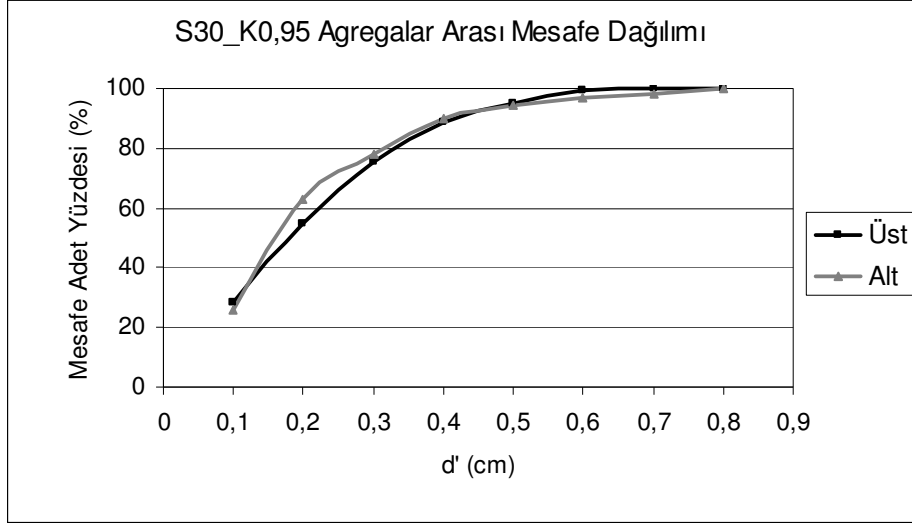
Şekil B.2: S15_K1,05 Kodlu Numunenin Üst ve Alt Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi Dağılımı



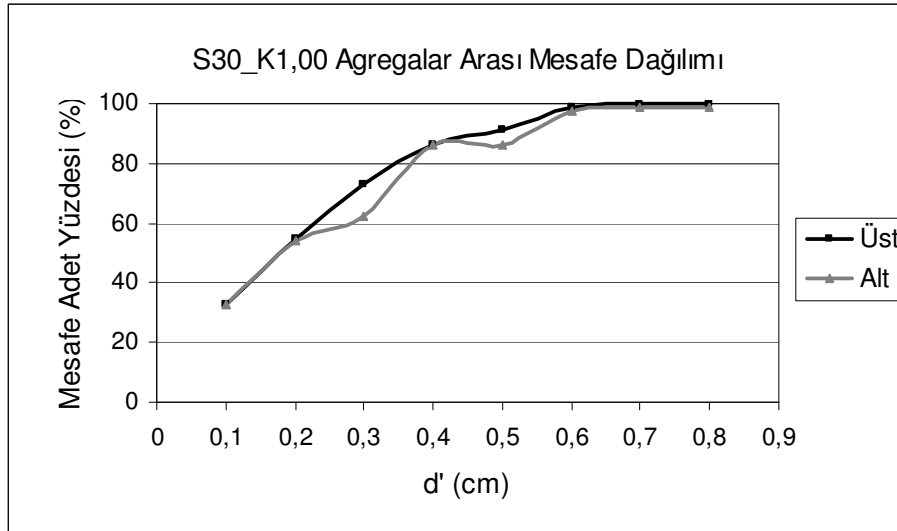
Şekil B.3: S15_K1,10 Kodlu Numunenin Üst ve Alt Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi Dağılımı



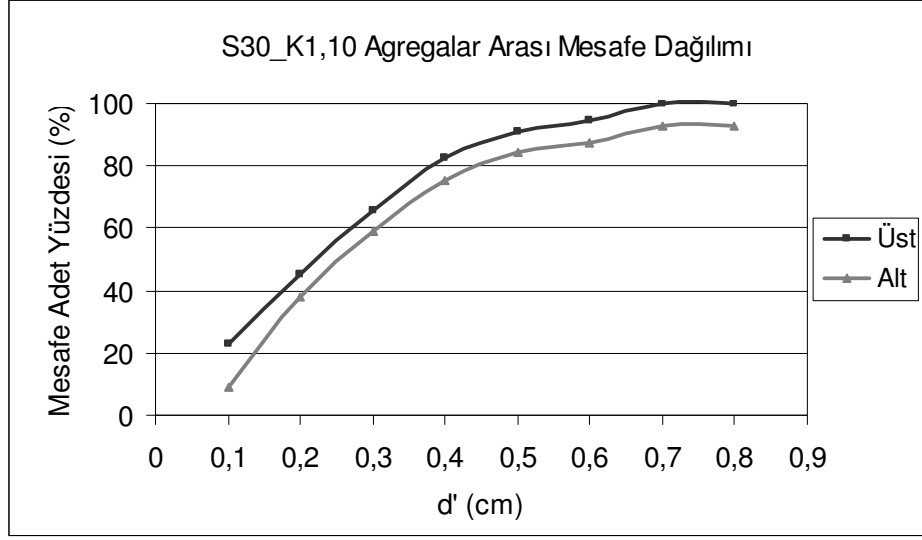
Şekil B.4: S20_K0,90 Kodlu Numunenin Üst ve Alt Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi Dağılımı



Şekil B.5: S30_K0,95 Kodlu Numunenin Üst ve Alt Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi Dağılımı



Şekil B.6: S30_K1,00 Kodlu Numunenin Üst ve Alt Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi Dağılımı



Şekil B.7: S30_K1,10 Kodlu Numunenin Üst ve Alt Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi Dağılımı

ÖZGEÇMİŞ

Cenk KILINÇ, 1980 yılında Adapazarı'nda doğdu. Lise öğrenimini Ankara Batıkent Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 1998–1999 yılında başladığı lisans öğrenimini 2002 yılında tamamladı. 2004 yılında İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2004-2005 Güz yarıyılında İ.T.Ü. İngilizce Hazırlık Bölümünü bitirdikten sonra 2005 bahar yarı yılında başladığı yüksek lisans öğrenimine halen devam etmektedir.