



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR'DA KİMYASAL  
KATKI ve ÇİMENTOLARIN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Burak İNAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

DANIŞMAN  
Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE

Haziran, 2017

İSTANBUL

Bu çalışma 14.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


**Tez Jürisi**



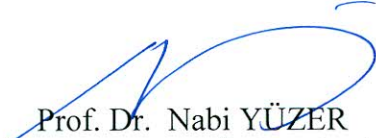
Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE(Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER  
İstanbul Esenyurt Üniversitesi  
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi



Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Nabi YÜZER  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi



Doç. Dr. Mücteba UYSAL  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana yol gösteren ve çalışmalarımı yöneten değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE'ye, değerli görüş ve önerileri ile teze büyük katkı yapan tez jürisinde bulunan çok değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca hayatım boyunca başarımda en büyük paya sahip olan, her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Haziran 2017

Burak İNAN



# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ .....	x
SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ .....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY .....	xiv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>4</b>
2.1.KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON BİLEŞENLERİ.....	5
2.1.1. Çimento.....	5
2.1.2. Agrega.....	6
2.1.3. Beton Karma Suyu .....	6
2.1.4. Kimyasal Katkılar .....	7
2.1.4.1. Süperakışkanlaştırıcı Katkılar.....	7
2.1.4.2. Viskozite Düzenleyici Katkılar .....	8
2.1.4.3. Diğer Kimyasal Katkılar .....	8
2.1.5. Mineral Katkılar .....	9
2.1.5.1. Uçucu Kül.....	9
2.1.5.2. Silis Dumani .....	10
2.1.5.3. Yüksek Fırın Cürufu .....	10
2.2. TAZE BETON.....	10
2.2.1. Taze Beton Özellikleri .....	11
2.2.1.1. Doldurma Yeteneği.....	12
2.2.1.2. Geçme Yeteneği .....	12
2.2.1.3. Ayrışma Direnci .....	13
2.2.1.4. Hareket ve Pompalanabilirlik .....	14
2.2.2. Reoloji.....	15

2.3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ.....	18
2.3.1. Basınç Dayanımı .....	18
2.3.2. Çekme Dayanımı.....	18
2.3.3. Elastisite Modülü .....	19
2.3.4. Sünme.....	19
2.3.5. Büzülme (Rötre).....	19
2.3.6. Dayanıklılık.....	20
2.4. TAZE BETON DENEYLERİ .....	20
2.4.1. Çökme-Akma Deneyi .....	21
2.4.2. Yayılma (T <sub>500</sub> ) Deneyi .....	22
2.4.3. Elek Ayrışma Direnci Deneyi .....	22
2.4.4. V-Hunisi Deneyi .....	23
2.4.5. L-Kutusu Deneyi.....	24
2.5. KARIŞIM TASARIMI .....	25
2.5.1. Betonun Gereksinimleri .....	26
2.5.2. Karışım Tasarım İlkeleri .....	27
2.5.3. Temel Karışım Yöntemleri .....	28
2.6. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ.....	28
2.6.1. Basınç Dayanımı Deneyi .....	28
2.6.2. Ultrases Deneyi .....	28
2.6.3. Su Emme Deneyi .....	29
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>31</b>
3.1. KULLANILAN MALZEMELER .....	31
3.1.1. Çimento.....	31
3.1.2. Agrega.....	32
3.1.3. Kimyasal Katkılar .....	33
3.1.4. Karışım Suyu.....	34
3.2. BETON ÜRETİMİ .....	34
3.2.1. Numune Kod Numaraları.....	34
3.2.2. Üretimde İzlenen Sıra .....	35
3.2.3. Numune Boyutları ve Şekilleri .....	36
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>37</b>
4.1. TAZE BETON DENEYLERİ .....	37
4.1.1. Taze Birim Kütle (Yoğunluk) Deneyi Sonuçları .....	37

4.1.2. Çökme- Akma Deneyi Sonuçları .....	38
4.2. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ.....	40
4.2.1. Birim Kütle (Yoğunluk) Deneyi Sonuçları.....	40
4.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları .....	42
4.2.3. Ultrases Deneyi Sonuçları.....	43
4.2.4. Su Emme Deneyi Sonuçları .....	44
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>46</b>
5.1. TAZE BETON DENEY SONUÇLARININ DEĞİŞİMİ .....	46
5.2. SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARININ DEĞİŞİMİ .....	46
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>49</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>52</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
Şekil 2.1: Taze beton. ....	11
Şekil 2.2: Taze betonun boru içindeki akışı [8]. ....	14
Şekil 2.3: (a) Bingham cismi, (b) Kendiliğinden yerleşen beton akma özellikleri [21]. ....	17
Şekil 2.4: Çökme-akma(slump-flow) deneyi taban levhası [6]. ....	21
Şekil 2.5: Çökme hunisi ile çökme akma-deneyi [11]. ....	22
Şekil 2.6: V-hunisi iç boyutları ve deney düzeneği [4, 5]. ....	23
Şekil 2.7: L-kutusu deney düzeneği [11]. ....	25
Şekil 2.8: Kendiliğinden yerleşen beton karışım tasarım adımları [4,5,6]. ....	26
Şekil 2.9: Basınç dayanımı deneyi. ....	28
Şekil 2.10: Ultrases deneyi. ....	29
Şekil 2.11: Su emme deneyinde numunelerin tartılması. ....	30
Şekil 3.1: Agrega karışımının granülometri eğrisi. ....	33
Şekil 3.2: Numune şekli, boyutları ve kalıp içindeki betonlar. ....	36
Şekil 4.1: Taze birim kütle çizgesi. ....	37
Şekil 4.2: Taze haldeki ağırlığın ölçülmesi. ....	38
Şekil 4.3: T <sub>500</sub> yayılma deneyi sonuçları. ....	39
Şekil 4.4: Yayılma deneyi sonuçları. ....	39
Şekil 4.5: Çökme-Akma deneyi. ....	40
Şekil 4.6: Birim kütle çizgesi. ....	41
Şekil 4.7: 28 ve 56 günlük basınç dayanımları grafiği. ....	43
Şekil 4.8: Betonların 28 ve 56 günlük ultrases hızlarının numune kodlarına göre değişimi. ....	44

**Şekil 4.9:** 28 ve 56 günlük su emme oranları çizgesi. ....45



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Tablo 2.1:</b> Bazı mineral katkıların kimyasal içerikleri [16].	9
<b>Tablo 2.2:</b> Kendiliğinden yerleşen betonlarda taze beton deneyleri [4,5,6].	20
<b>Tablo 2.3:</b> Kendiliğinden yerleşen betonların sınıflandırma değerleri [4,5,6].	27
<b>Tablo 3.1:</b> Çimentonun fiziksel özellikleri.	31
<b>Tablo 3.2:</b> Çimentoların kimyasal özellikleri.	32
<b>Tablo 3.3:</b> Çimentoların basınç dayanımları.	32
<b>Tablo 3.4:</b> Agregaların granülometrik bileşimleri.	32
<b>Tablo 3.5:</b> Agregaların fiziksel özellikleri.	32
<b>Tablo 3.6:</b> Kimyasal katkıların teknik özellikleri.	33
<b>Tablo 3.7:</b> Numune kodları ve açıklamaları.	34
<b>Tablo 3.8:</b> Karışımların bileşimleri.	35
<b>Tablo 4.1:</b> Numunelerin taze kütleleri.	37
<b>Tablo 4.2:</b> Çökme-Akma deneyi sonuçları.	38
<b>Tablo 4.3:</b> 28 ve 56 günlük numunelerin birim kütleleri.	41
<b>Tablo 4.4:</b> Betonların basınç dayanımları.	42
<b>Tablo 4.5:</b> Ultrases deneyi sonuçları.	43
<b>Tablo 4.6:</b> 28 ve 56 günlük su emme deney sonuçları.	44

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

### Simgeler

### Açıklama

$\mu\text{m}$	: Mikrometre
$\dot{\gamma} = \partial\gamma/\partial t$	: Birim zamandaki kayma deformasyon oranı
$\tau$	: Kayma gerilmesi
$\eta$	: Viskozite katsayısı
$\eta\text{p}$	: Plastik viskozite
$M_{\text{ps}}$	: Elek yuvası (alt kap) ile elekten geçen malzemenin toplam kütlesi
$M_{\text{p}}$	: Elek yuvasının (alt kap veyâ toplama kabı) kütlesi
$M_{\text{a}}$	: Eleğe dökülen betonun kütlesi
$\text{SR}$	: Ayrışma oranı (%)

### Kısaltmalar

### Açıklama

<b>EFNARC</b>	: The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
<b>KYB</b>	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
<b>SA</b>	: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddesi
<b>SSC</b>	: Self-Compacting Concrete
<b>THBB</b>	: Türkiye Hazır Beton Birliği
<b>VMA</b>	: Viskozite Düzenleyici Katkılar
<b>YFC</b>	: Yüksek Fırın Cürufu

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA KİMYASAL KATKI ve ÇİMENTOLARIN BETON ÖZELİKLERİNE ETKİSİ

**Burak İNAN**

**İstanbul Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE**

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) yüksek oranda akışkanlık özeliği olan ve vibrasyon olmadan kendi ağırlığı ile yerleşen yüksek dayanımlı betondur. KYB'nin özelliklerini etkileyen önemli etkenlerden biri çimento ve kimyasal katkının etkileşimidir. Bu çalışmanın amacı; KYB'lerde, çimento cinsi ile kimyasal katkı cinsinin birleşik etkisinin incelenmesidir.

Bu çalışmada üç farklı çimento, üç farklı kimyasal katkı kullanılarak beton üretildi. Betonda su/çimento oranı: 0,58 alındı. Betonlarda taze beton özellikleri olarak birim kütle ve yayılma deneyleri yapıldı. Sertleşmiş betonda da 28 ile 56 günde ultrases, basınç dayanımı ve su emme deneyleri yapıldı.

Sonuç olarak farklı kimyasal içeriklere sahip çimento ve kimyasal katkı maddelerinin birbirleri ile olan uyumları incelendi. Yapılan çalışma sonucunda kimyasal katkı kullanımının betonda taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini iyileştirdiği görüldü. Deney sonuçları incelendiğinde PÇ 42,5 R (CEM I) çimentosunun en uygun özelliklere sahip olduğu görüldü. Kimyasal katkılardan ise çimento türüne göre farklı sonuçlar elde edildi.

Haziran 2017, 67 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Kendiliğinden yerleşen beton, kimyasal katkı, basınç dayanımı deneyi, ultrases deneyi.



## **SUMMARY**

### **M.Sc. THESIS**

#### **THE EFFECTS OF CHEMICAL ADDITIVES AND CEMENT ON SELF-COMPACTING CONCRETES**

**Burak İNAN**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Civil Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE**

Self-compacting concrete (SCC) is a high strength concrete with high fluidity which can flow and consolidate under its own weight without application of vibration. One of the important factors affecting the properties of SCC is the interaction of cement and chemical additives. The aim of this study is to examine the combined effect of chemical additives and cement type in SCC.

In this study, concrete was produced using three different cement and three different chemical additives. The water / cement ratio was set to 0.58. Unit mass and slump-flow tests were carried out on fresh concrete. Pulse velocity, compressive strength and water absorption tests were carried out at 28 and 56 days on hardened concrete.

As a result, the compatibility of cement and chemical additives with different chemical contents were examined. It was observed that the use of chemical additives improves the fresh and hardened properties of the concrete. Test results revealed that (CEM I 42.5 R) was the most suitable binder and that the effects of the chemical additives varied with the binder type.

June 2017, 67 pages.

**Keywords:** Self-compacting concrete, chemical additives, compressive strength, pulse velocity.



## 1. GİRİŞ

EFNARC [1] betonu dünyadaki en yaygın üretilen malzemelerden biri olarak tanımlamaktadır. Son yıllarda kimyasal katkı kullanımı ile geliştirilen yeni teknikler betonun niteliğinde artış ve üretimde süreklilik sağlamış; çok yönlü inşaat uygulamaları gerçekleşmiş ve farklı ürünler geliştirilmiştir. En önemli gelişmeler viskozite düzenleyici ve süperakışkanlaştırıcı (SA) katkı maddelerinde meydana gelmiştir.

Günümüzde betonların taze ve sertleşmiş durumda çok çeşitli gereksinimleri karşılamaları istenmektedir. Betonun taze haldeki özellikleri sertleşmiş haldeki özelliklerini ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler. Bu yüzden betonda ayrışma, çatlama, hava delikleri, peteksi delikler, boşluklar gibi sorunların oluşmaması için ayrışmadan yerleştirilmeli ve yerleştirildikten sonra homojenliğini kaybetmemelidir.

EFNARC [1] beton bileşenlerinin dikkatle seçilmesi ve karışım oranlarının özel üretim ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde hesaplanması gerektiğini belirtmektedir. Günümüzde beton daha hızlı üretim, yüksek mukavemet ve dayanıklılık özelliklerine sahiptir. Yüksek akışkanlığa ve kendiliğinden yerleşme özelliklerine sahip, yatay ve düşey olarak ayrışmadan pompalanabilir olmalıdır.

Esping'e [2] göre kimyasal katkılardaki gelişim ve ihtiyaçların değişmesi üzerine kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretilmeye başlanmıştır. En son çalışmalara göre [1,3] KYB ilk olarak Japonya'da deprem tehlikesine ve işçilik yetersizliklerine karşı yeni yapıların dayanım, dayanıklılık özelliklerini arttırmak ve mevcut yapıların hızlı, güvenli şekilde yenilenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Esping [2] yaptığı çalışmada, KYB'nin özelliklerinin bileşenlerine ve bileşim oranlarına yüksek miktarda bağlı olan hassas bir karışım olduğunu belirtmiştir. İçyapısındaki denge, yüksek oranda su azaltıcı katkı (SA) ile iyi ayarlanmış ince malzeme oranı ile sağlanır. Bu dengeyi sağlayan mekanizma yüzey fiziği ve kimyası ile ilgilidir. Bu nedenle KYB'nin özellikleri sıcaklığa, katkıların aktivitesine ve yüksek miktarda eklenen ince malzemeler nedeniyle oluşan yüzey alanına bağlıdır.

En son yapılan çalışmalar [4,5] KYB'yi büyük oranda akma kabiliyetine sahip ve öz ağırlığı ile yerleşebilen bir yapı malzemesi olarak tanımlamaktadır. Akma kabiliyeti ve ayrışmaya karşı direnci, maksimum homojen görünüm, en az boşluk ve kararlı dayanım sağlar. Bu özellikler sayesinde yüksek düzeyde yüzey düzgünlüğü ve dayanıklılık elde edilir. Genel olarak standart beton ile kıyaslandığında, KYB'nin ilk dayanımı daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Karışımda kullanılan su miktarı ile kalıp alma süresinin diğer beton türlerine göre az olması, hızlı üretim ve inşaat süresinin kısa olması belirgin üstünlükleridir.

Kaya'ya [6] göre, KYB'nin üstünlükleri;

- İmalat sırasında vibrasyon uygulanmadığı için ses ve gürültü önemli ölçüde ortadan kalkar. Bu özelliği ile "sessiz beton" adıyla anılır.
- Vibrasyon işlemi işçi sağlığı açısından zararlı bir işlemdir. KYB kullanımı ile bu ve benzeri sorunların önüne geçilmektedir.
- İnşaat uygulamalarında işçilik en önemli üretim basamağıdır. Beton karışımının özellikleri ve nitelikleri ne kadar iyi olursa olsun, kötü bir işçilikle yapılan imalatın sonucu da işçilikle orantılı biçimde kötü olmaktadır. KYB kullanımında yerleştirme ve sıkıştırma işçiliğinin etkisi en az seviyede olduğu için üretimde istenen seviye elde edilebilmektedir.
- KYB kullanımı çok çeşitli yapı öğelerinin imalatı, yüksek donatı oranına sahip kesitlerde ulaşılması güç olan kısımlara iletim olanağı sağlamaktadır. Bununla birlikte daha az işçilik gerektirdiğinden yapım için yapılacak harcama miktarı büyük oranda azalır.
- KYB üretiminde kullanılan iri agrega ve su miktarı standart betona göre daha azdır. Ayrıca katkı ilavesi ile yüksek akışkanlık özelliği kazanır ve bunun sonucunda homojen dağılım sağlanarak ayrışma önlenir.
- KYB taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri açısından standart, alışılagelmiş betondan üstündür.

KYB'de yüksek su kesiciliği ve akışkanlık özelliğine sahip olan yeni kuşak kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Betonun istenen özelliklere sahip olması için katkı ile bağlayıcının tam uyum içinde olması gerekmektedir. Ayrıca betonda katkı içeriğinin gereğinden fazla olması ayrışmaya sebep olacağından en uygun su/bağlayıcı oranı,

betonun bulamaç (su dahil, 200 µm altına geçen bileşen) içeriği ve katkı oranı belirlenmelidir. Bu çalışmada üç farklı tür bağlayıcı ve kimyasal katkı kullanılarak, kimyasal katkı ve bağlayıcı türünün KYB'nin taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerine etkisi incelendi.



## 2. GENEL KISIMLAR

Beton genel olarak agrega ve çimentonun su ile ihtiyaca göre katkıların ilave edilerek homojen olarak birleştirilmesiyle meydana gelen yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır [7]. Beton çimentonun hidrasyonu ile dayanım kazanarak plastik kıvamdan katı hale geçmektedir. Betonun bileşimindeki iri agrega danelerinin arasındaki boşluklar tedricen daha ince daneli katı malzeme (kum) ile doldurularak doluluk (kompasite) artırılır. Agregaya betonun temel yapısını meydana getirirken, çimento agrega tanelerini birlikte tutar. Beton taze halde kolay şekil verilebilmesi, ekonomik oluşu, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması nedeniyle günümüzde en fazla kullanılan yapı malzemesidir.

Çimento hamuru agrega tanelerini sararak birbirine bağlamasına ek olarak aralarındaki boşlukların da doldurulmasını sağlar. Bu bakımdan, beton, “çimento hamuru ile agregaların birleşimi ile meydana gelen karma malzeme” olarak da tarif edilir.

Betonlar birim kütlelerine, basınç dayanımlarına, üretim yerlerine ve üretim amaçlarına göre bölümlendirilebilmektedir.

- Birim kütlelerine göre betonlar:
  - a) Normal Beton: Etüv kurusu halindeki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2000-2600 kg/m<sup>3</sup> arasında bulunan betonlardır.
  - b) Hafif Beton: Etüv kurusu halindeki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 800 kg/m<sup>3</sup>-2000 kg/m<sup>3</sup> arasında bulunan betonlardır.
  - c) Ağır Beton: Etüv kurusu halindeki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2600 kg/m<sup>3</sup>'ten büyük olan betonlardır.
- Basınç dayanımlarına göre betonlar:
  - a) Düşük dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 20 N/mm<sup>2</sup>'den az olan betonlardır.
  - b) Normal dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 20–40 N/mm<sup>2</sup> arası olan betonlardır.

- c) Yüksek dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 40 N/mm<sup>2</sup>'den fazla olan betonlardır.

Kaya [6] üretim sahasına ve amacına göre betonları şu şekilde sınıflandırmaktadır:

- Üretim yerine göre betonlar
  - a) Şantiye betonu: Şantiye de üretilen betonlardır.
  - b) Santral betonu: Beton santrallerinde üretilerek döküm sahasına getirilen betonlardır.
- Üretim amacına göre betonlar:
  - a) Standart betonlar: En çok kullanılan standart beton olarak da sınıflandırılan beton çeşididir. Basınç, çekme ve eğme dayanımları yüksek dayanımlı betonlara göre çok düşüktür.
  - b) Özel betonlar: Belirli bir amaç için üretilen; normal betonlara göre basınç, çekme, dayanımları ile süneklik, kimyasallara karşı dayanıklılıkları yüksek olan betonlardır. Genellikle standart betonlardan farklı olarak mineral ve kimyasal katkı maddeleri ilave edilir. Kendiliğinden yerleşen betonlar bu sınıftadır.

## **2.1.KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON BİLEŞENLERİ**

Standart, alışlagelmiş beton üretiminde kullanılan TS EN 206-1 standardına uygun olan malzemeler ile KYB üretiminde kullanılan malzemeler arasında fark yoktur [4,5]. Genel olarak Avrupa standartları KYB'yi oluşturan malzemeler için özel şartlar belirlemiştir. Fakat KYB'nin standart özelliklere sahip olması için ilk seçim ve diğer harmanların sürekli olarak denetlenmesi gerekmektedir.

KYB şartlarının yerine getirilmesi için kullanılan malzemeler düzenli olarak denetlenmeli ve değişkenlikler azaltılmalıdır. Böylelikle üretilen her beton harmanının veyâ üretim biriminin istenen özelliklerde olması sağlanır.

### **2.1.1. Çimento**

Çimento veyâ kalsiyum silikat esaslı bağlayıcı madde kalker ve kilden meydana gelen ve su ile reaksiyona girerek sertleşen bağlayıcı malzemedir [3,8]. Kalker, marn ve kil konkasörde kırılır ve ince öğütülerek farin elde edilir. Bu uygun bileşime sahip karışım

1400 °C- 1500 °C’de döner fırınlarda pişirilerek “klinker” elde edilir. Üretilen klinkerlere %4- %5 oranında alçı taşı eklenip yeterince ince öğütülerek Portland Çimentosu meydana gelir. Katkılı çimento üretiminde klinker ve alçı taşına ilave olarak çimento tipine göre tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. mineral kökenli ikincil bileşen veyâ katkılardan bir ya da birkaçı katılır. Betonun meydana getiren malzemeler arasında hacim olarak az olan çimento, diğer malzemelere göre daha önemlidir. Beton üretiminde kullanılacak çimento TS EN 197-1’e uygun olmalıdır.

### **2.1.2. Agregâ**

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl ve kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır [3,8]. Betonda hacimsel olarak %60-75 oranında bulunurlar. Agregalar oluşumuna göre, birim ağırlığına göre, tane boyutlarına göre ince (ince; kum, kırma kum, vb.) ve (kaba; çakıl, kırmataş, vb.) farklı şekilde gruplandırılırlar. Genel olarak beton üretiminde kullanılan agregalarda istenen özellikler şunlardır:

- Betona zarar verebilecek maddeleri içermemeli (Toz, toprak, vb.),
- Zayıf taneler içermemeli,
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmalı,
- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalı,
- Yassı ve uzun taneler içermemeli,
- Çimentoyla ile beraber zararlı reaksiyona girmemelidir.

### **2.1.3. Beton Karma Suyu**

İçilebilir özellikte olan tüm sular beton üretiminde kullanılabilir [3,8]. Beton karma suyu TS EN 1008 standartlarını sağlamalıdır. Suyun beton karışımı içerisinde iki temel görevi bulunmaktadır. Bunlar;

- Karışımın işlenebilirliğini,
- Çimentonun hidratasyonunu ve karışımın sertleşmesini sağlamaktır.

#### 2.1.4. Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkıları, beton ve harcın özelliklerini amacına uygun olarak istenilen seviyeye getiren malzemeler olarak tanımlanabilmektedir [7,9]. Kimyasal katkıları betonun içerisinde diğeri bileşenlere oranla az miktarda kullanılır. Kimyasal katkıları beton özelliklerine etki biçimlerine göre beton ve harcın içyapısını değıştiren, priz ve sertleşmeyi düzenleyen, hava içeriğini azaltan, fiziksel, mekanik ve kimyasal etkilere karşı direnci arttıran katkıları olmak üzere farklı gruplara ayrılmaktadır. Bu katkıları içerisinde en fazla kullanılanlar süperakışkanlaştırıcılarıdır.

##### 2.1.4.1. Süperakışkanlaştırıcı Katkıları

Ormancı [10] yaptığı çalışmada süper akışkanlaştırıcı (SA) katkıları, su/çimento oranı veya su/bağlayıcı oranını minimum seviyede tutarak betonun ana özellikleri olan dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirliği arttıran kimyasal malzemeler olarak tanımlamaktadır. Süper akışkanlaştırıcıları üretimi ve geliştirilmesiyle beraber betonda ayrışma ve yerleştirme sırasında meydana gelebilecek boşluklar engellenmektedir. SA katkıları ilk olarak 1960'lı yılların sonlarına doğru Japonya'da kullanılmaya başlanmıştır. Bu katkıları ortalama olarak %30 oranında su azaltma özelliğine sahip kimyasallardır.

Kaya [6] yaptığı çalışmada süper akışkanlaştırıcıları içeriğine bağlı olarak dört ana gruba ayırmaktadır:

- a) Melaminformaldehidsülfonatlar
- b) Naftalinformaldehidsülfonatlar
- c) Geliştirilmiş lignosülfonatlarlar
- d) Diğeri (sülfonik asit esterleri ile karbonhidrat esterleri vb.)

Beton üretiminde genellikle melamin ve naftalin esaslı katkıları kullanılmaktadır. Bu süper akışkanlaştırıcı polimerler ilk olarak çimento tanelerinin yüzeyini sararlar. Çimento tanelerinin yüzeylerinin negatif yükü, polimer zincirleri tarafından arttırılır. Çimento tanecik yüzeyleri, geleneksel melamin ve naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı polimer molekülleri ile, beton karıştırma işleminin en erken aşamasında kuşatılırlar. Polimer zincirlerinin sülfonik grupları, çimento tanecik yüzeylerinin negatif yükleyerek bu kuvvetle tanecikler hareket ettirir. Meydana gelen sistem ile daha az su eklenerek çimento hamuru ayrılır ve işlenebilirlik artar. Hidratasyon ise suyun çimento tane

yüzeyine ulaşması ile beraber meydana gelir. Hidratasyon kristalleri, tanelerin yüzey mekaniğini değiştirerek serbest dağılımı önler.

Kimyasal katkı içeren betonların yapısı, klinkere ilave edilen sülfat cinsi ve oranı ile bağlantılıdır.

#### **2.1.4.2. Viskozite Düzenleyici Katkılar**

Viskozite düzenleyici katkıları (VMA) betonda ayrışmaya karşı direnci ve kohezyonu artırırken, kuma gibi sorunları önlerler. Genellikle gerilmenin ve viskozitenin artmasına neden olurlar. Ayrıca bu katkıları alternatif olarak su/toz malzeme oranının düşürülmesini sağlarlar.

Akrilik veya selüloz bazlı, suda çözünür polimerler veya bazı mikrobiyal kaynakların polisakkaritleri betonda yaygın olarak kullanılan viskozite düzenleyici katkılarıdır. Suda çözünür polimerler sistemdeki serbest suyun bir kısmını emerek çimento macununun viskozitesini arttırabilirler. Bunun sonucunda macun, agrega parçacıklarını kararlı bir süspansiyon halinde tutmaya olanak tanır [11].

KYB' de VMA kullanılması durumunda, karışımdaki süperakışkanlaştırıcılar ile uyumu denetlenmelidir. Örnek olarak selüloz türevleri, naftalin esaslı süperakışkanlaştırıcılar ile uyumlu değildir.

Beton içerisine VMA ilave edilmesi, çimentonun hidrotasyonunu etkileyebilir. Bunun sonucunda genellikle sertleşmiş betonun basınç dayanımında, eğilme mukavemetinde ve elastisite modülünde azalma meydana gelir [11].

#### **2.1.4.3. Diğer Kimyasal Katkılar**

Diğer kimyasal katkıları betonun istenen bir özeliğini iyileştirmek ve/veyâ düzenlemek için kullanılırlar [12]. Genellikle kullanım amaçları priz süresini uzatmak ya da kısaltmak, betonun geçirimsizliğini azaltmak ve karma suyunun donmasını engellemektir.

Başlıcaları:

- a. Priz Geciktiriciler
- b. Priz Hızlandırıcılar
- c. Su Geçirimsizlik Katkıları
- d. Antifrizler

### 2.1.5. Mineral Katkılar

Mineral katkıları çimento kütlesinin % 15- % 60 oranı gibi büyük miktarlarda betona ilave edilen silisli malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Puzolanik ve çimento esaslı olabildiği gibi, her ikisi de betona ilave edilebilmektedir. KYB üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcıların neden olabileceği ayrışma problemi mineral katkı kullanımı ile çözülebilmektedir [3,13,14].

Beton karışımına mineral katkı ilave edilmesinin yararları;

- Dayanımda artış
- Isıl çatlamaya ve kimyasallara karşı direnç (dayanıklılık)
- Ekonomi sağlamasıdır.

#### 2.1.5.1. Uçucu Kül

Pulvarize kömürün yanmasıyla meydana gelen külün bir bölümü ocak tabanında toplanırken bir bölümü de gazlarla birlikte bacadan dışarıya atılır. Bunlar “uçucu kül” veya “pulvarize yakıt külü” olarak adlandırılır. Beton üretiminde en çok kullanılan uçucu küller, elektrostatik veya mekanik olarak çöktürme işlemi ile toplanır. Uçucu küller F ve C tipi olarak adlandırılırlar. F tipi puzolanik özeliğe sahiptir. C tipi küller ise puzolanik özeliği yanında belirli oranda bağlayıcılık özeliğine de sahiptir [15].

**Tablo 2.1:** Bazı mineral katkıların kimyasal içerikleri [16].

	UÇUCU KÜL	SİLİS DUMANI	YÜKSEK FIRIN CÜRUFU
SiO <sub>2</sub> (%)	38-55	>85	30-40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	20-40	<2	5-10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6-16	<1	<2
CaO (%)	1,8-10	<1	35-40
MgO (%)	1-3,5	<1	5-18
Na <sub>2</sub> O (%)	0,8-1,8	<1	<1
K <sub>2</sub> O (%)	2,3-4,5	<1	<1
Cl (%)	<0,01	<0,3	<0,1
SO <sub>4</sub> (%)	0,42-30	<0,3	<2,5
Kızdırma Kaybı (%)	3-20	<4,5	<3,0

### 2.1.5.2. Silis Dumanı

Silika dumanı, silikon metal ve ferrosilikon alaşımlarının üretiminde elde edilen yan taneciklerdir. Süreç elektrik ark fırınlarında 2000°C üzerinde gerçekleşir [16]. Silis dumanı çoğunlukla küresel danecikli çok ince bir tozdur. Ortalama çapı, çok yüksek yüzey alanı (15,000-25,000 m<sup>2</sup>/kg) ile birlikte yaklaşık 0,15µm'dir. Her mikro küre bir çimento tanesinden ortalama olarak çok daha küçüktür. Tohumcu ve Bingöl 'e [15] göre partiküllerinin ince olması ve reaksiyona girme kabiliyetlerinin fazla olması nedeniyle erken ve nihai dayanımı yüksek beton üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 2.1.5.3. Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufunu, demir-çelik üretim tesislerinden temin edilen atık maddelerden veyâ yan ürünlerden birisi olarak tanımlanabilir [17]. Demirin üretiminde hafif olması nedeniyle ergimiş ham demirin üzerinde bulunur. Ana bileşenleri Portland klinkeri gibi kireç, silika, alümin ve bir miktar demir oksitten oluşan, 1400-1600 °C'de ergimiş cüruf uygun özelliklere sahip su ile uygun hızda (1 ton ergimiş yüksek fırın cürufuna akışkan yatakta 5 ton su püskürtülüp) soğutularak amorf yapıli daneli hâle getirilir. Bu ürün ince ((400 ~ 800) m<sup>2</sup>/kg Blaine inceliğinde) öğütüldüğünde tek başına veyâ uygun tetikleyiciler katılarak hidrolik bağlayıcı özellik kazanır. Tetikleyicilerin, aktivatörlerin (sodyum hidroksit ya da kalsiyum hidroksid) yardımı ile ve/veyâ bağlayıcı karışımlar içerisindeki portland klinkerinin hidratasyonundan gelen Ca(OH)<sub>2</sub> ile hidrolik bağlayıcı özeliğe sahip olurlar [3].

Yüksek fırın cürufu ilaveli betonların nitelikleri;

- Sırf Portland klinkerli beton ile kıyaslandığında işlenebilirlikleri daha yüksektir.
- Beton üretiminde ilave edilen suyu %5 oranında azaltırlar.
- Erken yaş dayanımları düşük, 28 günlük dayanımları ise standart betonlara göre yüksektir.
- Kimyasal katkılar ile uyumludurlar.
- Dış faktörlere göre standart betonlardan daha dayanıklıdırlar.

## 2.2. TAZE BETON

Kaya [6] taze betonu; çimento hamuru ve agregadan meydana gelen plastik karışım olarak tanımlamaktadır. Karışımdaki agregaların yüzeyi, çimento hamuru tarafından sarılır ve

aralarındaki boşluklar doldurulur. Agregalardaki sürtünme taze haldeki hamur tarafından azaltılır, böylece işlenebilirlik artar. Betonun sertleşmesi ile birlikte hamur, agrega tanelerini bir arada tutarak betonun durabilitesini ve gücünü artırır.

Taze betonda istenen özellikler şunlardır:

- a) Beton üretilirken kolay karıştırılabilmelidir. Betonun meydana getiren bütün bileşenler en az enerji harcayarak hızlı ve homojen olarak dağılmalıdır. Bütün harmanlar ve beton üretim birimleri homojen olmalıdır.
- b) Karıştırma ve yerleştirme sırasında homojenliği ile istenilen özelliklerinde değişiklik farklılık olmamalıdır. Karışımın işlenebilirliği kalıbı boşluksuz ve ayrışmaksızın dolduracak düzeyde olmalıdır.
- c) Yüksek oranda enerji ihtiyacı olmadan sıkıştırma yapılabilmelidir.
- d) Karmaşık, girift donatılı yapı öğeleri kolay doldurulabilmeli ve döküldükten sonra yüzey düzeltmeye ihtiyaç duyulmamalıdır.



**Şekil 2.1:** Taze beton.

### 2.2.1. Taze Beton Özellikleri

Beton teknolojisindeki ilerlemelerle, farklı kimyasal ve mineral katkıların kullanımı taze betonun özelliklerini iyileştirmiş ve kendiliğinden yerleşebilme özelliğinde yeni nesil

betonlar üretilmiştir [18]. Katkılı betonların, kararlılıklarının ve akışkanlıklarının yüksek olması nedeniyle kolay şekil verilebilirler. Böylece yüzey özellikleri yüksek olduğundan dayanıklılığı da artmaktadır. Taze betonun özelliklerini belirlemek için uygulanan standart deney yöntemleri ülkelere göre değişmektedir. Deney türünün belirlenmesi ve sonuçlarının yorumlanması üreticilerin tecrübeleri ile ilişkilidir.

#### **2.2.1.1. Doldurma Yeteneği**

Doldurma yeteneği kalıbı ve donatı çubukları arasındaki boşlukları doldurma yeteneği tamamen taze betonun hareketliliği ile ilgili bir özelliktir ve kendi ağırlığı etkisi altında şekil değiştirip, kalıba yerleşebilmesidir. Bunun için katı bileşenlerin taneleri arasındaki sürtünmeyi azaltmak gerekmektedir [1,19]. Bu da iki işlemle mümkün olabilmektedir:

- Filler kullanılarak ince tanelerin etrafının en uygun şekilde sarılması, kohezyon sağlanarak ayrışmanın engellenmesi,
- Süperakışkanlaştırıcı katkı ilavesi ile istenen işlenebilmenin sağlanması.

#### **2.2.1.2. Geçme Yeteneği**

Deep [11] geçme yeteneğini, taze betonun sık donatılı ve dar kesitlerden ayrışma olmadan, üniformluk kaybı olmadan ya da tıkanmaya sebep olmadan akma yetisi olarak tanımlamaktadır. Geçme yeteneği, akma yeteneğine bağlıdır. Betonun donatılar arasından kusursuzca akması için iri agregaya parçalarının karışım içerisindeki miktarının yeniden ayarlanması, ayrışma direncinin sağlanması, betonarme öge içerisindeki aralıkların tıkanmaması şarttır. J-halkası ve L- kutusu testleri bu özelliği değerlendirmek için kullanılan en yaygın yöntemlerdir.

Karışım içindeki kaba agregaya oranı arttıkça kemerlenme ve tıkanma (bloka) olasılığı artar. Agregaların boyutları, şekilleri ve hacim oranları geçme yeteneğini etkiler.

Okamura and Ouchi (1999)'nin çalışmalarına göre; betonun deforme olmasıyla artan daneler-arası iç basınç nedeniyle daneler arasındaki mesafeler artar (dilatant davranış, kabarma). Bunun sonucunda temas ve çarpışma gözlenerek, en yakın engelde takılma meydana gelmektedir. Araştırmalar akış için gerekli olan enerjinin, iç basınç (içsel sürtünme) tarafından tüketildiğini göstermektedir. Enerji tüketimi yüksek olan iri agregaya içeriğini sınırlandırarak kemerlenme ve tıkanma (bloka) olasılığı azaltılabilir.

### 2.2.1.3. Ayrışma Direnci

Kendiliğinden yerleşen betonlarda homojenliğin sağlanabilmesi ve nitelikli üretimin gerçekleşebilmesi için ayrışma direncinin önemli bir unsur olduğu belirtilmektedir [4,5]. KYB' de ayrışma sorunu betonun dökülmesinden itibaren, taze halde ve sertleşmeden önce de görülebilir. Betonun yerleştirilmesinden itibaren meydana gelebilecek ayrışma çok zararlı olur. Ayrışma sonrasında özellikle ince yapısal kesitlerde, çatlama ve yüzey problemleri görülebilir.

Kılınç [7] KYB' de meydana gelmesi istenmeyen ayrışma türlerini aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır:

- Terlemenin oluşması (su ile katı fazın ayrışması)
- Agregaya ile çimento hamurunun ayrışması,
- Kaba agregaya ayrışması sonucu tıkanma meydana gelmesi,
- Hava boşluklarının homojen olarak dağılmamasıdır.

Karışım içerisinde bulunan suyun oranı azaltılarak terleme problemi önlenir. Su oranının düşürülmesi için serbest su miktarı, su/toz madde oranı azaltılmalıdır. Ayrıca serbest su, özgül yüzeyi büyük olan malzemelerin üzerinde daha fazla tutulacağından, ayrışma eğilimini azaltmak için özgül yüzeyi büyük toz malzemeler kullanılmaktadır. Suyun katılardan ayrışma direnci viskozite artırıcı katkıları kullanılarak iyileştirilebilir.

Yüksek ayrışma direnci elde edilebilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar:

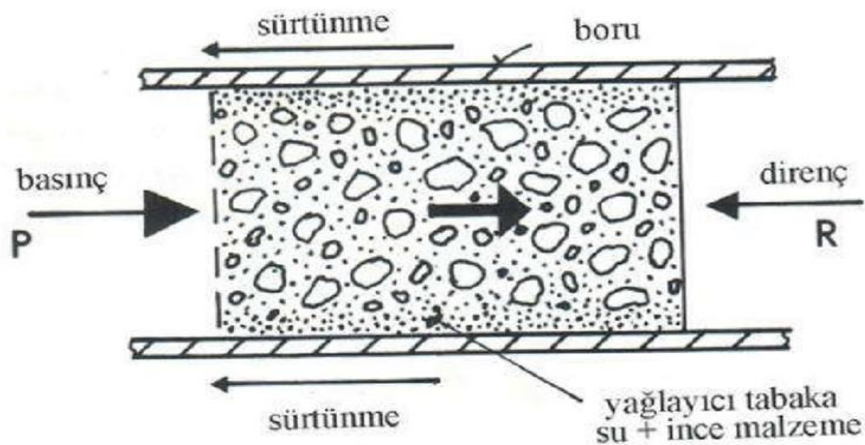
- Viskozitenin artırılması,
- İri agregaya içeriğinin en aza indirilmesi,
- Su/bağlayıcı oranının azaltılması,
- Serbest terlemenin azaltılması,
- Düşük su içeriği
- Yüksek özgül yüzeye sahip bağlayıcıların kullanılması.

Kılınç'a [7] göre KYB'lerin vibrasyona ihtiyaç olmadan kalıba yerleşebilmesi için, şekil değiştirebilme kabiliyetlerinin ve ayrışma dirençlerinin yüksek olması gerekmektedir. Ayrışma direncinin yüksek olduğu karışımlarda yatay ve düşey ekseninde segregasyon gözlenmez. Bu durumun gerçekleşebilmesi için agregaya dağılımının düzenli ve üniform

olması gerekir. Ayrışma direncinin düşük olması basınç dayanımında düzensizliklere, kılcal çatlamalara ve hareket kabiliyetinin azalmasına sebep olabilir.

#### 2.2.1.4. Hareket ve Pompalanabilirlik

Yüksek başarımlı beton dış etkiye en az ihtiyaç duyarak akan ve son konumuna gelene kadar yapısında bozulma, ayrışma gibi uygunsuzluklar görülmeyen beton olarak betimlenebilmektedir [10]. Aynı zamanda her türlü kalıba dökülebilmeli ve sık donatılı kesitlerden zorlanmadan geçebilmelidir. Betonun su ya da çukur içerisine dökülmesi gereken durumlar da olabilir. Bu nedenle akma miktarı, hareket kabiliyeti olarak bilinir. Hareket kabiliyetinin tam olarak belirlenebilmesi için genel bir deney yöntemi yoktur. Akış kabiliyetinin ve akabilirliğin, belirlenebilmesi için yapılan taze beton deneyleri hareket kabiliyeti hakkında kesin sonuç vermez. Betonun yerine yerleştirilmesi genellikle pompalanarak sağlanır. Bu uygulamanın istenen şekilde olabilmesi için en az basınç etkisine ihtiyaç duyulmalı, ayrışma ve tıkanma oluşmamalıdır. Pompalama esnasında sürekliliğin sağlanabilmesi için hareket kabiliyetinin yüksek olması ve betonun iç yapısının dengeli olması gerekir. Özet olarak pompalanabilirlik, betonun dış etki ile bulunduğu ortamda dengeli biçimde hareket edebilmesidir. Hareketin düzenli olabilmesi için bileşim tasarımının dikkatli yapılması gerekir. Tasarımda agregaların oranları dikkatli seçilerek betonun boşluk miktarı düşürülmelidir. Beton içerisindeki bileşenlerin pompalanabilirliğine tesiri Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2: Taze betonun boru içindeki akışı [8].

Ormancı [10] yaptığı çalışmada, karışımdaki ince malzeme oranının fazla olması sürtünmeyi ve pompalanma basıncını çok arttırdığını belirtmiştir. Kimyasal katkı veya su ilavesi ile sürtünme ve basınç azaltılabilir. Katkı ve su ilavesi istenmeyen durumlarda karışım tasarımı tekrar yapılmalıdır.

### 2.2.2. Reoloji

Reoloji; ideal madde özelliklerine sahip olmayan maddelerin akma özelliklerinin belirlenmesini kapsar [7]. Beton bileşenleri ideal maddelere göre çok daha karmaşık akma özelliklerine sahiptir. Betonun özelliklerini en çok etkileyen bileşen bölütü 200 µm altına geçen katıları içeren bulamaç veyâ hamur fazıdır. Hamurun belirli bir kuvvet altındaki şekil değiştirmesinin tahmin edilebilmesi için reolojik özelliklerinin yeterli ayrıntı düzeyinde incelenmesi gerekir. Reolojik inceleme çimento gibi çok değişkenli bir malzeme ile yapıldığında, basitleştirilmiş malzeme modelleri ve gerçek malzeme davranışı arasındaki farklılıklar göz önünde bulundurulmalıdır. Beton içerisindeki bulamaç fazı tiksotropik Bingham cismi olarak basitleştirilebilir (Şekil 2.3a).

Tiksotropi (thixotropi,  $\theta\eta\sigma\tau\sigma\pi$ ), sükûnete terk edilip hareketsiz bırakıldığında pelte dayanımı ( $\tau_g$ , akma eşik dayanımı, “gel strength”) oluşması ve/veyâ sükûnette geçen süreyle bu dayanımın artması, çalkantı (agitation), kayma (shear) hareketi olduğunda pelte dayanımının azalması biçimindeki mekaniksel davranışın adıdır. Pelte dayanımı, katı danecikler arasında elektriksel kuvvetler etkisiyle sıvı sürekli ortam içerisinde zayıf bağlarla bağlı sürekli bir katı çatı oluşumu sonucunda ortaya çıkmaktadır. Çalkantı ve kayma şekil değiştirmesi etkisiyle bu zayıf bağlar kopmakta ve cisim içerisinde kayma gerilmeleri ( $\tau$ ) (ve kayma şekil değiştirme hızı,  $\dot{\gamma} = d\gamma/dt$ ) belirli bir düzeyden büyük ( $\tau > \tau_g$ ,  $\tau_g$ : pelte (jel) dayanımı) olduğunda cisim akışkan davranış göstermektedir. Kayma gerilmesi pelte dayanımından küçük olduğunda cisim katı davranış göstermektedir. Tiksotropik çatı oluşma eğilimi çalkantı, kayma şekil değiştirmesi etkisiyle orantılı biçimde bozulduğundan, eş deyişle birim hacimdeki tiksotropik bağ sayısı koparak azaldığından kayma hızı arttıkça kaymayı sürdürmek için uygulanması gereken kayma gerilmesi ve bunun sonucunda plastik viskozite ve pelte dayanımı azalabilmektedir (rheopepsy). Bu basit tiksotropik davranıştır. Tam hidrate doğal sodyum bentonit killerinin su içerisinde kütlece % 5 % 10 kolloidal karışımları bu özeliği gösterir. Kayma veyâ çalkantı etkisiyle hidrasyon ürünleri parçalanarak dane büyüklükleri azalırsa birim

hacimdeki danecik ve olası bağ noktası sayısı ile birlikte tiksotropik bağ kurma eğilimi artmakta, reopektik (rheopctic, pekleşen akışkan) davranış ortaya çıkabilmektedir. Kalsiyum silikat esaslı bağlayıcıların yer aldığı bulamaçta hidrasyon tepkimelerinin hızı bağlayıcı inceliğine ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiğinden, hidrasyon ekzotermik bir yüzey tepkimesi olduğundan akma özellikleri oldukça karmaşıklaşmaktadır [3].

Taze beton, hidrasyon devam etmekteyken taşınmakta ve yerine yerleştirilmekte, akmaya zorlanmakta ve kayma şekil değiştirmeleri oluşmaktadır. Kendiliğinden yerleşen, genelde bulamaç içeriği yüksek betonların akma özelliklerini Bingham cismini esas alarak tanımlamak için cihazlar ve deney yöntemleri geliştirilmiştir. Şekil 2.3a'da görüldüğü gibi, bu plasto-viskoz davranışın tanımlanması için en az iki farklı kayma hızında kayma gerilmelerinin ölçülmesi gerekmektedir. "Dönel reometreler" olarak da anılan bu cihazların ilki Powers (1968'de önerilen) ve sonra Wong tarafından geliştirilmiştir; "kaydedici plastometre (recording plastometer)" adıyla anılmaktadır. Tattersall tarafından 1970li yıllarda geliştirilip 1979 yılında önerilen, sonra yine Tattersall ve Wallevik ve Gjörv tarafından 1990lı yıllarda değiştirilip geliştirilen "iki-noktalı deney" ile de plasto-viskoz davranışı tanımlayacak iki nokta elde edilmektedir [3]. Betonun akma özellikleri belirli iki kayma hızında gerçekleştirilen deney sonuçlarından tahmin edilmektedir [20].

Bingham cisminin mekaniksel davranışı

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2.1)$$

$$\dot{\gamma} = d\gamma/dt \quad (2.2)$$

bağıntısıyla ifade edilir (Şekil 2.3(a)). Bu bağıntılarda

$\tau$ : Kayma gerilmesi, N·m<sup>-2</sup> (Pa)

$\tau_0$ : Akma gerilmesi (pelte dayanımı)

$\gamma$ : Şekil değiştirme oranı (açısal)

$\dot{\gamma} = d\gamma/dt$ : Şekil değiştirme hızı (s<sup>-1</sup>)

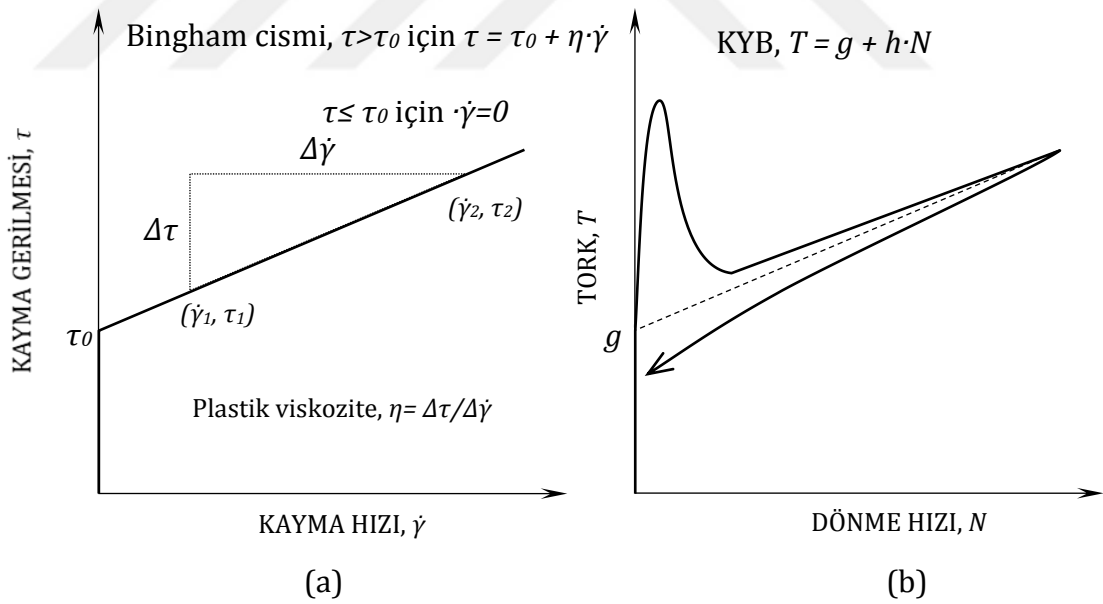
$\eta$ : Plastik viskozite (Pa·s)

İnce daneli katıların sulu karışımlarının akma davranışlarını belirlemek üzere kullanılan cihazlarda tiksotropik davranış sebebiyle dönme hızına ve karışıma verilen çalkantı, titreşim etkisi düzeyine bağlı olarak çoğunlukla tek bir plastik vizkozite değeri ve akma eşiği (akma dayanımı) belirlenmesi söz konusu olmaz (Şekil 2.3(b)). Ölçülen değerler kullanılan cihazın özelliklerine bağlı olduğundan cihazda uygulanan iki ayrı dönme hızı (N1, N2) ve bunlara karşılık dönme momentleri (“tork”lar) (T1, T2) kaydedilmekte, bu değerlerden itibaren söz konusu âletle ölçülen akma özeliği tanımlanmaktadır.

Günümüzde genel olarak laboratuarlarda kullanılan dönel (rotational) reometrelerle ölçülen akma özellikleri

$$T = g + h \cdot N \quad (2.3)$$

bağıntısıyla temsil edilmektedir. Vibrasyonlu ve vibrasyonsuz olarak elde edilen (N1, T1), (N2, T2) noktaları yüksek akışkanlaştırılmış betonların, özellikle vibrasyon gerektirmeyen KYB’lerin akma özelliklerini göstermek üzere kullanılmaktadır.



Şekil 2.3: (a) Bingham cismi, (b) Kendiliğinden yerleşen beton akma özellikleri [21].

### **2.3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ**

En son yapılan çalışmalarda [4,5] basınç dayanım değerleri birbirine eşit olan KYB ve standart betonun özelliklerini karşılaştırmanın mümkün olduğu belirtilmektedir. Farklılıkların temel nedeni farklı tasarım ölçütlerinden kaynaklanmaktadır. Beton tasarımı yapılırken incelenmesi gereken en önemli ölçütler şunlardır:

- Basınç dayanımı
- Çekme dayanımı
- Elastisite modülü
- Sünme
- Rötne
- Dayanıklılık

#### **2.3.1. Basınç Dayanımı**

KYB’de daha küçük su/çimento oranları kullanıldığı için standart betona göre basınç dayanımları daha fazladır. Standart betonda vibrasyon uygulandığı zaman karışımdaki su yüzeye çıkma eğilimi gösterir. Bunun sonucu olarak gözenekli ve zayıf ara yüz bölgeleri oluşur. KYB tasarımı ve üretimi dikkatli yapılması durumunda homojen, ayrışmaya dayanıklı ve sıkıştırmaya gerek kalmadan yerleştirilebilen beton üretilmiş olur. KYB üretiminde vibrasyon kullanılmaması, agrega daneleri ile çimento hamurunun arasında daha iyi ara yüz oluşmasını sağlar ve KYB’nin mikro yapısının iyileştirilmesine; mukavemet, geçirgenlik, dayanıklılık özelliklerinin iyileşmesine ve nihai olarak betonun daha uzun ömürlü olmasına neden olur [4,5].

#### **2.3.2. Çekme Dayanımı**

KYB’nin çekme dayanımı standart betonlara kıyasla daha yüksektir. Bunun nedeni sıkıştırma ve yerleştirme esnasında görülen işçilik kusurlarından kaynaklanan boşluk miktarı ile ayrışmanın KYB’de çok düşük seviyede olmasıdır [17].

### 2.3.3. Elastisite Modülü

Elastisite modülü ötelenmelerin, genellikle sehımlerin kontrolünde kullanılan en önemli değişkendir. Beton hacminin büyük bir bölümü agregadan oluşmaktadır. Agreganın en önemli özellikleri cinsi, oransal miktarı ve elastisite modülü değeridir. Betonda elastisite modülü yüksek olan agrega kullanılması ile karışımın elastisite modülü artar. Bağlayıcı hamur hacmini arttırmak elastisite modülünü düşürebilir. Standart, alışılmamış betondaki hamur miktarı KYB'den daha az olduğu için, elastisite modülü daha yüksek olabilir. KYB ile standart betonun elastisite modülleri arasındaki fark, güvenlik sınırları içerisinde kalmaktadır [4,5,22].

### 2.3.4. Sünme

Sünme sabit gerilme etkisi altında zamanla meydana gelen şekil değiştirme olarak tanımlanır [3]. Sünme hesaplanırken büzülme, şişme ve ısıl şekil değiştirmeler de incelenmelidir. Sünme öngermeli betonlarda, öngörme kuvvetini düşürür ve betondan betonarme donatısına doğru yük aktarımı veyâ geçişi oluşur. Çekme ile oluşan sünme yapısal öğelerdeki gerilmeyi bir miktar düşürmesinden dolayı yararlı olabilir (kuruma büzülmesi ve ısıl kısalmanın etkilerini azaltabilir). Sünme çimento hamurunda oluşur. Çimento hamurundaki boşluklar hidrasyon esnasında azalır ve dayanımın yükselmesiyle, zamanla sünme miktarı düşer.

### 2.3.5. Büzülme (Rötre)

Büzülme kendi kendine oluşan (otojen) ve kuruma büzülmesinin toplamıdır [4,5,6]. Otojen büzülme, hidrasyonun başlamasıyla beraber su kaybına neden olur. Hidrate olmamış çimento ve suyun hacmi, hidrasyon ürünlerinin hacminden daha büyüktür. Bunun sonucu olarak çekme gerilmeleri ile otojen (bünyesel, öz) büzülme oluşur. Buharlařma ile meydana gelen su kaybı sonucu oluşan büzülme ise kuruma büzülmesi olarak tanımlanır. Daha çok hamurda görölmesine rağmen, az miktarda agregadan da görölabilir. Kuruma büzölmesinin oluşturduğu gerilmelerin bir bölümü çekme sünmesindeki düşüş ile dengelenir. Kuruma büzölmesi, su/bağlayıcı oranıyla bağlantılı olmasından dolayı standart betonlara göre su/bağlayıcı oranı düşük olan KYB'de kuruma büzölmesi, otojen büzölmeden daha az olabilir.

### 2.3.6. Dayanıklılık

Betonun dayanıklılığının geçirgenliği ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. Zararlı tepkime ve etkileşimlerin meydana gelmemesi için beton katmanları yabancı maddelerin girişini engellemelidir [4,5]. Betonun dayanıklılığı bileşenlerine, tasarıma, işçiliğe ve bakım şartlarına bağlıdır. Vibrasyonun dikkatli yapılmaması sonucu özellikle yüzey katmanlarında oluşan kusurlar sebebiyle zararlı dış ortam şartlarına maruz kalan betonun dayanıklılığı azalır. KYB üretiminde amaç bu kusurların engellenmesidir. KYB üretimi ile vibrasyon yetersizliklerinden dolayı oluşan sorunlar görülmez; düşük geçirimsizlik ve yüksek dayanıklılığa sahip betonlar elde edilir. KYB'nin geçirimsizliği bileşenlerinin özellikleri, bileşimi ve su/bağlayıcı ya da su/toz malzeme oranı ile yakından ilişkilidir.

### 2.4. TAZE BETON DENEYLERİ

Betonun taze haldeki özelliklerinin belirlenmesi için çeşitli deney yöntemleri bulunmaktadır [6]. Tablo 2.2'de bu yöntemler görülmektedir.

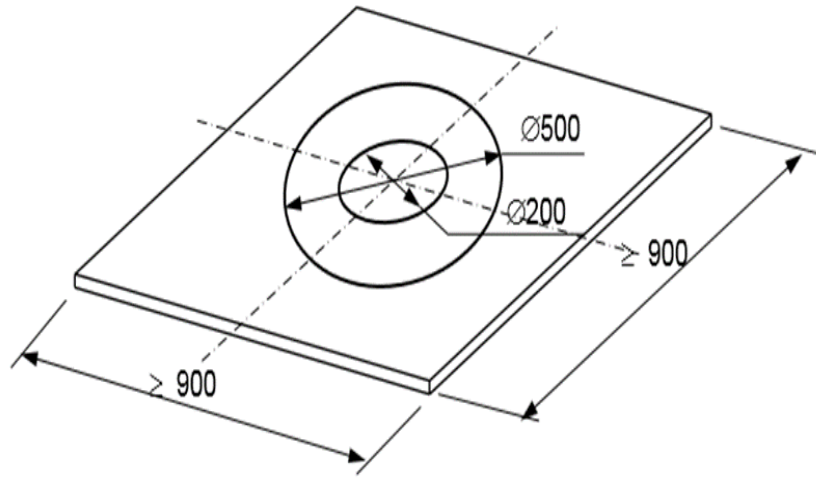
Tek başına hiçbir yöntem KYB'nin özelliklerini tam olarak belirleyemez. KYB karışımının özelliklerini yeterli doğrulukta belirlemek için yeterli sayıda deneyin birlikte uygulanması gerekir. Bu deneyler aşağıda açıklanmaktadır.

**Tablo 2.2:** Kendiliğinden yerleşen betonlarda taze beton deneyleri [4,5,6].

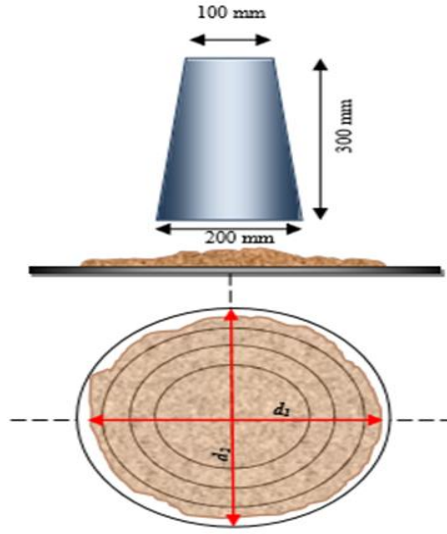
ÖZELİK	DENEY TÜRÜ	DENEY İÇERİĞİ
Akıcılık/doldurma kabiliyeti	Çökme-akma Kajima kutusu	Toplam yayılma Görsel doldurma
Viskozite/akıcılık	T <sub>500</sub>	Akma süresi
	V-hunisi	Akma süresi
	O-hunisi	Akma süresi
	Orimet	Akma süresi
Geçme kabiliyeti	L-kutusu	Geçme oranı
	U-kutusu	Yükseklik farkı
	J-halkası	Kademeli yükseklik, toplam akma
	Kajima kutusu	Görsel geçme yeteneği
Ayrışma direnci	Penetrasyon	Derinlik
	Elek ayrışması	Terleme yüzdesi
	Oturma kolonu	Ayrışma oranı

### 2.4.1. Çökme-Akma Deneyi

Çökme-akma deneyi, betonu engelsiz ortamda test etmek için uygulanan yöntemdir. Uygulamada donatıların bulunması nedeniyle doldurma kabiliyeti net olarak belirlenemez fakat bu deney sonucunda ayrışma hakkında fikir sahibi olunabilir. Deney düzeneği, merkez noktası ve 500 mm çapı belirlenmiş yayılma tablası ile Abrams konisinden oluşur. Tabla düz zemine koyulur ve koni tabla merkezine yerleştirilir. Koni içerisine ortalama 5,5 litre beton dökülür. Koninin yukarıya kaldırılmasıyla yayılmaya başlayan betonun çapı iki doğrultuda ölçülür, ortalaması alınır. Ölçülen bu değer yayılma değeridir. KYB'nin ortalama yayılma miktarı 600 mm- 800 mm olarak kabul edilir. Bu değer betonun akışkanlığı ve ayrışma direncinin göstergesidir. Agregaların homojen olarak yayılmaması ve hamurun dağılması ayrışmanın belirtisidir [23].



Şekil 2.4: Çökme-akma(slump-flow) deneyi taban levhası [6].



Şekil 2.5: Çökme hunisi ile çökme akma-deneyi [11].

#### 2.4.2. Yayılma (T<sub>500</sub>) Deneyi

Bu deneyde beton ile doldurulan koni yukarı kaldırılır ve 500 mm çapa yayılma süresi (T<sub>500</sub>) belirlenir. T<sub>500</sub> süresi betonun akış hızının ve dolayısıyla da viskozitesinin (akmaya karşı direncinin) göstergesidir [23].

#### 2.4.3. Elek Ayrışma Direnci Deneyi

Bu deney, betonun ayrılmaya karşı olan direnci hakkında bilgi verir [22,24] . KYB'den 10 L numune alınır, bir kova içerisine koyulur, buharlaşmayla su kaybı olmaması için ağzı kapatılır ve 15 dakika sonra terleme suyu olup olmadığı gözlemlenir. Bu 15 dakikalık süre sonunda Betonun üst katmanından alınan 2 L beton 500 mm yükseklikten 5 mm açıklıklı elek içine dökülür ve elekten 2 dakika süre içerisinde geçen kısım bir alt kap içerisinde toplanıp tartılır. Elekten geçen beton kütlesi, Mb, eleğe dökülen Ma toplam beton kütlesine bölünerek ayrışma oranı bulunur.

Ayrışan beton kısmı (SR, Segregation Ratio), aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$SR = (Mb/Ma) \cdot 100 \% \quad (2.5)$$

Bağıntıda;

SR: Ayrışma oranı (%),

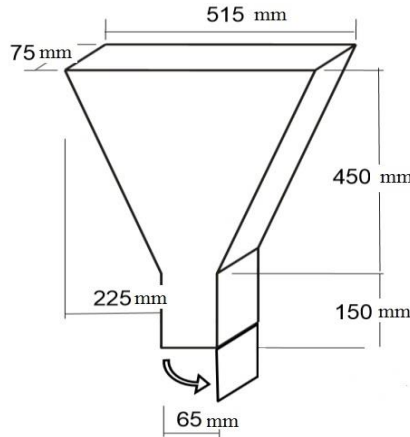
Mps: Elek yuvası (alt kap) ile elekten geçen malzemenin toplam kütlesi (g),

Mp: Elek yuvasının (alt kap veyâ toplama kabı) kütlesi (g),

Ma= Mps – Mp: Eleğe dökülen betonun kütlesi (g).

#### 2.4.4. V-Hunisi Deneyi

Bu deney, betonun kendi ağırlığı etkisi altında yeterli genişlikte olmayan kesitlerden ilerleme, geçme kabiliyetinin belirlenmesi için yapılır. Akış hızı ve ayrışma hakkında yorum yapabilme olanağı sağlar [18]. Beton, hacmi 12 litre olan V şeklindeki huniye (Şekil 2.6) sarsmadan, şişlemeden dökülür ve alttaki kapak sarsıntısız çekilir. Betonun akışı başladığında deney başlar ve betonun tamamen akarak bir kova içerisine toplanması ile tamamlanır. KYB için bu akış süresi 10 saniyeden az olmalıdır. Akış esnasında betonun engellenmeye maruz kalıp kalmadığı incelenir. Betonun akarak boşalma süresi akışkanlığı hakkında fikir verir. Betonun huni içerisinde hızlı akması halinde ayrışma meydana gelebilir. Ayrışma direncini ölçmek için V-hunisi betonla tekrar doldurulur, 5 dakika çalkantısız bekletildikten sonra alt kapak sarsıntısız açılır. Boşalma süresi kaydedilir. Akış süresindeki artış ne kadar büyükse betonun ayrışma eğiliminin o kadar büyük olacağını gösterir. Ayrıca betonun huniden düzensiz akması da ayrışma direncinin yetersiz olduğunu gösterir.



Şekil 2.6: V-hunisi iç boyutları ve deney düzeneği [4, 5].

Ortalama akarak boşalma hızı,  $V_m$ , akarak boşalma süresi,  $t_0$ , ve değerlerinden itibaren

$$V_m = 0.01 / (0.065 \cdot 0.075 \cdot t_0)$$

ve buradan

$$V_m = 2.05 / t_0 \text{ (m/s)} \quad (2.6)$$

bulunur. Ayırışma direncini sayısallaştırmak için akış indeksi,  $S_f$ , ilk, bekleme süresi,  $t_0$ , ve 5 dakika bekledikten sonra akış süresi,  $t_5$ , değerlerinden

$$S_f = (t_5 - t_0) / t_0 \quad (2.7)$$

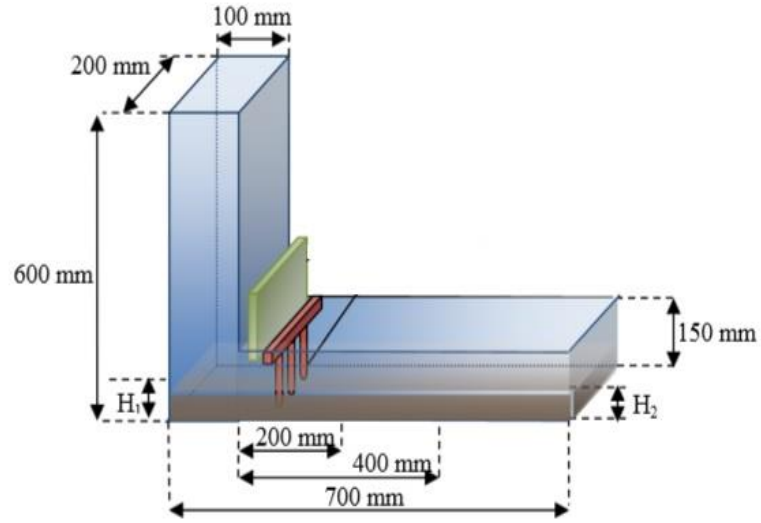
bağıntısıyla hesaplanır.

#### 2.4.5. L-Kutusu Deneyi

L kutusu deneyi, kendiliğinden yerleşen betonun, donatılar arasından ve dar açıklıklardan, ayırışma veya blokajlanma olmadan akarak geçme yeterliliğinin değerlendirilmesi için kullanılır [4,5,26]. L kutusu iki çubuklu ve üç çubuklu olmak üzere iki çeşittir. Üç çubuklu deney, daha sık donatıyı temsil etmektedir. L kutusu düz ve yatay taban üzerine oturtulur. Beton besleme gözünden dökülerek  $60 \pm 10$  saniye kadar beklenerek ayırışma olup olmadığı gözlemlenir. Betonun akması durduğunda L-kutusunun yatay kısmı ile üst kısmı arasındaki dikey mesafe farklı 3 noktadan ölçülür. Bu ölçülen derinlik kullanılarak ( $H_2$  mm) betonun ortalama derinliği hesaplanır. Aynı şekilde kapağın arkasındaki betonun ortalama yüksekliği de ölçülür ( $H_1$  mm). Betonun geçme oranı (GO) iki yükseklik oranlanarak hesaplanır.

$$GO = H_2 / H_1 \quad (2.8)$$

Kaya [6] L-kutusu deneyinden akma hızının da elde edilebileceğini belirtmektedir. Yatay kısımda 200. ve 400. mm mesafeler işaretlenir ve kapak kaldırıldıktan sonra betonun bu mesafelere akma süresi  $t_{L200}$  ve  $t_{L400}$  değerlerini verir.



Şekil 2.7: L-kutusu deney düzeneği [11].

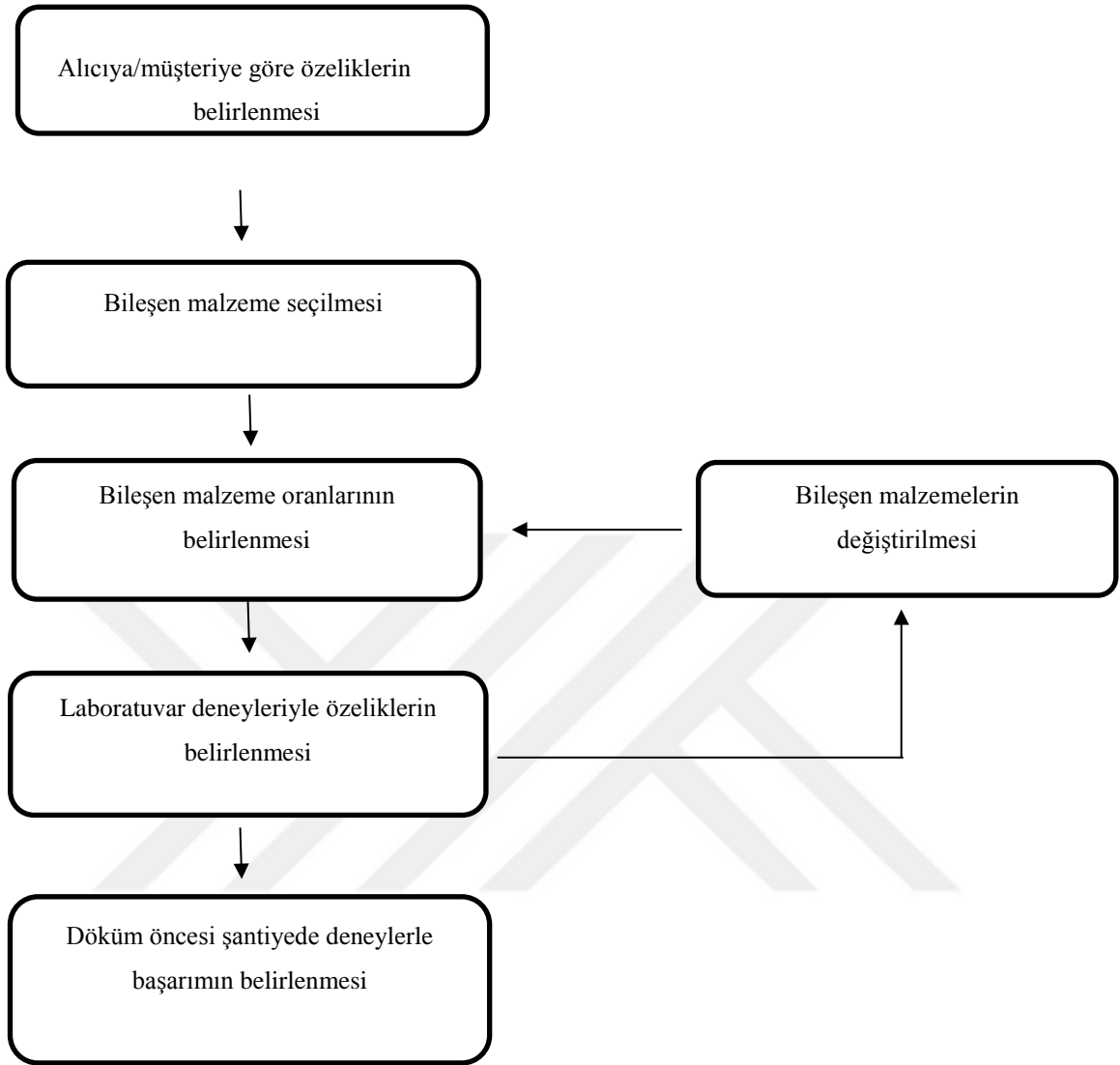
## 2.5. KARIŞIM TASARIMI

Karışım bileşimi betonun taze ve sertleşmiş durumları için bütün başarım ölçütlerini sağlayacak şekilde seçilir [4,5]. Hazır beton durumunda, bu ölçütler alıcı tarafından bir şartname olarak sunulur. KYB karışımının tasarımında Şekil 2.8'deki adımlar izlenir.

Yeterli sonuçların elde edilmediği durumda, karışım tasarımı tekrarlanır.

Belirlenen problemlere göre uygulanabilecek yöntemler;

- Çimento/toz oranının tekrar tasarlanması,
- Mineral katkı kullanılmışsa tipinin değiştirilmesi,
- İnce agrega dozajının değiştirilmesi,
- Süperakışkanlaştırıcı dozajının değiştirilmesi,
- Karışımın ayrışma direnci için viskozite düzenleyici katkı maddesinin kullanılması,
- İri agrega granülometrisinin ya da oranının ayarlanması.



**Şekil 2.8:** Kendiliğinden yerleşen beton karışım tasarım adımları [4,5,6].

### 2.5.1. Betonun Gereksinimleri

Kendiliğinden yerleşen betonu normal betondan ayıran temel özellikler; doldurma kabiliyeti, viskozite, geçme kabiliyeti ve ayrışma direncidir [6]. Bu özellikler yapılan deneylere göre sınıflandırılır. Uygulanan deneyler ve sınıflandırmalar Tablo 2.3 'dedir.

**Tablo 2.3:** Kendiliğinden yerleşen betonların sınıflandırma değerleri [4,5,6].

DOLDURMA KABİLİYETİ		VİSKOZİTE			GEÇME KABİLİYETİ		AYRIŞMA DİRENCİ	
Sınıf	Çökme-akma (mm)	Sınıf	T <sub>500</sub> (s)	V-hunisi (s)	Sınıf	L-kutusu H2/H1 oranı	Sınıf	Elek ayrışması (%)
SF	550-650	VS1 VF1	≤ 2	≤ 8	PA1	≥0.8 ve 2 çubuk donatı	SR1	≤ 20
SF2	660-750	VS2 VF2	> 2	9-25	PA2	≥0.8 ve 3 çubuk donatı	SR2	≤ 15
SF3	760-850							

### 2.5.2. Karışım Tasarım İlkeleri

İstenilen özelliklere sahip KYB üretilebilmesi için hamurun viskozite ve akışkanlığının iyi tasarlanması gerekir [22]. Bunun için malzeme seçimine dikkat edilmelidir. Malzeme seçiminde gerekli ön deneyler yapıldıktan sonra, minimum su/toz malzeme kullanımı ve SA ilavesi ile istenen özellikler belirlenir. İhtiyaç duyulması durumunda viskozite düzenleyici katkı ilave edilebilir. KYB'nin istenen özelliklere sahip olmasında, ana etkenler bileşenlerin miktarları ve birbirleri ile etkileşimidir.

Beton içerisindeki agregalar hamur tarafından taşınır ve bunun gerçekleşebilmesi için tüm agrega yüzeyinin hamur katmanını ile örtülmesi gerekir. Hamur katmanının agregaları sarabilmesi, örtebilmesi için agrega daneleri arasındaki boşluk hacmi, hamurun hacminden daha az olmalıdır.

Üretimde bu ilkeler uygulandığında, aşağıdaki özelliklere sahip beton elde edilir:

- Minimum iri agrega oranı,
- Yüksek hamur oranı,
- Minimum su/toz malzeme oranı,
- Yüksek kimyasal katkı içeriği.

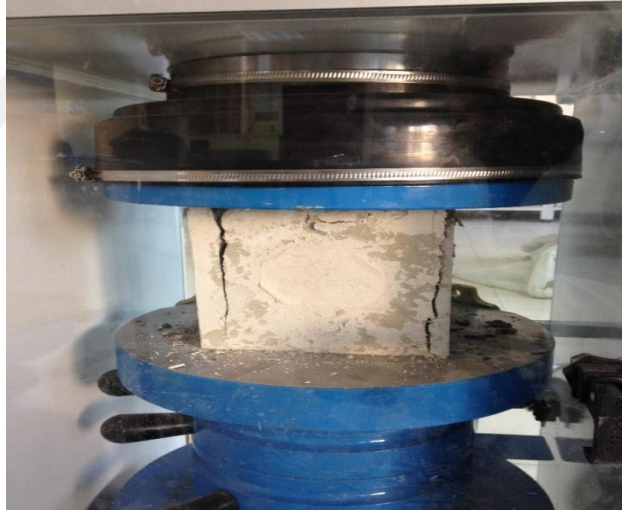
### 2.5.3. Temel Karışım Yöntemleri

KYB üretiminde uygulanan temel, genel kabul görmüş bir yöntem bulunmamakla beraber katkı üreticileri ve konu ile ilgilenen çevrelerin yaklaşık yöntemler uyguladığı belirtilmektedir. Tasarımda öncelik beton içerisinde boşluklu yapı meydana gelmemesidir. Bunun için uygulanan yöntemlerde hacim en önemli tasarım ölçütüdür. Başka bir yöntem ise hamurun akışkanlık özeliğinin ve ayrışmaya karşı direncinin izlenmesidir [4,5].

## 2.6. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ

### 2.6.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Bu deneyde, standartlara uygun numuneler sabit basınç altında yüklenerek kırılır [27]. Kırılma yükünün numunenin kesit alanına bölünmesi ile basınç dayanımı elde edilir.



Şekil 2.9: Basınç dayanımı deneyi.

### 2.6.2. Ultrases Deneyi

Betonda çeşitli tahribatsız muayene yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları manyetik/elektriksel gibi fiziksel ilkeler kullanılarak geliştirilen yöntemlerdir [28]. Ultrasonik, akustik yayma yöntemleri ve darbe-yankı bu türe örneklerdir. Bu deneyler yoğunluğun belirlenmesi amacıyla sertleşmiş beton yüzeylerinde yapılır [6]. Numunenin

belirlenen bir yüzeyinden iletilen ses dalgalarının diğer yüzeye ulaşma zamanı belirlenerek basınç (P) dalgaları geçiş hızından yararlanılarak yoğunluk, doluluk hakkında bilgi edinilir. Elde edilen hızın düşük olması beton da boşlukların fazla olduğunu gösterir. Bunun nedeni ses dalgalarının boşlukta, havada daha yavaş iletilmesidir. Deneyden önce düzenek iyice temizlenip yağlanır. Verici ve alıcı problar karşılıklı yüzeylere boşluksuz temasını sağlayacak biçimde, beton yüzeyle prob yüzeyi arasına jel yapılı madde koyularak intibak ettirilir. Okunan geçiş süreleri içerisinde en az olanı ses (P-dalgası) geçiş süresi olarak alınır. Beton içerisinde sesin geçtiği boy iletilme zamanına bölünerek P-dalgası geçiş hızı elde edilir.



Şekil 2.10: Ultrases deneyi.

### 2.6.3. Su Emme Deneyi

Bu deney betonun içerisinde dışa açık boşluk oranını belirlemek amacıyla yapılır. Numune  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 'de su içinde tutularak sabit kütleye ulaşması beklenir (M1). Suya batırılan numunelerin mesafeleri en az 15 mm ve yüzeyindeki su miktarı 20 mm olmalıdır. Numunelerin suda bekleme süreleri en az 1 gün olmalıdır. Sabit kütleye ulaşan

numuneler  $(105\pm 5)$  °C sıcaklıkta etüvün içersine en az 15 mm aralıklı olarak yerleştirilerek sâbit kütleye ulaşınca kadar beklenir ( $M_2$ ).

$$W_a = ((M_1 - M_2) / M_2) \% \quad (2.9)$$



Şekil 2.11: Su emme deneyinde numunelerin tartılması.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Tez çalışması aşamasında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda su/çimento kütle oranı 0,58 olan 12 farklı kendiliğinden yerleşen beton üretildi. Üretilen betonlarda 3 adet farklı tip çimento ve 3 adet farklı kimyasal katkı kullanıldı. Bu bölümde kullanılan malzemeler ve yapılan deneyler açıklanmaktadır.

#### 3.1. KULLANILAN MALZEMELER

Bu çalışmada üretilen betonlarda aşağıda özellikleri verilen çimentolar, kimyasal katkılar, agrega ve karışım suyu kullanıldı.

##### 3.1.1. Çimento

Bu çalışmada üretilen betonlarda aynı fabrika üretimi CEM I 42,5 R, CEM IV/B 32,5N ve farklı fabrika üretimi CEM I 42,5 R kullanıldı. Kullanılan çimentolara ait fiziksel, kimyasal özellikler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 'de verilmektedir. Çimentolarla üretilen harçların basınç dayanımları da Tablo 3.3'tedir.

**Tablo 3.1:** Çimentonun fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler		CEM I 42,5 R	CEM I 42,5R	CEM IV/B 32,5N
Blaine Özgül Yüzey	m <sup>2</sup> /kg	372	351	458
90µm Elekte Kalan	%	-	0,2	0,6
5µm Elekte Kalan	%	-	3,6	6,0
Priz Başlangıcı	saat:dakika	02:35	01:45	01:43
Priz Sonu	saat:dakika	03:55	02:49	02:27
Hacim Genleşmesi	mm	1	1	1
Tane Yoğunluğu	Mg/m <sup>3</sup>	3,08	3,14	2,96

**Tablo 3.2:** Çimentoların kimyasal özellikleri.

KİMYASAL ÖZELLİKLER		STANDART TS EN-197-1	CEM I 42,5 R	CEM I 42,5 R	CEM IV/B 32,5N
		max			
MgO	%	5,0	1,10	-	-
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	%	3,5	3,20	3,30	2,74
Cl <sup>1-</sup>	%	0,1	0,02	0,0425	0,0231
Kızdırma Kaybı	%	5,0	3,80	1,65	-
Çözünmeyen Kalıntı	%	1,5	0,80	0,36	-

**Tablo 3.3:** Çimentoların basınç dayanımları.

BASINÇ DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> )	CEM I 42,5 R	CEM I 42,5 R	CEM IV/B 32,5N
2 Günlük	29,1	31,4	-
7 Günlük	-	45,2	28,3
28 Günlük	52,6	60,2	43

### 3.1.2. Agregas

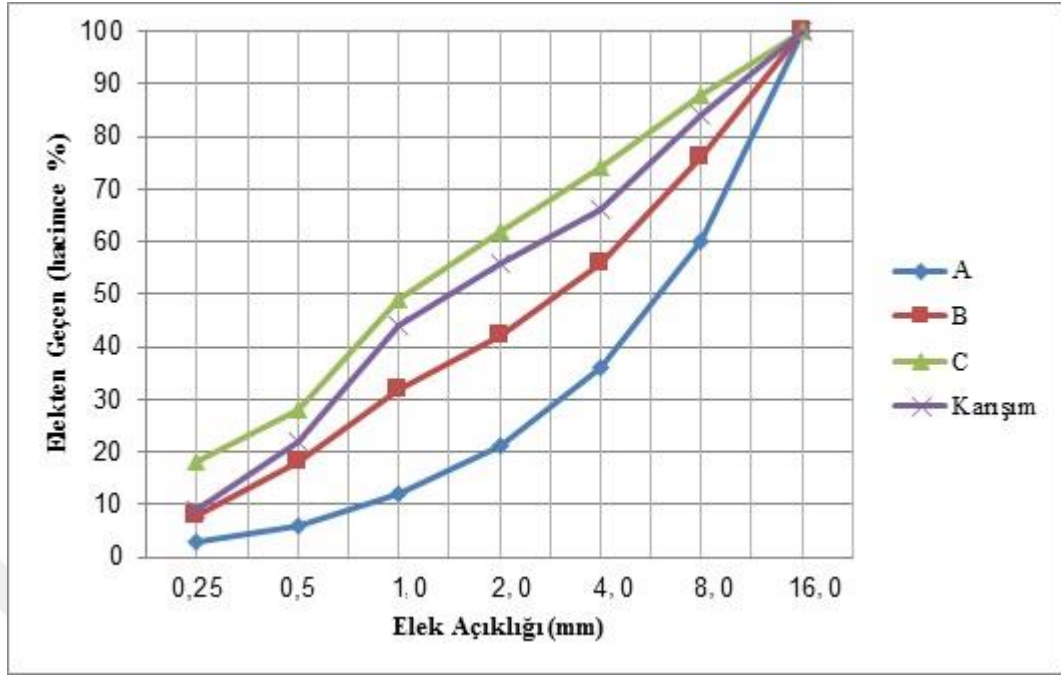
Beton üretiminde iri agregas olarak Kırmataş 1 (%44), ince agregas olarak da doğal kum (%56) olmak üzere 2 çeşit agregas kullanıldı.

**Tablo 3.4:** Agregaların granülometrik bileşimleri.

ELEK AÇIKLIĞI (mm)	DOĞAL KUM (%56)	KIRMATAŞ I (%44)	KARIŞIM
16	100	100	100
8	100	63	84
4	100	23	66
2	100	1	56
1	78	1	44
0,5	40	0	22
0,25	16	0	9

**Tablo 3.5:** Agregaların fiziksel özellikleri.

AGREGA	DANE YOĞUNLUĞU (Mg/m <sup>3</sup> )	YIĞIN BİRİM KÜTLE (Mg/m <sup>3</sup> )	SU EMME (Kuru kütlece %)
Doğal Kum	2,64	1,41	1,2
Kırmataş I	2,71	1,42	0,5



Şekil 3.1: Agrega karışımının granülometri eğrisi.

### 3.1.3. Kimyasal Katkılar

Beton üretiminde üç farklı firmanın üretimi olan, yüksek oranda su azaltan süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanıldı. Kullanılan süperakışkanlaştırıcılar K1, K2, K3 olarak adlandırılıp teknik özellikleri Tablo 3.6'da verildi

Tablo 3.6: Kimyasal katkıların teknik özellikleri.

KATKI KODU	K1	K2	K3
Yoğunluk (kg /litre)	1,10	1,214	1,08
Klorür % (EN 480-10)	<0,1	<0,01	<0,1
Renk	Açık Kahverengi Sıvı	Koyu Kahverengi Sıvı	Kahverengi Sıvı
Homojenite	Homojen	Homojen	Homojen
pH değeri	3,0-7,0	6,5-9,0	4,0-8,0
Kimyasal içeriği	Modifiye Polikarboksilat Esaslı Polimer	Modifiye Polikarboksilat Esaslı Polimer	Modifiye Polikarboksilat Esaslı Polimer

### 3.1.4. Karışım Suyu

Beton üretiminde ve bakımında şehir şebeke suyu kullanıldı.

## 3.2. BETON ÜRETİMİ

Bu çalışmada 3 farklı çimento ve 3 farklı kimyasal katkı kullanılarak 9 katkılı, 3 de kontrol betonu olmak üzere toplam 12 seri beton üretildi. Akıcı kıvamda karışım elde edebilmek için bütün serilerde su/çimento kütle oranı 0,58 olarak belirlendi. Karışımında bulunan agrega granülometrisi sabit tutuldu. Kimyasal katkı miktarında ise, katkı/çimento kütle oranı %2 olarak seçildi. Betonların kuramsal bileşimleri Tablo 3.8’de verildi.

### 3.2.1. Numune Kod Numaraları

Beton üretiminde kimyasal katkı kullanılmayan şahit betonlarda Ç1 çimentosunun bağlayıcı olarak kullanıldığı seriler Ş1; Ç2 çimentosunun bağlayıcı olarak kullanıldığı seriler Ş2; Ç3 çimentosunun bağlayıcı olarak kullanıldığı seriler Ş3 olarak kodlandı. Kimyasal katkı kullanılan karışımlarda Ç harfi ve yanına rakamla çimento türünü ikinci bölüm ise K harfi ve yanına rakamla kimyasal katkı türünü göstermekte olup ve Tablo 3.7’de verildi.

**Tablo 3.7:** Numune kodları ve açıklamaları.

KOD	ÇİMENTO TÜRÜ			KİMYASAL KATKI TÜRÜ		
	Ç1	Ç2	Ç3	K1	K2	K3
Ş1	✓					
Ş2		✓				
Ş3			✓			
Ç1K1	✓			✓		
Ç1K2	✓				✓	
Ç1K3	✓					✓
Ç2K1		✓		✓		
Ç2K2		✓			✓	
Ç2K3		✓				✓
Ç3K1			✓	✓		
Ç3K2			✓		✓	
Ç3K3			✓			✓

**Tablo 3.8:** Karışımların bileşimleri.

NUMUNE KODU	ÇİMENTO (kgBağlayıcı/ m <sup>3</sup> Beton)	KIRMATAŞ (kgKT/ m <sup>3</sup> Beton)	KUM (kgKum/ m <sup>3</sup> Beton)	SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI (kgSA/m <sup>3</sup> Beton)	SU (kgSu/m <sup>3</sup> Beton)
Ş1	420,1	820,6	969,7	-	245,5
Ş2	420,1	820,6	969,7	-	245,5
Ş3	420,1	820,6	969,7	-	245,5
Ç1K1	420,1	820,6	969,7	8,2	245,5
Ç1K2	420,1	820,6	969,7	8,2	245,5
Ç1K3	420,1	820,6	969,7	8,2	245,5
Ç2K1	420,1	820,6	969,7	8,2	245,5
Ç2K2	420,1	820,6	969,7	8,2	245,5
Ç2K3	420,1	820,6	969,7	8,2	245,5
Ç3K1	420,1	820,6	969,7	8,2	245,5
Ç3K2	420,1	820,6	969,7	8,2	245,5
Ç3K3	420,1	820,6	969,7	8,2	245,5

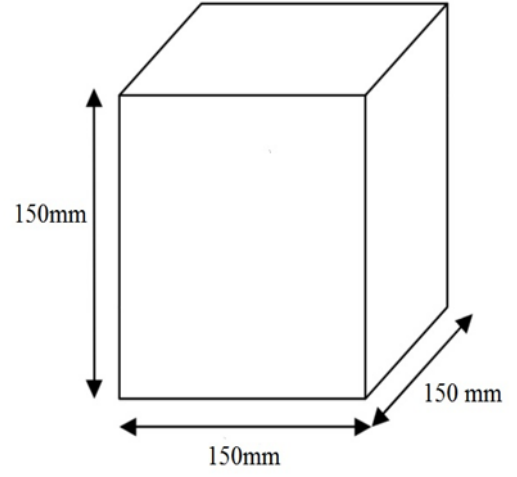
### 3.2.2. Üretimde İzlenen Sıra

Beton üretiminde 100 L sığalı düşey eksenli betoniyer kullanıldı. Üretimde izlenen sıra aşağıda belirtildiği biçimde oldu.

- Kum, agrega ve çimento betoniye koyularak kuru olarak karıştırıldı
- Karma suyunun yarısı homojen dağılımı sağlamak için kuru karışıma ilave edilerek karıştırılmaya devam edildi.
- Karma suyunun diğer yarısı kimyasal katkı ile karıştırılarak tekrar betoniyer çalıştırıldı.
- Karıştırma işlemi bittikten sonra betoniyerden alınan bir kısım örnekte yayılma deneyi yapıldı.
- Yayılma deneyinden sonra betonda birim kütle (yoğunluk) deneyi yapıldı.
- Numuneler üretimden bir gün sonra kalıptan çıkarılarak kodları yazılıp etiketlendikten sonra 20 °C ± 2 °C kirece doymuş su bulunan bakım havuzuna alındı.

### 3.2.3. Numune Boyutları ve Şekilleri

Bu çalışmada her beton karışım serisi için 6 adet 150 mm boyutlu küp numune üretildi. Numunelerin şekli ve kalıp içindeki betonlar Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2: Numune şekli, boyutları ve kalıp içindeki betonlar.

## 4. BULGULAR

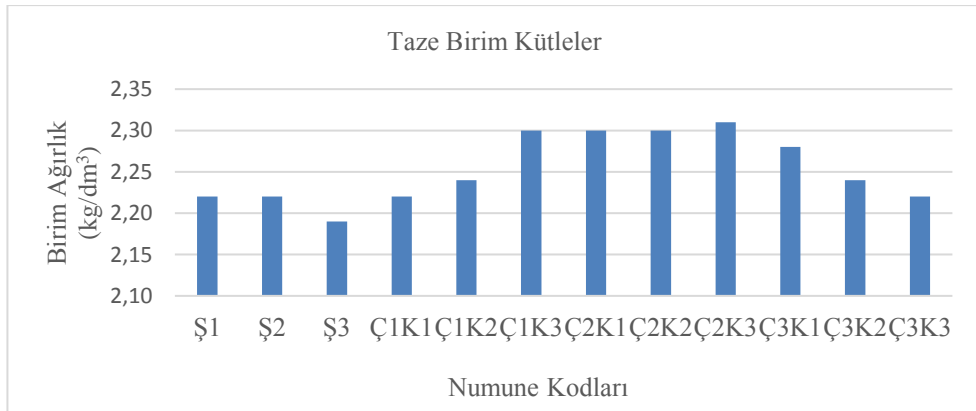
### 4.1. TAZE BETON DENEYLERİ

#### 4.1.1. Taze Birim Kütle (Yoğunluk) Deneyi Sonuçları

Üretilen betonlar, hacmi ve darası bilinen küp şeklindeki kap içine yerleştirilip tartılarak belirlenen taze beton birim hacim kütleleri Tablo 4.1’de verildi, Şekil 4.1’de çizgesel gösterildi.

**Tablo 4.1:** Numunelerin taze kütleleri.

KARIŞIM KODU	BİRİM KÜTLE (Mg/m <sup>3</sup> )
Ş1	2,22
Ş2	2,22
Ş3	2,19
Ç1K1	2,22
Ç1K2	2,24
Ç1K3	2,30
Ç2K1	2,30
Ç2K2	2,30
Ç2K3	2,31
Ç3K1	2,28
Ç3K2	2,24
Ç3K3	2,22



**Şekil 4.1:** Taze birim kütle çizgesi.



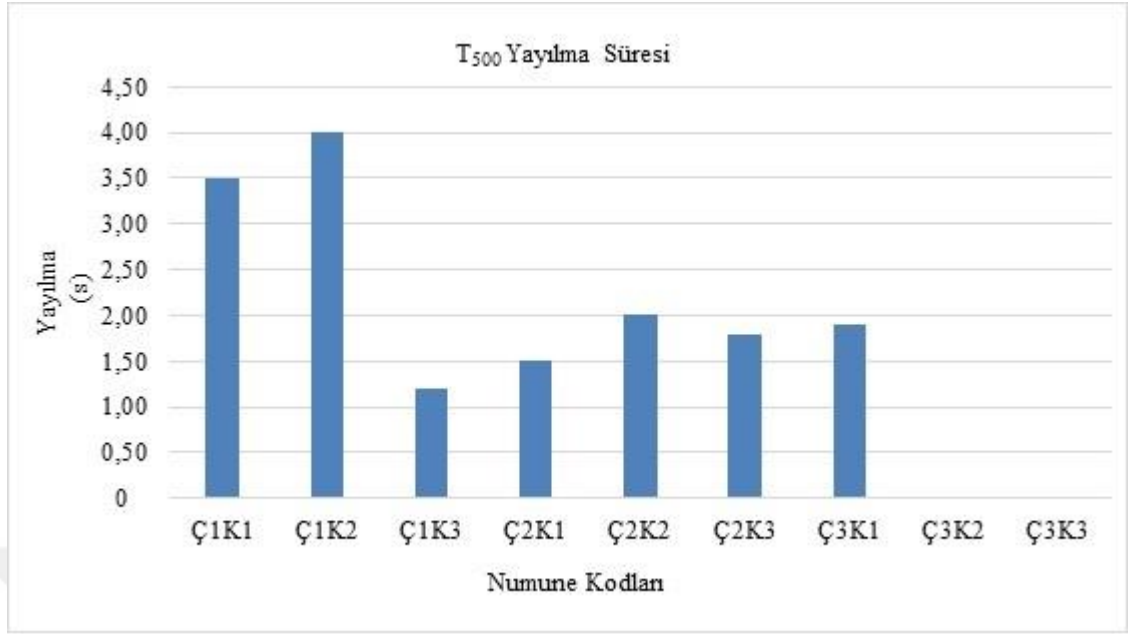
**Şekil 4.2:** Taze haldeki ağırlığın ölçülmesi.

#### 4.1.2. Çökme- Akma Deneyi Sonuçları

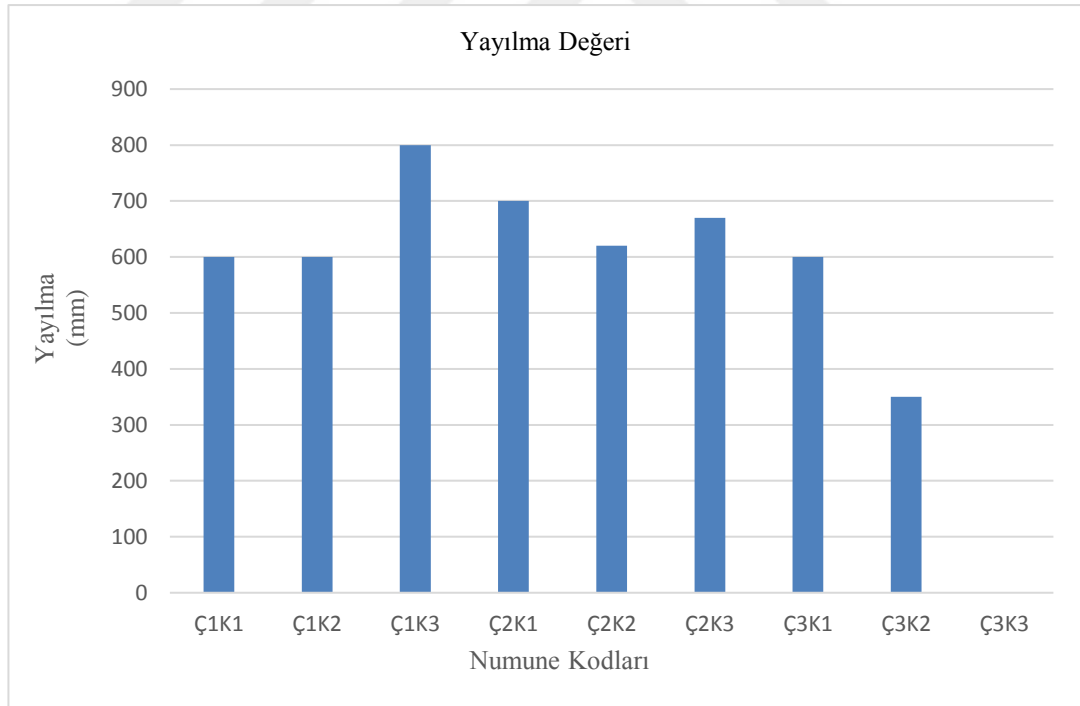
Üretilen betonların kendi ağırlığı altında serbest halde yayılma miktarı Bölüm 2’de TS EN 12350-2’de [30] verilen deney yöntemine göre hesaplandı. Ayrıca  $T_{500}$  yayılma süresi, çapı ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Serbest yayılma deneyi sonuçları Tablo 4.2 ‘de verilmektedir.

**Tablo 4.2:** Çökme-Akma deneyi sonuçları.

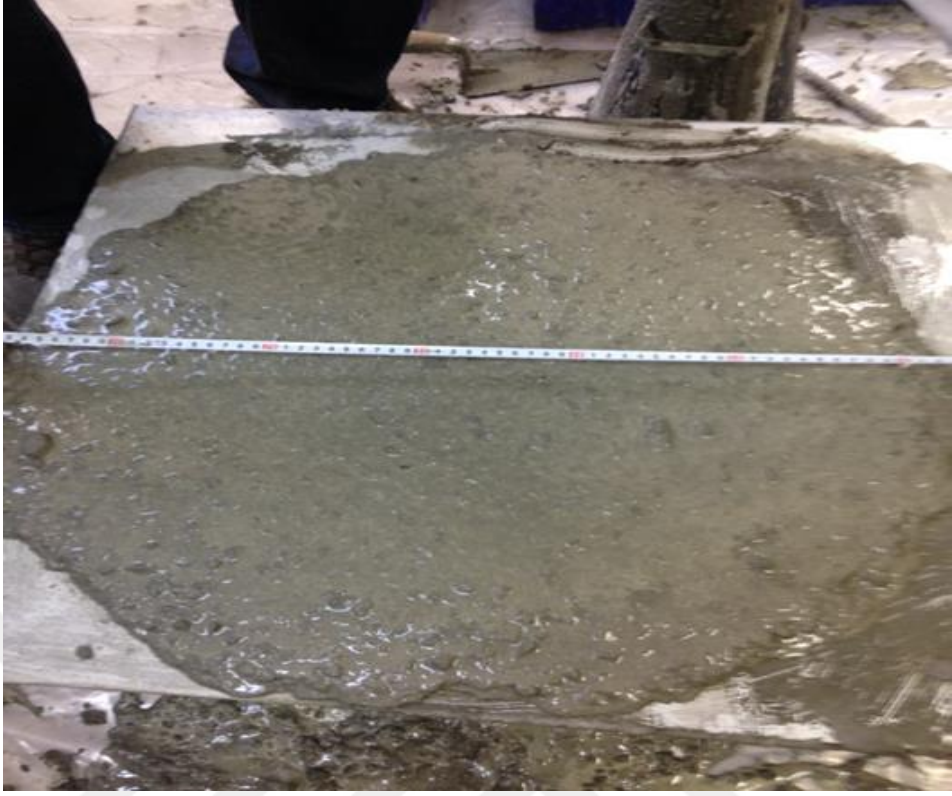
KARIŞIM KODU	$T_{500}$ (s)	YAYILMA (mm)
Ş1	-	-
Ş2	-	-
Ş3	-	-
Ç1K1	3,5	600
Ç1K2	4,0	600
Ç1K3	1,2	800
Ç2K1	1,5	700
Ç2K2	2,0	620
Ç2K3	1,8	670
Ç3K1	1,9	600
Ç3K2	0,0	350
Ç3K3	0,0	0



**Şekil 4.3:** T<sub>500</sub> yayılma deneyi sonuçları.



**Şekil 4.4:** Yayılma deneyi sonuçları.



Şekil 4.5: Çökme-Akma deneyi.

## 4.2. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ

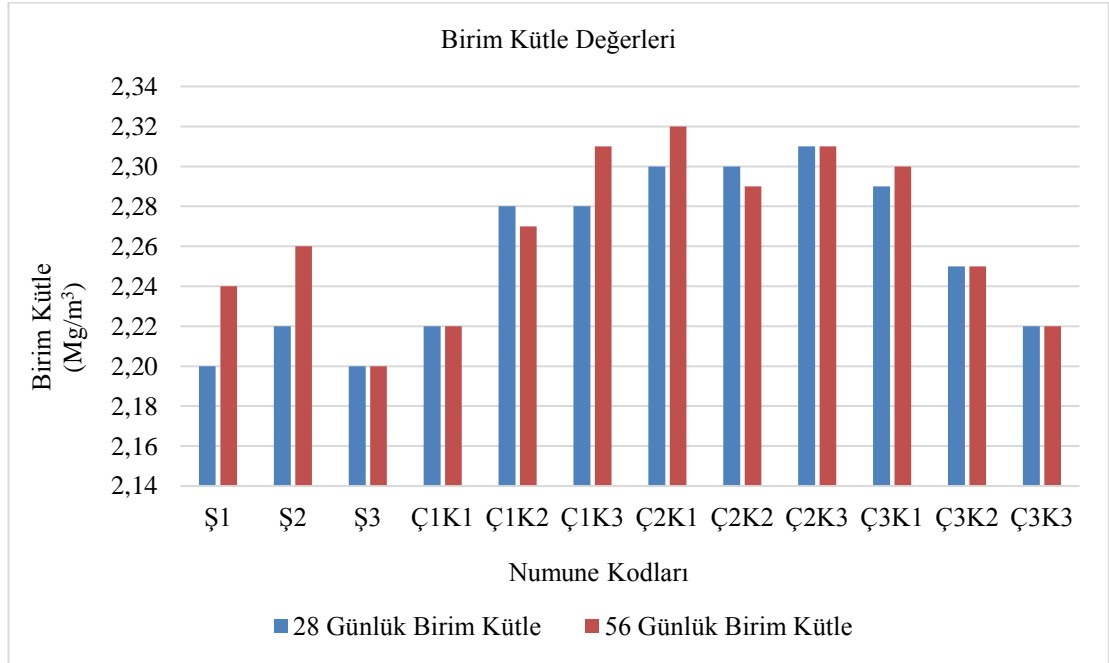
Taze beton deneyleri yapıldıktan sonra her karışımdan 6 adet küp numune alındı. Alınan numuneler üzerinde 28. ve 56. günlerde birimkütle (yoğunluk), ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapıldı. Basınç dayanımı deneylerinden çıkan parçalar üzerinde su emme deneyi yapıldı.

### 4.2.1. Birim Kütle (Yoğunluk) Deneyi Sonuçları

Betonların 28inci ve 56ncı günlerde ultrases hızları ve basınç dayanımları deneyleri öncesinde belirlenen birim kütleleri Tablo 4.3'te verildi, Şekil 4.6'da gösterildi.

**Tablo 4.3:** 28 ve 56 günlük numunelerin birim kütleleri.

KARIŞIM KODU	BİRİM KÜTLE (kg/dm <sup>3</sup> )	
	28 GÜNLÜK	56 GÜNLÜK
Ş1	2,20	2,24
Ş2	2,22	2,26
Ş3	2,20	2,20
Ç1K1	2,22	2,22
Ç1K2	2,28	2,27
Ç1K3	2,28	2,31
Ç2K1	2,30	2,32
Ç2K2	2,30	2,29
Ç2K3	2,31	2,31
Ç3K1	2,29	2,30
Ç3K2	2,25	2,25
Ç3K3	2,22	2,22

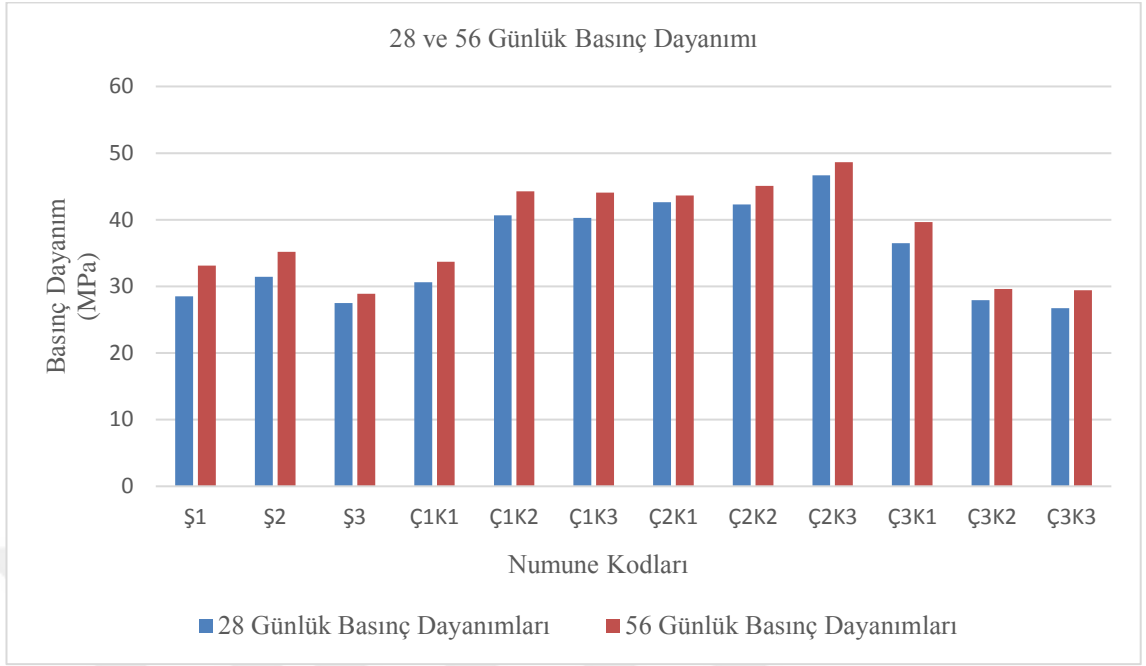
**Şekil 4.6:** Birim kütle çizgesi.

#### 4.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

27 ve 55. Günlerde kür havuzundan çıkarılan numuneler 28 ve 56. günlerde basınç deneyi yapıldı. Yükleme hızı ayarlanabilen basma deneyi cihazında numunelerin kırılma yükleri tespit edilerek 3 deneyin ortalaması basınç dayanımı olarak belirlendi. Üretilen betonların C25/30- C35/45 basınç dayanım sınıfları arasında olduğu görülmektedir. Betonların 28 ve 56 günlük basınç dayanımları Tablo 4.4’de verildi, Şekil 4.7’de gösterildi.

**Tablo 4.4:** Betonların basınç dayanımları.

KARIŞIM KODU	BASINÇ DAYANIMI (MPa)	
	28 GÜNLÜK	56 GÜNLÜK
Ş1	28,5	33,1
Ş2	31,4	35,1
Ş3	27,4	28,9
Ç1K1	30,6	33,7
Ç1K2	40,6	44,2
Ç1K3	40,2	44,0
Ç2K1	42,6	43,6
Ç2K2	42,3	45,1
Ç2K3	46,6	48,6
Ç3K1	36,5	39,6
Ç3K2	27,9	29,6
Ç3K3	26,7	29,4



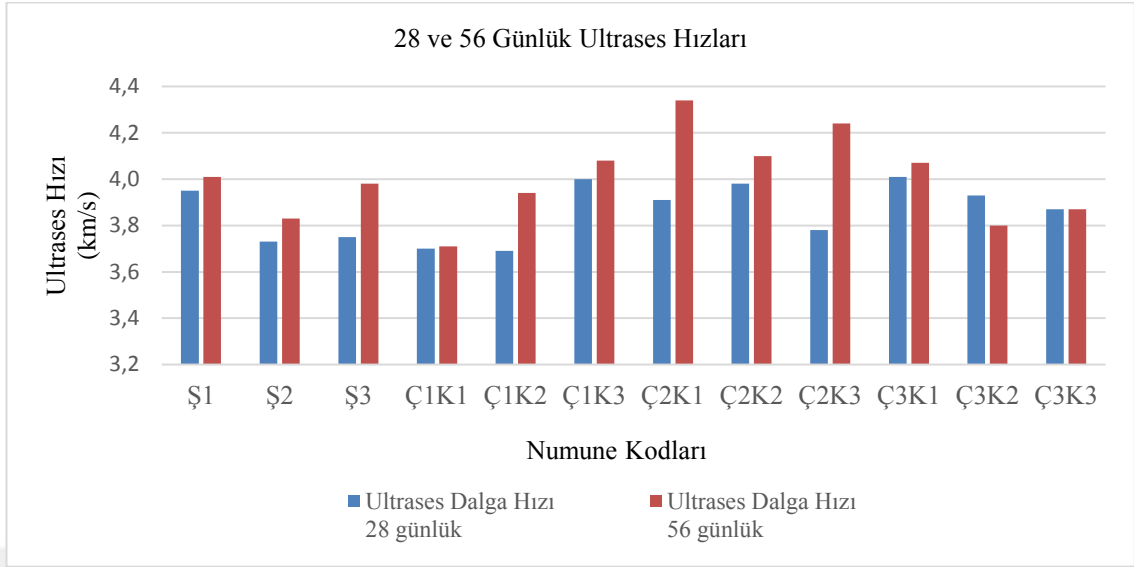
Şekil 4.7: 28 ve 56 günlük basınç dayanımları grafiği.

#### 4.2.3. Ultrases Deneyi Sonuçları

Üretilen numunelerde 28, ve 56. günlerde ultrases hızı deneyleri yapıldı. Bulunan sonuçlar Tablo 4.5’de verildi, Şekil 4.8’de gösterildi.

Tablo 4.5: Ultrases deneyi sonuçları.

NUMUNE KODU	ULTRASES HIZI (km/s)	
	28 GÜNLÜK	56 GÜNLÜK
Ş1	3,95	4,01
Ş2	3,73	3,83
Ş3	3,75	3,98
Ç1K1	3,70	3,71
Ç1K2	3,69	3,94
Ç1K3	4,00	4,08
Ç2K1	3,91	4,34
Ç2K2	3,98	4,10
Ç2K3	3,78	4,24
Ç3K1	4,01	4,07
Ç3K2	3,93	3,80
Ç3K3	3,87	3,87



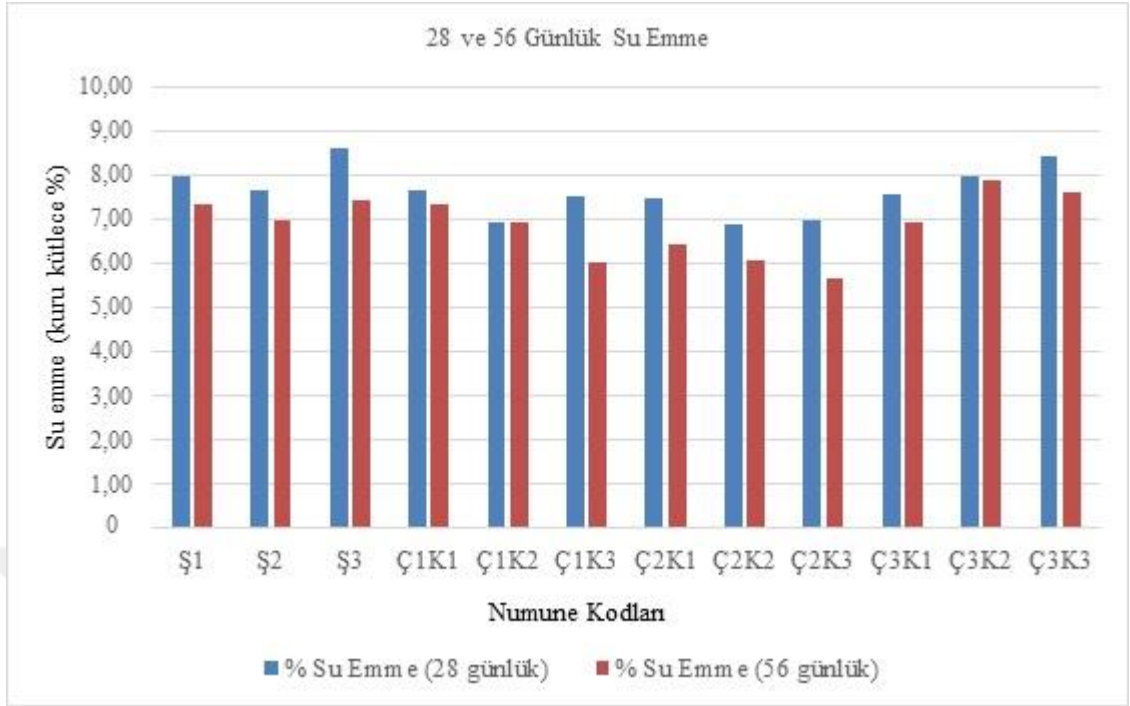
**Şekil 4.8:** Betonların 28 ve 56 günlük ultrases hızlarının numune kodlarına göre değişimi.

#### 4.2.4. Su Emme Deneyi Sonuçları

28, ve 56. günlerde basınç dayanımı deneyinden sonra kırılan betonlardan numune alınarak tartıldı. Numuneler 24 saat etüvde kurutulduktan sonra tekrar kütleleri belirlendi. Beton numunelerinin 28 ve 56 günlük su emme oranları Tablo 4.6’da görülmektedir.

**Tablo 4.6:** 28 ve 56 günlük su emme deney sonuçları.

KARIŞIM KODU	SU EMME (kuru kütlece %)	
	28’İNCİ GÜNDE	56’NCİ GÜNDE
Ş1	7,9	7,3
Ş2	7,6	6,9
Ş3	8,5	7,4
Ç1K1	7,6	7,3
Ç1K2	6,9	6,9
Ç1K3	7,5	5,9
Ç2K1	7,4	6,4
Ç2K2	6,8	6,0
Ç2K3	6,9	5,6
Ç3K1	7,5	6,9
Ç3K2	7,9	7,8
Ç3K3	8,4	7,5



**Şekil 4.9:** 28 ve 56 günlük su emme oranları çizgesi.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

### 5.1. TAZE BETON DENEY SONUÇLARININ DEĞİŞİMİ

- Süperakışkanlaştırıcı katkı ilave edilen numunelerde vibrasyon uygulanmadan yerleştirme boşluksuz olarak gerçekleştirildi. Bunun sonucu olarak katkılı betonların birim kütlelerinin şahit betonlar ile kıyaslandığında arttığı belirlendi. Katkılı betonlar kendi aralarında incelendiğinde birim kütleleri arasındaki farkların çok olmadığı  $\pm\%1$  aralığında kaldığı tespit edildi. Çimento türleri arasında tane yoğunluğu en fazla olan CEM I 42,5 R (3,14 Mg/m<sup>3</sup>) çimentosu ile üretilen betonlardan en yüksek birim kütle elde edildi.
- Üretilen numuneler süperakışkanlaştırıcı katkılarına göre incelendiğinde pH değeri en düşük olan (3,0-7,0) katkı ile üretilen betonlarda KYB standartlarına uygun yayılma ve T<sub>500</sub> süresi elde edilmiştir. Diğer kimyasal katkıları ile çimento türüne göre farklı sonuçlar alınmıştır. Bunun sonucu olarak, çimentonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin KYB'de kimyasal katkılarına göre daha belirleyici olabileceği tespit edilmiştir.
- Çimento türüne göre yayılma deneyleri incelendiğinde genel olarak özgül yüzey alanı en düşük, tane yoğunluğu en yüksek olan CEM I 42,5 R (Blaine özgül yüzey: 351 m<sup>2</sup>/kg) çimentosunda standartlara uygun yayılma ve T<sub>500</sub> süreleri elde edilirken; özgül yüzey alanı en yüksek, tane yoğunluğu en düşük olan CEM IV/B 32,5N (Blaine özgül yüzey: 458 m<sup>2</sup>/kg) çimentosu ile üretilen numunelerde elde edilen değerler standartların altında kalmıştır.

### 5.2. SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARININ DEĞİŞİMİ

- Sertleşmiş beton birim kütleleri sonuçlarının taze birim kütle sonuçları ile benzer olduğu gözlemlendi. Süperakışkanlaştırıcı katkı ilave edilen numunelerde şahit betonlar ile kıyaslandığında sertleşmiş beton birim kütlelerinin arttığı belirlendi. Katkılı betonlar kendi aralarında incelendiğinde birim kütleleri arasındaki

farkların çok olmadığı  $\pm\%1$  aralığında kaldığı tespit edildi. Çimento türleri arasında tane yoğunluğu en fazla olan CEM I 42,5 R (3,14 Mg/m<sup>3</sup>) çimentosunda en yüksek birim kütle elde edildi.

- Numunelerde kimyasal katkı kullanımı ile basınç dayanım değerlerinin yükseldiği belirlendi. Yapılan deneylerde CEM I 42,5 R çimentoları ile üretilen numunelerden yüksek dayanım sonuçları elde edilirken dayanımı daha düşük olan olan CEM IV/B 32,5N ile üretilen numunelerden düşük dayanım sonuçları elde edildi. Deney sonuçlarına göre yüksek dayanımlı çimento ile üretilen betonlardan yüksek dayanımlı olduğu ve süperakışkanlaştırıcı katkıların ise düşük dayanımlı çimentolar ile etkileşiminin olmadığı tespit edildi.
- Sertleşmiş beton deneylerinin sonuçları kimyasal katkı kullanımının en az ultrases hızını etkilediğini göstermektedir. Çimento türlerine göre inceleme yapıldığında özgül yüzey alanı en düşük olan CEM I 42,5 R (Blaine özgül yüzey: 351 m<sup>2</sup>/kg) çimentosunda en yüksek ultrases hızı elde edilirken, özgül yüzey alanı en yüksek CEM IV/B 32,5N (Blaine özgül yüzey: 458 m<sup>2</sup>/kg) çimentosu ile üretilen numunelerde düşük ultrases hızı değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre özgül yüzey alanı düşük olan çimento ile üretilen betonlarda mikro yapıda boşlukların daha yüksek oranda dolduğu ve doluluğu fazla olan betonlarda ses hızının daha yüksek olduğu görüldü.
- Süperakışkanlaştırıcı katkı ilaveli bütün betonlarda su emme oranının şahit betonlara göre daha az olduğu belirlendi. Çimento türlerine göre inceleme yapıldığında %6,0 ile %8,4 arasında değişen su emme oranları gözlemlendi. En düşük su emme oranı CEM I 42,5 R (Blaine özgül yüzey: 351 m<sup>2</sup>/kg) çimentosu ile üretilen betonlardan elde edildi. En yüksek su emme oranının ise CEM IV/B 32,5N (Blaine özgül yüzey: 458 m<sup>2</sup>/kg) çimentosu kullanılan numunelerde olduğu belirlendi. Ultrases hızı deneyi ile benzer şekilde düşük özgül yüzey alanına sahip betonlarda boşluk oranı daha az olmaktadır. Bunun sonucu olarak su emme oranı boşluklu betonlara göre daha az olduğu tespit edildi.

- Denev sonuçları süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımının betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir. Katkılı betonlarda, işlenebilirlik ve basınç dayanımının arttığı gözlemlendi. Denevlerde kullanılan çimentolar arasında CEM I 42,5 R (Blaine özgül yüzey: 351 m<sup>2</sup>/kg) ile üretilen betonlarda en uygun sonuç alınırken, daha düşük dayanım sınıfında CEM IV/B 32,5N (Blaine özgül yüzey: 458 m<sup>2</sup>/kg) çimentosu ile kendiliğinden yerleşen beton standartlarının altında sonuçlar alındı.



## KAYNAKLAR

- [1]. EFNARC, 2006, *Guidelines for viscosity modifying admixtures for concrete*, 2-3.
- [2]. Esping, O., 2007, *Introduction*, Early age properties of self compacting concrete-effects of fine aggregate and limestone filler, Chapter 1, Chalmers University of Technology, Göteborg, ISBN 978-91-7291-890-0, 1.
- [3]. Neville, A. M., 2011, *Properties of Concrete (Kindle Locations 5661-5662)*, 5th Edition, Pearson Education, London, ISBN: 978-0-273-75580-7.
- [4]. ERMCO, 2005, *The european guidelines for self-compacting concrete*, 5-58.
- [5]. THBB, 2007, *Kendiliğinden yerleşen beton klavuzu*, 5-62.
- [6]. Kaya, A.O., 2010, *Farklı türde mineral katkı kullanımının kendiliğinden yerleşen betonun taze faz ve mekanik özelliklerine etkisi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü.
- [7]. Kılınç, C., 2007, *Katkı dozajı ve taze beton sıcaklığının kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü.
- [8]. THBB, 2013, *Beton kullanıcıları için teknik bilgiler kılavuzu*,6-38.
- [9]. ACI Committee E-701, 2013, Chemical Admixtures, *ACI Education Bulletin*, 1 (1), 2-4.
- [10]. Ormancı, A.E., 2009, *Kendiliğinden yerleşen şapların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri ve üretim süreci*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü.
- [11]. Deep, R., 2013, *Flow of self-compacting concrete*, Thesis (PhD), Cardiff University.
- [12]. THBB, *Katkı*, <http://www.thbb.org/teknik-bilgiler/katki/>, [Ziyaret tarihi: 10 Kasım 2016].
- [13]. TS EN 197-1, 2002. Çimento-Bölüm1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [14]. Parikh, K.B., Shaikh, M.A., HAJİ, A.A., 2016, Experimental investigation of mineral admixtures in pervious concrete: a review, *International journal of scientific and research publications*, 6(3), 84-85.

- [15]. Tohumcu, İ., Bingöl, A.F., 2013, Silis dumanı ve uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen beton özellikleri ve basınç dayanımları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik bilimleri dergisi*, 15(2), 31-44.
- [16]. King, D., 2012, The effect of silica fume on the properties of concrete as defined in concrete society report 74, *37th Conference on our world in concrete & structures*, 29- 31 August 2012, Singapore.
- [17]. Sönmez, H.T., 2008, *Yüksek fırın cürufunun kendiliğinden yerleşen betonlara etkileri*, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü.
- [18]. Yılmaz, B., 2007, *Kendiliğinden yerleşen betonların reolojik ve mekanik özelliklerine su/ince malzeme oranı ile lif katkısının etkisi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü.
- [19]. Newman, J. and Choo, B.S., 2003, *Self-compacting concrete*, Advanced Concrete technology/processes, Chapter 9, Elsevier, Oxford, 9/12.
- [20]. Koehler, E.P., and Fowler, D.W., David W., 2003, *Summary of concrete workability test methods. icar report 105.1: Measuring the workability of high fines concrete*, International Center for Aggregates Research, The University of Texas, Austin.
- [21]. Banfill, P.F.G., 1990, *Rheology of fresh cement and concrete*, The British Society of Rheology, E. & F. Spon, London, ISBN: 0419-153-60-8.
- [22]. Gürses, O., 2008, *Kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri ve uygulamaları*, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü.
- [23]. Ulukaya, S., 2008, *Kendiliğinden yerleşen betonlarda rötire ve rötire çatlaklarının incelenmesi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü.
- [24]. EFNARC, 2002, *Specification and guidelines for self-compacting concrete*, 4-32.
- [25]. Sertbaş, B., 2006, *Kendiliğinden yerleşen betonlarda polipropilen lif kullanımının işlenebilirliğe etkisi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü.
- [26]. Kılınç, C., 2012, Kendiliğinden yerleşen betonlar, *Türkiye hazır beton birliği*, Temmuz-Ağustos, 70-75.
- [27]. TS EN 12390-3, 2010, Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [28]. TS EN 13543, 2015, Betonarme yapılara uygulanabilecek tahribatsız muayene (NDT) yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [29]. TS EN 1097-6, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [30]. TS EN 12350-2, 2010, Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.



## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Burak İNAN
Doğum Yeri	İzmir
Doğum Tarihi	13.06.1986
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0532 320 76 78
E-Posta Adresi	inanburak@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Trakya Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2008

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Tarihi	2017