

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**C<sub>3</sub>A YÜZDELERİ VE MİNERAL KATKI  
İÇERİKLERİ FARKLI OLAN ÇİMENTOLARLA  
ÜRETİLMİŞ HARÇLARA KLOR ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Müh. Onur YILMAZ**

**Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ**

**HAZİRAN 2008**

**C<sub>3</sub>A YÜZDELERİ VE MİNERAL KATKI  
İÇERİKLERİ FARKLI OLAN ÇİMENTOLARLA  
ÜRETİLMİŞ HARÇLARA KLOR ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Müh. Onur YILMAZ  
(501051094)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008  
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Hasan YILDIRIM  
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Fevziye AKÖZ (Y.T.Ü.)  
Y.Doç.Dr. Hakan Nuri ATAHAN (İ.T.Ü.)**

**HAZİRAN 2008**

## **ÖNSÖZ**

Çalışmalarına yön vererek gelişmesinde katkıda bulunan tez danışmanım Y.Doç. Dr. Hasan Yıldırım'a, laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına, her türlü malzeme ihtiyacımda destek olan Set-Italicementi Group Teknik Pazarlama Müdürü Levent Onat'a ve tez çalışmam boyunca bana maddi ve manevi açıdan desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2008

Onur YILMAZ

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b>	<b>ii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>v</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>vi</b>
<b>ÖZET</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. ÇİMENTO</b>	<b>2</b>
2.1. Çimentonun Tarihi	2
2.2. Çimentonun Bileşimi Ve Tipleri	3
2.3. Çimentonun Üretimi	5
2.3.1. Yaş sistem	6
2.3.2. Yarı kuru sistem	7
2.3.3. Kuru sistem	7
2.4. Çimento Hamuru Ve Sertleşme Sırasındaki Özellikleri	9
2.4.1. Hidratasyon	9
2.4.2. Hidratasyon ısısı	10
2.4.3. Priz ve Sertleşme	11
2.5. Sertleşmiş Çimento Hamurunun Özellikleri	12
2.5.1. Mekanik mukavemet	12
2.5.2. Yük altında deformasyon	14
2.5.3. Rötne ve şişme	16
2.5.4. Geçirimsizlik	16
2.5.4. Donmaya karşı dayanıklılık	17
2.5.4. Kimyasal etkilere karşı dayanıklılık	17
<b>3. HARÇLAR</b>	<b>19</b>
3.1. Harçların Dayanımı Ve Dayanıklılığı	19
3.2. Harçların Sınıflandırılması	21
3.3. Bağlayıcılar	23
3.3.1. Alçı	23
3.3.2. Kireç	24
3.3.3. Puzolanlar	25
3.4. Dolgu Malzemeleri	26
3.5. Katkı Malzemeleri	27
3.5.1. Kimyasal katkılar	27
3.5.2. Mineral katkılar	28
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>	<b>29</b>
4.1. Deney Programı	29
4.2. Kullanılan Malzemeler	29

4.2.1. Kumun özellikleri	30
4.2.2. Çimentonun özellikleri	30
4.2.3. Yüksek fırın cürufunun özellikleri	30
4.2.4. Trasin özellikleri	31
4.2.5. Uçucu külün özellikleri	32
4.3. Numunelerin Kodlanması	32
4.4. Harç Karışım Oranları	32
4.5. Eğilme Ve Basınç Deneyleri	34
4.6. Ultrases Hızı Deneyi	35
4.7. Kılcal Su Emme Deneyi	36
4.8. Klor Geçirgenliği Deneyi	37
<b>5. DENEY SONUÇLARI</b>	<b>39</b>
5.1. Eğilme Ve Basınç Deneyleri Sonuçları	39
5.2. Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları	42
5.3. Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları	44
5.4. Klor Geçirgenliği Deneyi Sonuçları	45
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>47</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>49</b>
<b>EKLER</b>	<b>52</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>67</b>

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 2.1</b>	Çimento ana bileşenlerinin relatif özellikleri ..... 4
<b>Tablo 2.2</b>	Çimento tiplerinin ortalama kimyasal bileşimleri ..... 5
<b>Tablo 2.3</b>	Çimento ana bileşenlerinin hidrasyon reaksiyonları ..... 10
<b>Tablo 2.4</b>	Çimento ana bileşenlerinin hidrasyon ısıları ..... 11
<b>Tablo 3.1</b>	Harç karışım oranları ..... 21
<b>Tablo 3.2</b>	Sıva tabakaları ..... 22
<b>Tablo 4.1</b>	Çimentoların fiziksel özellikleri..... 31
<b>Tablo 4.2</b>	Çimentoların ve mineral katkıların kimyasal bileşenleri..... 31
<b>Tablo 4.3</b>	Harç üretiminde kullanılan malzemeler ve karışım oranları..... 33
<b>Tablo 4.4</b>	Klor geçirimsizlik deney sonuçlarına göre betonun değerlendirilmesi..... 38
<b>Ek A1</b>	Co karışımı ultrases deneyi sonuçları ..... 55
<b>Ek A2</b>	Cw karışımı ultrases deneyi sonuçları ..... 56
<b>Ek A3</b>	So karışımı ultrases deneyi sonuçları ..... 57
<b>Ek A4</b>	Sw karışımı ultrases deneyi sonuçları ..... 58
<b>Ek B1</b>	Co karışımı eğilme deneyi sonuçları ..... 59
<b>Ek B2</b>	Cw karışımı eğilme deneyi sonuçları ..... 60
<b>Ek B3</b>	So karışımı eğilme deneyi sonuçları ..... 61
<b>Ek B4</b>	Sw karışımı eğilme deneyi sonuçları ..... 62
<b>Ek C1</b>	Co karışımı basınç deneyi sonuçları ..... 63
<b>Ek C2</b>	Cw karışımı basınç deneyi sonuçları ..... 64
<b>Ek C3</b>	So karışımı basınç deneyi sonuçları ..... 65
<b>Ek C4</b>	Sw karışımı basınç deneyi sonuçları ..... 66
<b>Ek D1</b>	Co karışımı kılcal su emme deneyi sonuçları ..... 67
<b>Ek D2</b>	Cw karışımı kılcal su emme deneyi sonuçları ..... 67
<b>Ek D3</b>	So karışımı kılcal su emme deneyi sonuçları ..... 67
<b>Ek D4</b>	Sw karışımı kılcal su emme deneyi sonuçları ..... 68
<b>Ek E</b>	Klor geçirgenliği deneyi sonuçları ..... 69

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Yaş sistem fırınlarının şematik diyagramı .....	6
Şekil 2.2 : Kireç ve kil taneciklerinin lepol ızgarasında kurutulması .....	7
Şekil 2.3 : Çimentonun üretim aşamaları .....	8
Şekil 2.4 : Çimento hamurunun iç yapısı .....	12
Şekil 2.5 : Su/çimento oranına bağlı olarak beton basınç mukavemetinin değişmesi .....	14
Şekil 2.6 : Hızlı ve yavaş yüklemde deformasyon değişimi .....	15
Şekil 2.7 : Sürekli yüklemde deformasyon değişimi .....	15
Şekil 4.1 : Kumun granülometri eğrisi .....	30
Şekil 4.2 : Eğilme deneyi düzeneği .....	34
Şekil 4.3 : Basınç deneyi düzeneği .....	35
Şekil 4.4 : Ultrases deney düzeneği .....	36
Şekil 4.5 : Kılcal su emme deney düzeneği .....	37
Şekil 4.6 : Klor geçirimliliği deneyi düzeneği.....	48
Şekil 5.1 : Eğilme deneyi sonuçları.....	40
Şekil 5.2 : Basınç deneyi sonuçları.....	41
Şekil 5.3 : Seçilen numunelerin basınç deneyi sonuçları.....	42
Şekil 5.4 : Ultrases hızı deneyi sonuçları.....	43
Şekil 5.5 : Kılcal su emme deneyi sonuçları.....	44
Şekil 5.6 : Klor geçirimliliği deneyi sonuçları.....	45
Şekil 5.7 : Klor geçirimliliği deneyi sonuçlarına kül etkisi.....	46

## **C<sub>3</sub>A YÜZDELERİ VE MİNERAL KATKI İÇERİKLERİ FARKLI OLAN ÇİMENTOLARLA ÜRETİLMİŞ HARÇLARA KLOR ETKİSİ**

### **ÖZET**

Çimento, ince yapıdan kaba yapıya kadar inşaat sektörünün hemen hemen her alanında kullanılan bir yapı malzemesidir. Ancak çimento harçları her zaman istenilen isteklere karşılık veremeyebilmektedir. Kullanılacağı yere ve maruz kalacağı şartlara göre çimento harçlarının ve betonların bazı ek özelliklere sahip olması istenir. Klora karşı geçirimsiz olmak da bu istenen özelliklerden birisidir. Bunun gibi bazı isteklere cevap verebilmek için çimento harçları bazı katkıları katılarak üretilmektedir.

Bu çalışmada değişik çimentolara, üç farklı mineral katkı katılarak hem harçların genel niteliklerindeki değişikliklere hem de harçların klor geçirgenliklerine bakılmıştır. SDÇ 32,5 ve CEMIV/B 32,5R çimentoları kullanılarak çimento bileşimindeki C<sub>3</sub>A bileşeninin klor geçirgenliğine ve harç özelliklerine etkisi gözlemlenmiştir. Ayrıca yüksek fırın cürufu, tras ve uçucu kül olmak üzere 3 ayrı mineral katkı kullanılarak bu katkıların harç özellikleri üzerindeki etkisine ve bu katkılarla üretilmiş harçların klor geçirgenliklerine bakılmıştır. Altı bölümden oluşan bu çalışmada, ilk bölümde yapılan çalışmanın amacı anlatılmıştır. İkinci bölümde, çimento hakkında genel bilgi verilerek, sertleşmiş çimento hamurunun özelliklerinde bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde harçlar konusuna değinilmiş ve harçların içerisinde bulunan dolgu malzemeleri ve katkı malzemeleri de anlatılmıştır. Dördüncü bölümde iki farklı çimento ve 3 farklı mineral katkı ile yapılan deneysel çalışma anlatılarak, elde edilen değişik harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine bakılarak klor geçirgenlikleri hakkında yapılan araştırma anlatılmıştır. Beşinci bölümde deney sonuçlarına bakılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Son bölüm olan altıncı bölümde ise, çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.



## **EFFECTS OF CHLORIDE PENETRATION IN CEMENT PASTE WITH DIFFERENT PERSENTAGE OF C<sub>3</sub>A AND MINERAL ADMIXTURE**

### **SUMMARY**

Cement is the most used building material in construction sector. But unfortunately, performance of cement paste is not always so much good. For example, the impermeability against the chloride is effective for the cement performance. In order to answer to such kind of demands some admixtures are used in produce of cement pastes.

In this work, three different mineral admixtures were used in different cements to investigate the general properties of cement paste and chloride penetrations. The effect of C<sub>3</sub>A component in cement paste to chloride penetration and properties of paste is investigated by using SDC 32,5 and CEMIV/B 32,5 cements. Three different mineral admixtures are used and the influence of this admixtures to the properties of concrete and the chloride penetration of the concrete that is produced by using these admixtures. This work includes six parts and in first part, the objective of the work was explained. In second part, there is some knowledge about cement and hardened cement pastes properties. In third part, pastes and admixtures properties was explained. Fourth part includes the experimental works explanation. There is the conclusion and suggestion in fifth part. In final part the experiments results were discussed. As a result, each of the admixtures improve some determined properties, not affect some of the properties and has negative effect on some properties of concrete.

## I. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan yapı malzemelerinin içinde çimentonun yeri çok büyüktür. Çimento inşaat sektöründe kaba yapıdan ince yapıya kadar her aşamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde son yıllarda çelik yapılarda belirgin bir artış olsa da betonun yapılarda kullanımını göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Betonda bağlayıcı olarak kullanılan çimento klasik anlamda yeterli bir yapı malzemesi olsa da; istenilen ekstra özellikler karşısında bazen tek başına yeterli olmamaktadır. Bu nedenle istenilen ekstra özellikleri sağlamak için, çimento harç ve betonlarında kimyasal ve mineral katkıları kullanılmaktadır. Kullanılan mineral katkıları; yüksek fırın cürufu, tras, kül ve silis dumanı gibi endüstriyel üretimlerde oluşan yan ürünler olarak; kimyasal katkıları ise; hava sürükleyiciler, akışkanlaştırıcılar, priz hızlandırıcılar, priz geciktiriciler ve su geçirimsizlik katkıları olarak sınıflandırılabilirler. Ülkemizde mineral katkıları çok eski zamanlardan beri kullanılmasına rağmen kimyasal katkıları sadece son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, çimento ve harçların genel özellikleri üzerinde çalışılmıştır ve ayrıca yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve tras olmak üzere üç farklı mineral katkı, çimentoya değişik oranlarda katılarak hazırlanan harçlarda meydana gelen değişiklikler mekanik ve fiziksel deneyler ile araştırılmıştır.

Sonuç olarak kullanılan her katkıının belirli özellikleri iyileştirdiği, belirli özelliklere çok fazla etki etmediği, bazı özelliklere ise olumsuz etki ettiği görülmüştür. Bu nedenle, harcın kullanım amacına ve kullanılacağı ortam koşullarına uygun çimento tipi ve mineral katkı seçilmeli, mineral katkı oranı amaca uygun olarak belirlenmelidir.

## 2. ÇİMENTO

Çimento, yapı malzemeleri arasında en önemli yeri kaplayan bir bağlayıcı maddedir. Temel olarak kil ve kirecin pişirilip birleştirilmesiyle oluşur. Su ve agrega ile karışınca harç ve betonun oluşmasını sağlayan bir malzemedir. Çimento, en eski ve en çok yapı malzemelerinden birisi olmakla beraber bundan sonrada yapı sektöründeki yerini koruyacak bir malzemedir (Kocataşkın, 1965).

### 2.1 Çimentonun Tarihi

Doğal çimento üretimi ilk olarak 18. yüzyılda yapılmıştır. 1756 yılında John Smeathon adında bir İngiliz kireç ve bazı puzolanlarla çeşitli deneyler yapmış ve iyi bir bağlayıcı elde etmiştir. Ancak bu icat duyulmamıştır. 1796 yılına kadar birçok kez aynı denemeler yapılmış fakat ilk doğal çimento patentini alan Joseph Parker olmuştur. İlk üretildiğinde 'Parker'ın Çimentosu' adını verse de sonradan 'Roma Çimentosu' olarak adlandırılmıştır (Erdoğan, 2007).

Portland çimentosunun icadı ise 1824 yılında Josheph Aspdin adında bir İngiliz tarafından gerçekleştirildi. Duvar ustası olan Aspdin, 1800'lü yılların başında yollardaki taş tozlarını toplamaya başladı ve bunları kil ile birleştirip pişirerek bağlayıcı üretmeye başladı. Ürettiği bağlayıcının renk ve diğer özellikler bakımından Portland Adası'ndan çıkartılan yapı taşlarına benzettiği için 'Portland Çimentosu' adını verdiği bağlayıcının 1824 yılında patenti olarak üretmeye başladı (Kocataşkın, 1965).

Ülkemizde ise çimentonun gelişimi diğer ülkelere nazaran daha geç olmuştur. Türkiye'de ilk kurulan çimento fabrikası Darıca'da 1911 yılında kurulmuştur. Hemen ardından bir fabrikada Eskişehir'de kurulmuştur. Arslan Çimento adı altında kurulan bu fabrikalar Türkiye'nin ilk çimento fabrikalarıdır. İkinci Dünya Savaşı döneminde bir süreliğine de olsa faaliyeti duran Arslan Çimento Fabrikası 1947 yılında tekrar faaliyete geçmiştir. Bu iki fabrika tarafından yapılan üretimin yeterli

olmaması nedeniyle 1932–1933 yılları arasında Zeytinburnu, Kartal ve Sivas fabrikaları kurulmuştur. Böylece ülkemizde çimento üretimi artmış ve çimento sektörü gelişmiştir (Kocataşkın, 1965).

## 2.2 Çimentonun Bileşimi ve Tipleri

Çimento bileşiminde bulunan maddeler temel olarak kil ve kalkerdir. Birinci bileşen olan kil, bileşiminde %90 oranında kil minerali bulunduran kayalardan oluşur. Diğer bileşen olan kalker ise; bileşiminde %90 oranında kalsiyum karbonat veya kalsit bulunduran kayalardan oluşmaktadır (İncesu, 2000). Çimentonun bileşiminde bulunan kalsiyum, alüminyum, demir ve silisyum oksitler bu bileşenlerin içinde bulunmaktadır. Bileşimde bulunan silisyum oksit ( $\text{SiO}_2$ ), alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ve demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) kilin yapısından bileşime katılmaktadır. Kireç ( $\text{CaO}$ ) ve magnezyum oksit ( $\text{MgO}$ ) ise kalker taşının yapısından bileşime dahil olmaktadır (Artel, 1961).

Çimentoyu oluşturan ana ve diğer bileşenler şu şekilde sıralanabilir:

- Ana Bileşenler : Dikalsiyum silikat,  $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$   $\text{C}_2\text{S}$   
Trikalsiyum silikat,  $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$   $\text{C}_3\text{S}$   
Trikalsiyum alüminat,  $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$   $\text{C}_3\text{A}$   
Tetrakalsiyum alüminoferrit,  $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$   $\text{C}_4\text{AF}$
- Diğer Bileşenler : Serbest  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , Cam ve Katı eriyikler

Çimentoyu oluşturan ana bileşenleri inceleyecek olursak;

- $\text{C}_2\text{S}$ : Bu bileşenin hidrate olması oldukça yavaştır. 14. gün ile 28. gün arasındaki mukavemet artışında önemli rol oynar.  $\text{C}_2\text{S}$  oranı daha fazla olan çimentoların kimyasal ataklara karşı dayanıklılığı daha fazla olur.
- $\text{C}_3\text{S}$ : Bu bileşen etkinliğini erken safhalarda gösterir ve önemli miktarda ısı açığa çıkmasına neden olur. Ayrıca betonun erken zamanlardaki mukavemetine önemli katkıları vardır.
- $\text{C}_3\text{A}$ : Bu bileşen hidrasyonun hızlı olmasını sağlar ve önemli miktarda ısı açığa çıkmasına neden olur. Ayrıca ilk sertleşmenin oluşmasına yardımcı olur. Ancak mukavemete katkısı önemsiz denilecek kadar azdır ve kimyasal ataklara karşı dayanıklılığı kötüdür.

- C<sub>4</sub>AF: Diğer bileşenlere göre önemi çok daha azdır. Mukavemet ve sertleşmiş çimento hamuru özelliklerine renk haricinde çok katkısı yoktur.

Bu bileşenlerin relatif özellikleri aşağıdaki Tablo 2.1.'de verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Çimento Ana bileşenlerinin Relatif Özellikleri (Erdoğan, 2007)

Bileşen	Reaksiyon Hızı	Bağlayıcı Değer	Hidratasyon Isısı	Dayanıma Katkısı (İlk Günlerde)	Dayanıma Katkısı (Sonunda)
C <sub>2</sub> S	Yavaş	Kuvvetli	Az	Düşük	Yüksek
C <sub>3</sub> S	Orta	Kuvvetli	Orta	Yüksek	Yüksek
C <sub>3</sub> A	Hızlı	Zayıf	Yüksek	Düşük	Düşük
C <sub>4</sub> AF	Orta	Zayıf	Orta	Düşük	Düşük

Bu bileşenlerin farklı oranlarda kullanılmasıyla farklı özellikte çimentolar elde edilebilmektedir. Örneğin Amerika'da bu şekilde 5 farklı çimento üretilebilmektedir. Bunlar;

- Tip I : Yapıda kullanılan normal Portland Çimentosu. Bileşiminde %50 C<sub>3</sub>S, %30 C<sub>2</sub>S ve %20 C<sub>3</sub>A+ C<sub>4</sub>AF bulunmaktadır.
- Tip II : Hidratasyon ısısı ve sülfat dayanıklılığı orta, C<sub>3</sub>S miktarı Tip I'e göre biraz daha fazla olan bir çimentodur.
- Tip III : C<sub>3</sub>S oranı ve öğütme inceliği fazla olan yüksek mukavemetli ibr çimentodur.
- Tip IV : C<sub>3</sub>S oranı fazla, hidratasyon ısısı az olan bir çimentodur.
- Tip V : C<sub>3</sub>A oranı az fakat sülfata dayanıklılığı fazla olan bir çimentodur.

[16]

Bu 5 tipin kimyasal bileşimleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Çimento Tiplerinin Ortalama Kimyasal Bileşimleri (Kocataşkın, 1965)

	Tip I	Tip II	Tip III	Tip IV	Tip V
Oksit Analizi Yüzdeleri					
Kireç (CaO)	64	63	65	60	64
Silis (SiO <sub>2</sub> )	21	22	20	24	26
Alümin (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6,5	5	5,5	5	2,5
Demiroksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,5	4	3	4,5	1,5
Manyezi (MgO)	2,5	3	2,3	3	2
Sülfür (SO <sub>3</sub> )	2,1	1,5	2,5	1,7	1,3
Yanma Kaybı	1,3	1,1	1,5	1,1	0,02
Asitle Erimeyen	0,02	0,02	0,02	0,02	
Ana Bileşen Yüzdeleri					
C <sub>3</sub> S	45	44	53	28	38
C <sub>2</sub> S	27	31	19	49	43
C <sub>3</sub> A	11	5	10	4	4
C <sub>4</sub> AF	8	13	10	12	8
İncelik					
Özgül Yüzeý	1710	1990	2730	1880	1960
325 No. Elekten Geçen	90,7	94,7	99,5	93,1	93,2

### 2.3 Çimentonun Üretimi

Çimentonun üretiminden piyasaya sürülmesine kadar olan aşamaları ana başlıklarla şu şekilde sıralayabiliriz:

- Kullanılacak kil ve kalkerin analizlerinin yapılması ve miktarlarının belirlenmesi,
- Kil ve kalkerin belirli oranlarda karıştırılarak öğütme işlemi sonucunda homojen bir karışım elde edilmesi,
- Karışımın fırında pişirilmesi ve sonuçta oluşan klinkerin soğutucuya sevk edilmesi,

- Klinkerin içerisine az miktarda alçı taşı katılarak öğütülmesi ve böylelikle klinkere bağlayıcı özellik verilerek çimento elde edilmesi,
- Elde edilen çimentonun silolarda bekletilerek kararlı hale geldikten sonra paketlenerek piyasaya sürülmesi (Artel, 1961).

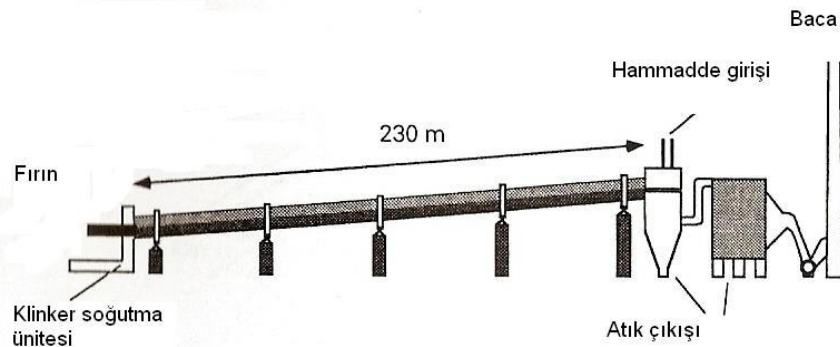
Çimentonun üretiminde hammadde olarak kil ve kalker taşı kullanılır. Öncelikli olarak bu hammaddeler belirli oranlarda karıştırılarak öğütülür ve böylece homojen bir karışım elde edilir. Daha sonra elde edilen karışım fırınlarda 1500°C 'ye kadar pişirilir ve klinker oluşur. Hammadde karışımının pişirilmesi esnasında oluşan değişimler ana hatlarıyla aşağıdaki gibidir:

100 - 200°C	- Nem tamamen kaybolur
700 - 800°C	- Kalker ayrışır
1250°C	- Kristal sistem oluşur
1450°C	- Klinker oluşur

Klinker oluşuktan sonra klinker içerisine belirli oranda alçı taşı ilave edilerek öğütülür ve böylelikle çimento üretimi tamamlanmış olur. Çimentonun üretiminde, yaş sistem, yarı kuru sistem ve kuru sistem olmak üzere kullanılan 3 farklı yöntem vardır (Kocataşkın, 1965).

### 2.3.1. Yaş Sistem

Yaş sistemde hammadde olarak kullanılan kil ve kalker %37-%39 oranında su ilave edilerek öğütülür ve çamur haline gelen karışım Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi fırında pişirilir (Gani, M).



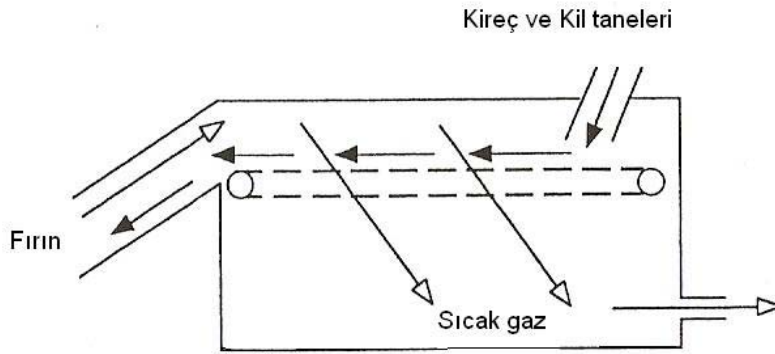
**Şekil 2.1.** Yaş Sistem Fırınlarnn Şematik Diyagramı (Gani, M)

Bu sistemde ısı kaynağı ile fırına konulan çamur arasındaki ısı transferini sağlamak için metal zincirler kullanılır. Ayrıca bu kullanılan zincirler çamur içerisindeki serbest suyun uzaklaştırılmasını da sağlar. Çamur, bu zincirli kısma 38°C’de girer ve yaklaşık 90-100°C’de çıkar. Bu esnada çamurun nem oranı yaklaşık olarak %6 ile %12 arasındadır. Rutubetini kaybeden çamur fırın çıkışındaki soğutucuya dökülür. Daha sonra alçı taşı ilave edilerek öğütülür ve çimento elde edilmiş olur (Gani, M).

Bu sistemin ekonomik olabilmesi için kullanılan hammaddelerin çok rutubetli olması gerekmektedir. Ekonomik olmaması sebebiyle de günümüzde çok tercih edilmeyen bir yöntemdir (Gani, M).

### 2.3.2. Yarı Kuru Sistem

Yarı kuru sistemde hammaddeler öncelikli olarak kuru şekle öğütülür. Öğütme işleminden sonra hammaddelere su püskürtülerek ufak toprak halini almaları sağlanır. Bu aşamadaki nem oranı %10 ile %15 arasındadır. Toprak haline gelen malzeme Şekil 2.2.’de gözüktüğü gibi Lepol ızgarasında kurutulur ve nemini kaybederek kalsine olurlar. Daha sonra fırında pişirilerek klinker oluşumu gerçekleşir. Alçı taşı katılmasıyla da çimento üretimi tamamlanmış olur (Gani, M).



Şekil 2.2. Kireç ve kil taneciklerinin Lepol ızgarasında kurutulması (Gani, M)

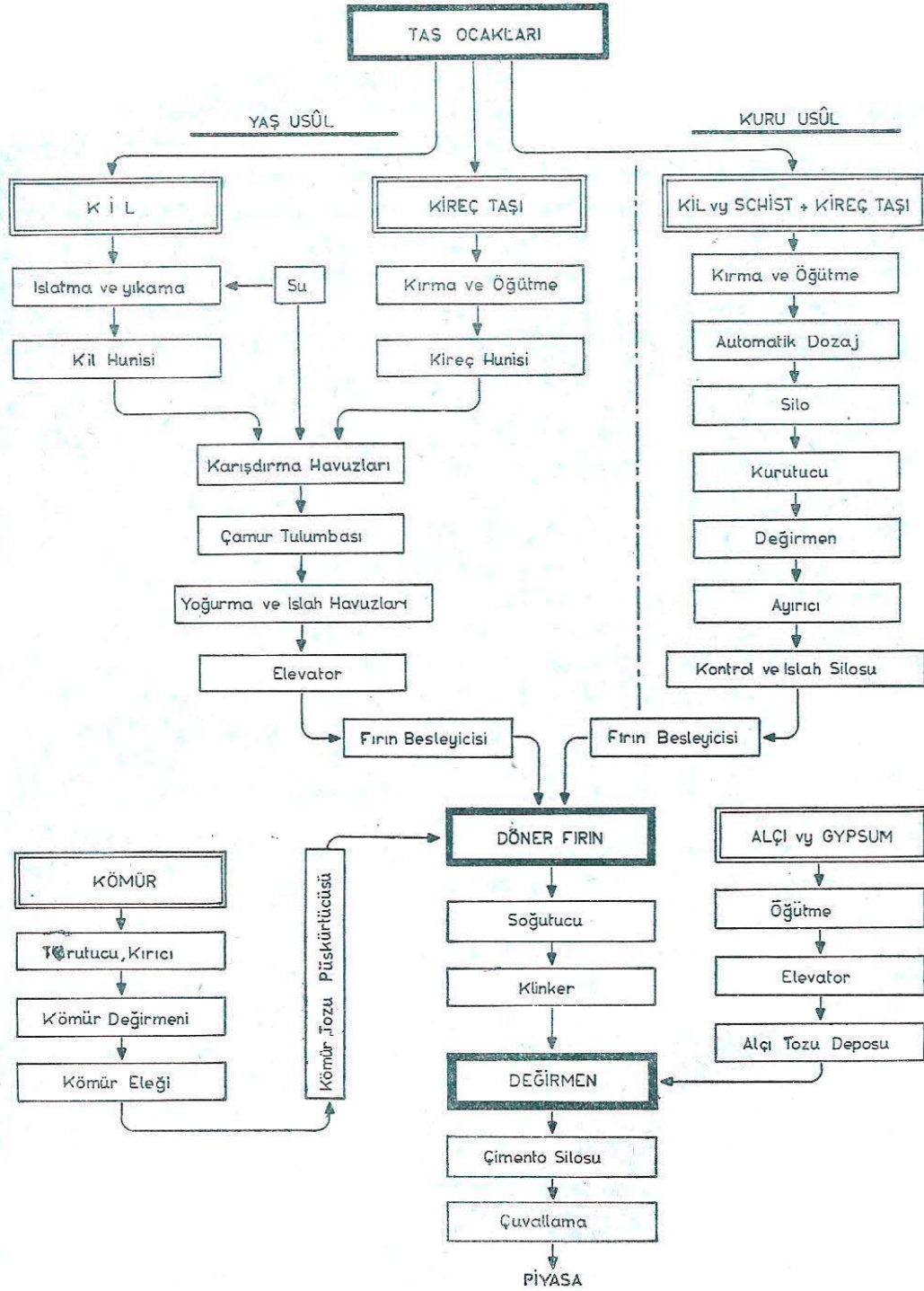
### 2.3.3. Kuru Sistem

Kuru sistemde hammadde karışımı fırına kuru ve toz halinde konulur. Hammadde, farin değirmeninde öğütülür ve fırından çıkan gazlarla kurutulur. Bu sistemde diğerlerinden farklı olarak ön ısıtma ünitesi vardır. Bu ünite döner fırın çıkışındaki gaz, siklon kademesinden geçerken soğumaya başlar, ters istikamette ilerleyen farin ise gazdan çıkan enerji ile ısınır ve kalsine olur. Bu kademe sayısı artırılarak enerji



tasarrufu sağlanabilir. Daha sonra klinker oluşumu ve alçı taşı katılmasıyla üretim sonlanmış olur (Gani, M).

Yaş ve kuru sistemler arasındaki en büyük fark döner fırında harcanan enerji farklılığıdır. Kuru sistemde harcanan enerji yaş sistemdekenden çok daha azdır. Şekil 2.3.'de her üç sistemi de kapsayan üretim aşamaları gösterilmiştir (Gani, M).



Şekil 2.3. Çimentonun üretim aşamaları (Artel, 1961)

## **2.4. Çimento Hamuru ve Sertleşme Sırasındaki Özellikleri**

Çimento tanecikleri anidr durumunda, kristal ve amorf karışımı bir yapıya sahiptirler ve su ile karıştırıldıklarında hidrasyon olayı sonunda bağlayıcı özelliği olan jel halindeki çimento hamurunu oluştururlar. Çimento hamuru ilk halinde plastik kıvamda olsa da zamanla katılarak mukavemet kazanır. Çimento tanelerinin mukavemet kazanabilmesi için hidrasyon, priz alma ve sertleşme olaylarını sırasıyla geçirmesi gerekir (Oktar, 1984).

### **2.4.1 Hidrasyon**

Hidrasyon olayı en genel anlamda, çimento taneciklerinin bileşiminde bulunan kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminatların su ile yaptığı reaksiyonlar olarak tanımlanmaktadır. Hidrasyon olayının oluşabilmesi için minimum ortalama çimento dane büyüklüğü 20 mikron olmalıdır (Erdoğan, 2005).

Su ile temasa geçen çimento tanelerinde yüzeyden itibaren hidrasyon olayı başlar. Hidrasyon olayı zamanla gelişen bir olaydır ve priz tamamlandıktan sonra bile azalan bir hızla olsa dahi senelerce devam eder ve devam ettikçe de çimentonun özellikleri değişir. Hidrasyonunu tamamlayan  $1\text{cm}^3$  anidr portland çimentosu, yaklaşık olarak  $2,06\text{cm}^3$  jel haline gelmektedir (Popovics, 1992).

Başlangıçta serbest olarak çimentoya eklenen su, hidrasyon boyunca çimento içerisinde farklı şekillerde bulunur. Zamanla serbest su azalır ve kristalleşme suyuna dönüşür. Hidrasyonun ilerleyen safhalarında su, iyonlarına ayrılarak OH iyonları halinde ürünlerin kimyasal yapısına karışır. Hidrasyon boyunca çimento içerisindeki bileşenler su ile çeşitli reaksiyonlara girerler. Çimentonun ana bileşenlerinin girmiş olduğu hidrasyon reaksiyonları Tablo 2.3.'de verilmiştir (Portland Cement Association).

**Tablo 2.3.** Çimento Ana Bileşenlerinin Hidratasyon Reaksiyonları (Kocataşkın, 1965)

BİLEŞEN	SU İLE HİDRATASYON REAKSİYONU
C <sub>3</sub> S	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot (n-1)\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot (n-3)\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$
C <sub>2</sub> S	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot (n-1)\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$
C <sub>3</sub> A	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{ısı}$ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
C <sub>3</sub> A+alçı	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 3(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 19 \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ $2(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) + 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $3(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$
C <sub>4</sub> AF	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + (n+6)\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} +$ $+ \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

#### 2.4.2 Hidratasyon Isısı

Betonda kullanılan bağlayıcı maddeler priz ve sertleşme esnasında önemli miktarda ısı açığa çıkarırlar. Bu ısı çimentonun içerisinde bulunan bileşenlerle su arasında oluşan reaksiyonlarda diğer adıyla hidratasyonda meydana geldiği için hidratasyon ısısı olarak adlandırılır. Hidratasyon olayı senelerce sürdüğü için açığa çıkan ısıda zaman geçtikçe artmaktadır. Betonarme yapılarda bu ısı yüzey/hacim oranının fazla olması sebebiyle rahatlıkla dışarı çıkabilmektedir. Ancak bu ısı değeri, baraj gibi büyük kütleli betonlarda büyük değerlere ulaşmakta ve betonda çatlaklar oluşmasına neden olmaktadır. (Postacıoğlu, 1975)

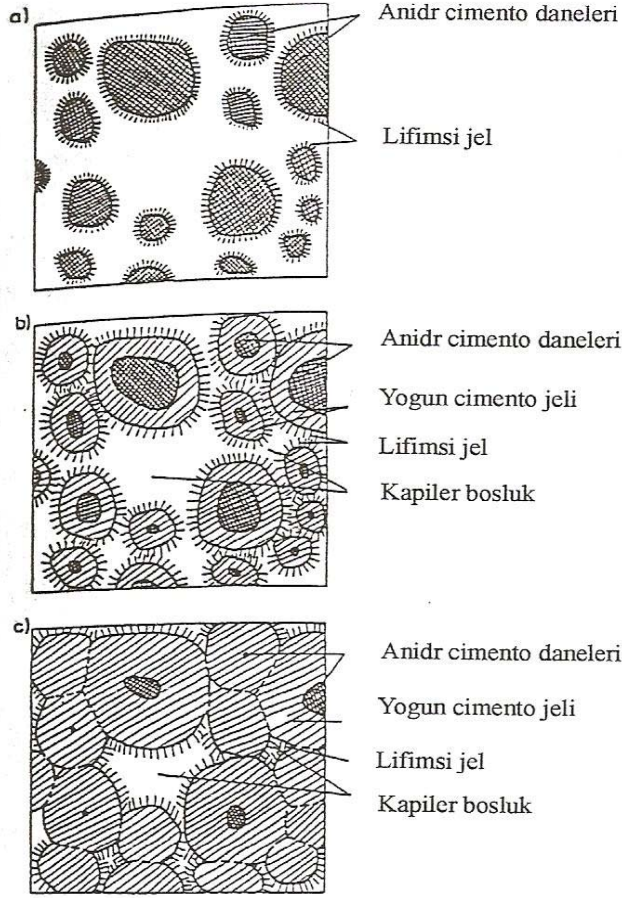
Çimentonun içerisinde bulunan bileşiklerin hidratasyon ısısı üzerinde önemli etkileri vardır. Aşağıdaki Tablo 2.4.'de su/çimento oranı %40 ve sıcaklığı 21°C olan bileşenlerin hidratasyon ısıları verilmiştir (Kocataşkın, 1965).

**Tablo 2.4.** Çimento Ana Bileşenlerinin Hidratasyon Isıları (Kocataşkın, 1965)

Bileşen	Hidratasyon Isısı (cal/gr)							
	3 gün	7 gün	28 gün	3 ay	1 yıl	6,5 yıl	13 yıl	Tam hidratasyon
C <sub>3</sub> S	58	53	80	104	117	117	122	120
C <sub>2</sub> S	12	10	25	42	54	53	59	62
C <sub>3</sub> A	12	372	329	311	279	328	324	207
C <sub>4</sub> AF	69	118	118	98	90	111	102	100

### 2.4.3 Priz ve Sertleşme

Priz, kısaca bağlayıcı maddelerin katılaşması olarak tarif edilebilir. Priz ve sertleşme hakkında iki ayrı teori ortaya atılmıştır. Birinci teori 1887 yılında Le Chatelier tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre çimento içerisinde bulunan kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat, ayrı ayrı su ile reaksiyona girerler. Tanecikler su ile temasa geçtikten sonra çözülürler. Karışım doygun hale geldikten sonra kristalleşme oluşur ve karışım tekrar doyma derecesinin altına düşer. Bu karışım kalan taneciklerinde çözülmesini sağlar. Oluşan kristaller sert bir hal alırla ve priz gerçekleşmiş olur. Priz ve sertleşme ile ilgili bir diğer teori ise Wilhelm Michaelis tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre ilk aşamada kireç, alüminat ve sülfat suda erir. Sudaki kireç miktarı belirli bir değere ulaştıktan sonra kalsiyum silikat hidrate jeli oluşur. Bu oluşan jel, çimento boşluklarını doldurur ve suyun çimento danelerinin iç kısımları tarafından emilmesi sonucunda kuru bir yüzeye sahip olur ve katılaşma meydana gelir. Her iki teori de priz ve sertleşme hakkında önemli bilgiler vermektedir ve her ikisi de doğru kabul edilir. Çünkü katılaşan çimento hamurunun içyapısında hem tanecikler hem de jel vardır. Aşağıdaki Şekil 2.4.'de çimento hamurunun içyapısı görülmektedir (Kocataşkın, 1965).



**Şekil 2.4.** Çimento Hamurunun İç Yapısı (Erdoğan, 2005)

## 2.5. Sertleşmiş Çimento Hamurunun Özellikleri

Serleşmiş çimento hamuru özellikleri, mekanik mukavemet, yük altında deformasyon, rötre ve şişme, donmaya karşı dayanıklılık ve kimyasal etkilere dayanıklılık olarak sıralanabilir.

### 2.5.1. Mekanik Mukavemet

Mekanik mukavemet ile sertleşmiş çimento hamurunun içyapısı hakkında tam olarak bir bağlantı kurulamamıştır. Ancak birçok deneye dayalı bağlantı mevcuttur. Bu bağlantılar üzerinde çalışan Powers mekanik mukavemetin, jel konsantrasyonuna bağlı olduğunu belirten aşağıdaki formülü öne sürmüştür (Kocataşkın, 1965).

$$R=K.X^n$$

Bu bağlantıda;

X = jel konsantrasyonu (jel hacmi/çimento hamuru hacmi)

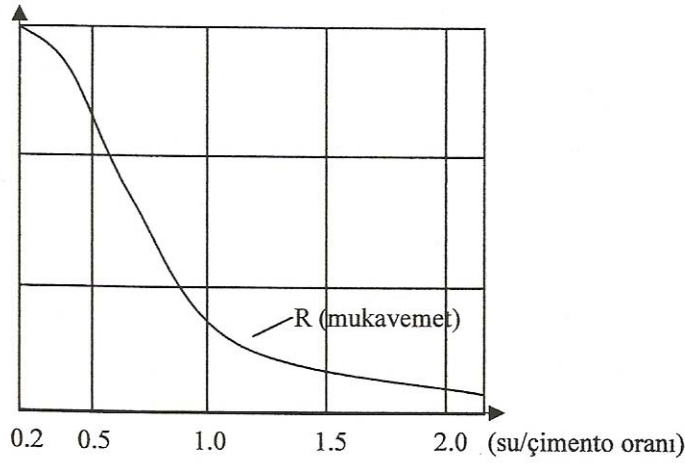
K = jel kalitesini belirten bir katsayı

N = 2 veya 3 gidi sabit değerler alabilen bir sayı

Bu formülde jel kalitesini belirten K katsayısı, çimento cinsine ve özelliklerine bağlıdır. 1960 yılında Grudemo, mekanik mukavemetin katı yüzler arasındaki fiziki çekme kuvvetlerinden ve kimyasal bağlardan oluşabileceğini öne sürmüştür. Bahsedilen fiziki çekme kuvvetleri, Van der Waals kuvvetleridir ve çimento hamurunun sahip olduğu mukavemetin temel kaynağıdır. Fiziksel çekme kuvvetlerinin yanı sıra kimyasal bağlar da mevcuttur. Çimentonun hidratasyonu sırasında oluşan kristal yapı, büyüyerek iğneli bir yapı halini alır ve boşlukların dolmasını sağlayarak mukavemetin kazanılmasına neden olur (Kocataşkın, 1965).

Reinus adında bir bilim adamının bu konuda çalışmaları olmuştur. Reinus'a göre çimento hamuru üzerinde etkiyen basınç kuvveti, iğneli yapı sayesinde bir çimento danesinden diğerine aktarılır. Danelerin konumları nedeniyle bazılarının kuvvete dik, bazılarının eğik, bazılarının da paralel olacağını düşünmüştür. Bu düşünceye göre kuvvete eğik konumda olan kristaller daneleri iterek birbirlerinden uzaklaştırmaya çalışır, dik kristallerin ise daneleri çekerek birbirlerine yaklaştırmaya çalışırlar. Çekmeye çalışan bu dik kristallerin uzaması, çimento hamurunun basınç etkisi altında kaldığı zaman yapmış olduğu yanal uzamanın nedenidir. Bu kristallerdeki çekme mukavemetinin düşük olması da çimento hamurunun basınç etkisi altında yapmış olduğu kuvvete paralel çatlak ve yarılmaların nedenidir (Postacıoğlu, 1975).

Bir bağlayıcı maddenin mukavemet kazanması hidratasyon olayıyla ilgilidir. Hidratasyon olayı zamanın bir fonksiyonudur ve ne kadar hızlı gelişirse çimentonun mukavemet alması o kadar çabuk gelişir. Bu nedenle hidratasyon olayını etkileyen faktörler aynı zamanda çimentonun mekanik mukavemetini de etkiler. Mekanik mukavemeti etkileyen en önemli etkenlerden birisi çimentoya katılan su miktarıdır. Çimentoya katılan su miktarı arttıkça hamurun mukavemeti azalmaktadır. Aşağıdaki Şekil 2.5.'de çimento hamurunun mukavemetinin su/çimento oranına göre değişimi verilmiştir (Erdoğan, 2005).



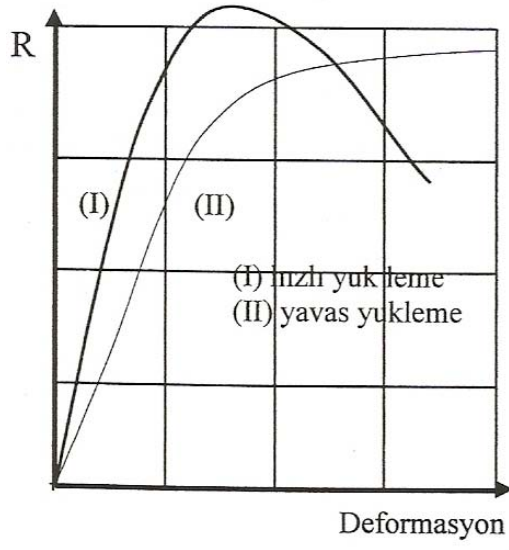
**Şekil 2.5.** Su/Çimento Oranına Bağlı Olarak Beton Basınç Mukavemetinin Değişmesi (Erdoğan, 2005)

Mekanik mukavemeti etkileyen faktörlerden bir diğeri ise çimentonun inceliği ve bileşimidir. İnce öğütülmüş çimentolar diğelerine göre daha hızlı mukavemet almaktadır. Ayrıca bileşiminde kireç bulunan çimentolar, silisi fazla olan çimentolardan daha hızlı mukavemet alırlar ancak uzun sürede son mukavemetlerinde bir değişiklik olmaz (Erdoğan, 2005).

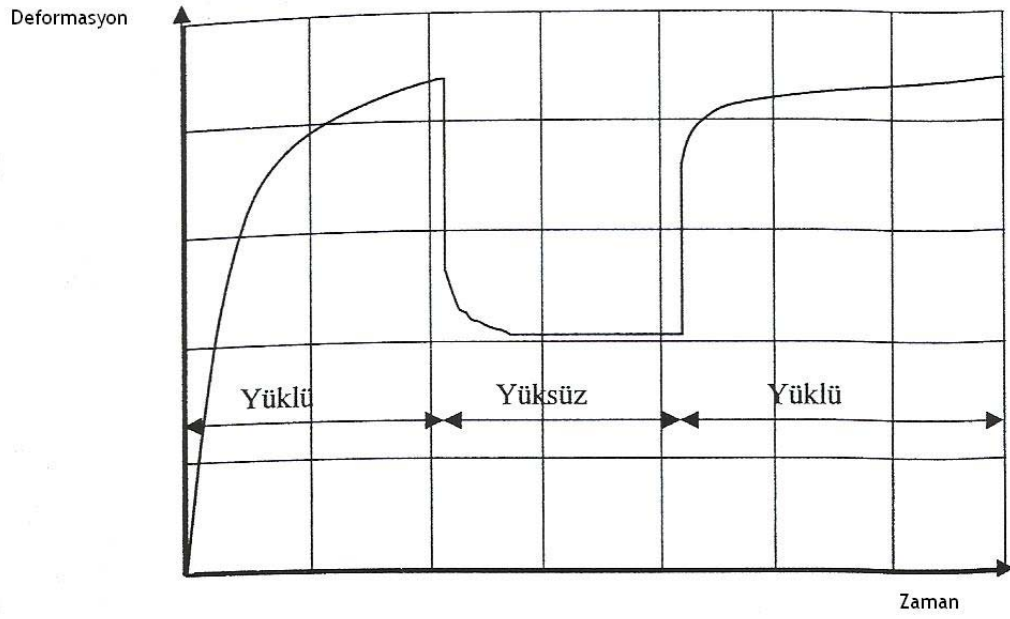
Ayrıca çimento kalitesi, su/çimento oranı, yükleme hızı ve süresi, numune boyutu ve şekli, sıcaklık, zaman ve rutubet de çimentonun mekanik mukavemetini etkileyen diğere unsurlardır (Erdoğan, 2005).

### 2.5.2. Yük Altında Deformasyon

Çimento hamuru sürekli, hızlı ve yavaş yüklemeler altında farklı deformasyon hareketleri gösterirler. Bunun nedeni de jelin içyapısı ile açıklanabilir. Çimento hamuru özellikle sürekli yükler altında krip deformasyonu gösterirler. Krip deformasyonunun sebebi de; sürekli basınç jeldeki katı yüzeyle jel suyu arasındaki kuvvetin dengesini bozarak, yeni denge hali kurulana kadar jel suyunun bir miktarının kapiler boşlulara geçmesi ve buradan da buharlaşmasına sebep olmasıdır. Aşağıdaki Şekil 2.6. ve Şekil 2.7.'de yavaş, hızlı ve sürekli yüklemeler altında çimento hamurunun yaptığı deformasyonlar gösterilmektedir (Kocataşkın, 1965).



Şekil 2.6. Hızlı ve Yavaş Yüklemede Deformasyon Değişimi (Erdoğan, 2005)



Şekil 2.7. Sürekli Yüklemede Deformasyon Değişimi (Erdoğan, 2005).



### **2.5.3. Rötire ve Şişme**

Çimento taneleri su ile karşılaştıkları zaman hidrasyonun oluşmasıyla çimento hamurunun hacminde önemli değişiklikler oluşmaktadır. Çimento jeli içinde bulunduğu ortama göre hacimce büyür veya küçülür. Eğer kuru bir ortam mevcutsa jel suyunda azalma meydana gelir ve büzülme oluşur. Eğer nemli bir ortam mevcutsa jel suyunda bir artış meydana gelir ve şişme olayı oluşur. Ancak kuru ortamda oluşan büzülmenin değeri her zaman için nemli ortamda oluşan şişmeden fazladır. Bu yüzden çimentonun nemli ortamda korunması daha yararlıdır (Ramachandran, 1984).

Rötire ve şişme olaylarının oluşmasının nedeni temelde aynı olmakla beraber, çimento hamuru içerisindeki sıvı miktarının değişmesi sonucu oluşan basınç değişimlerinin oluşturduğu iç kuvvetlerdir. Sertleşmiş çimento hamurundaki iç yüzeylerle su molekülleri arasındaki çekme kuvveti suyun jel yüzeyleri arasında yayılmasına neden olur. Yayılma esnasında çıkacak herhangi bir engel, karşıt yüzeyleri birbirinden itecek basınç değişimleri oluşturur ve çimento hamurunun şişmesine neden olur. Bu durumun tersi olursa, yani çimento hamuru bünyesindeki su uzaklaşırsa, itme kuvvetlerinin azalıp çekme kuvvetlerinin artmasına neden olacaktır ve çimento hamurunda büzülme meydana gelecektir. Meydana gelen rötire ve şişme olayların boyutu, çimento hamuru içerisindeki değişen su miktarıyla orantılıdır (Mavi, 2000).

Çimento hamurunda oluşan rötire ve şişmeyi etkileyen faktörleri, çimento cinsi, agrega cinsi, kullanılan katkıları, su/çimento oranı, sıcaklık, rutubet, numune boyutu ve numune şekli olarak sıralayabiliriz (Postacıoğlu, 1975).

### **2.5.4. Geçirimsizlik**

Sertleşmiş Çimento hamuru içerisinde suyun ve rutubetin geçişini sağlayan iki tür boşluk vardır. Bunlar kapiler boşluklar ve jel boşluklarıdır. Bunlardan jel boşlukları, kapiler boşluklara oranla çok daha ufaktır ve içerisinde giren suyun bağlarla yüzeye yapışmasına neden olarak dışarı çıkmasına izin vermezler. Bu yüzden su ve rutubet akışında çok önemli bir rol oynamazlar. Diğer boşluk çeşidi olan kapiler boşlukların boyutları ise daha çeşitlidir ve çimento hamurunun geçirimsizliğini sağlarlar. Ancak çimentonun geçirimsizliğini saptamak için bu boşlukların miktarını bilmek tek başına yeterli olmamaktadır (Erdoğan, 2005).

Geçirimsizliği etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar; çimentonun özellikleri, agrega granülometrisi, çimento dozajı, su/çimento oranı, kullanılan katkı maddelerinin özellikleri, rutubet ve sıcaklık olarak sıralanabilir (Kocataşkın, 1965).

#### **2.5.5. Donmaya Karşı Dayanıklılık**

Sertleşmiş çimento hamurunun donmaya karşı dayanıklılığı bünyesinde bulunan suyun etkisine bağlıdır. Jel boşluklarında bulunan su katı yüzeylerin çekimi altında olduğundan sıfır derecenin altında bile donmaz ve çimento hamuru için bir tehlike yaratmaz. Ancak kapiler boşluklardaki su, dış yüzeyden içeri doğru donmaya başlar ve jel boşluklarındaki suyu da kendine çekerek hacmini artırır. Kapiler boşluklarda oluşan bu hacim artışı boşluğun çevresinde basınç etkisi yapar. Böylelikle donan su çimento hamurunda çatlamalar oluşmasına neden olur (Erdoğan, 2005).

Sertleşmiş çimento hamurunun donmaya karşı dayanıklılığı hamurun bünyesinde bulunan su/çimento oranına ve hamur içerisine sürüklenmiş olan hava miktarına bağlıdır (Erdoğan, 2005).

#### **2.5.6. Kimyasal Etkilere Karşı Dayanıklılık**

Bağlayıcı maddelerde aranan en önemli özelliklerden birisi mekanik mukavemetinin yüksek olması ve bunu zamanla kaybetmemesidir. Bağlayıcı olarak kullanılan çimento bazı nedenlerden dolayı oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda mukavemetini kaybedebilirler. Ancak çimentonun bu kimyasal etkilere karşı olan dayanıklılığını ölçmek zordur ve ölçme yöntemleri ise sürede sonuç veren yöntemler değildir. Bu konuda bilgi almanın en kolay yolu çimentonun kimyasal bileşimine bakmaktır. Daha önce yapılmış deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verileri kullanarak ve çimentonun kimyasal bileşenlerine bakarak bu konuda bir sonuca varılabilir. Örneğin; bileşiminde kireç oranı az olan veya tras ilave edilmiş çimentolar karbondioksitli sulara karşı daha dayanıklıdır. Ayrıca traslı ve C<sub>3</sub>A oranı az olan çimentolar sülfatlı sulara karşı daha dayanıklıdır (Kocataşkın, 1965).

Çimento harçları imalatın hemen hemen her aşamasında ve kullanım alanlarında çeşitli kimyasal maddelerle temasa geçebilir ve korozyona maruz kalabilirler. Genel olarak bütün asitlerin zararlı, bütün bazların zararsız olduğunu söyleyebiliriz. Bu nedenle çimento ve harçlar uygun şartlarda korunmalıdır (Postacıoğlu, 1975).

Kimyasal etkilerden en önemlilerinden birisi de çimento harç, hamur ve betonlarının havadaki karbondioksitle reaksiyonudur. Bu oluşan reaksiyonun hem yararlı hem de zararlı yönleri bulunmaktadır. Mukavemet ve sertliğin artmasına yardımcı olarak oluşan çatlakların kendiliğinden tamir olmasını sağlar. Ancak betondaki büzülmelere ve çeşitli ağırlık artmalarına neden olur (Postacıoğlu, 1975).

### **3. HARÇLAR**

Harç, temel olarak kum, su ve bağlayıcı malzemelerden oluşmaktadır. Geniş bir tanım yapacak olursak, bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi suyun belirli oranlarda karıştırılması ile oluşan ve katılma özelliği bulunan hamurlara harç denir. [8] Diğer bir tanımda ise; bağlayıcı malzeme, kum, su ve ihtiyaca göre katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılması ile oluşan ve mukavemet, aderans, doluluk, geçirimsizlik ve dış etkilere karşı dayanıklılık gibi özellikleri bulunan hamurlara harç denir (Mavi, 2000).

#### **3.1. Harçların Dayanımı ve Dayanıklılığı**

Harçların dayanımını belirleyen iki ana unsur vardır. Bunlar harcın mekanik dayanımı ve aderansdır. Bu iki unsuru etkileyen faktörler doğrudan harcın dayanımını da etkiler. Harç içinde kullanılan kumun granülometrii, su/çimento oranı, bağlayıcının mukavemeti ve harcın doluluk oranı mekanik mukavemeti etkileyen faktörlerdir. Aderansı etkileyen faktörler ise, harcı yapılandırıldığı yüzeyin pürüzlülüğü ve harcın yapışma yeteneğidir (Erdoğan, 2005).

Harcın dayanımı etkileyen bir diğer faktör ise sertleşme sırasındaki oluşan hacim değişikliğidir. Kullanılan bağlayıcı cinsine göre bu hacim değişikliğinin miktarı da değişir. Bağlayıcı olarak kullanılan çimento kullanılan harçlar da % 0,08-0,12 oranında rötre meydana gelmektedir. Oluşan rötre sonucunda çatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar harç dayanımının düşmesine neden olmaktadır. Rötre oluşmasını engellemek için çimento dozajı azaltılmalı ya da ıslak kür uygulanmalıdır. Harçta meydana gelen hacim genişlemeleri de aynen rötre gibi dayanımı düşüren bir diğer etkendir. Harçta oluşan şişmeler yüzey ile harç arasında hava boşlukları oluşmasına neden olmaktadır. Bu oluşan hava boşlukları da çatlaklara ve harç dökülmelerine neden olmaktadır (Erdoğan, 2005).

Harçların dayanıklılığına gelince; bir harcın dayanıklılığını anlayabilmek için öncelikle maruz kaldığı çevresel, kimyasal, biyolojik ve mekanik etkilere bakmak gerekir. Bina cephelerinde uygulanan harçların maruz kaldığı etkiler şunlardır:

1. Çevresel etkiler;

- Yağışlar
- Güneş
- Rüzgar

2. Mekanik faktörler

- Deprem
- Mekanik aşınmalar

3. Kimyasal faktörler

- Gazlar
- Hava kirliliği

4. Biyolojik faktörler

- Hayvanlar
- Bitkiler

Sertleşme sırasındaki hidrasyon olayı için su gereklidir. Ancak uzun süreli suya maruz kama harçlarda aşınmalar meydana gelir. Özellikle kar etkisinde kalan cephelerde donma kaynaklı çatlamlar oluşur. Harç bünyesine giren su donar ve genişleyerek çatlak oluşumuna neden olur. Bir diğer yağış biçimi olan dolu ise daha çok mekanik etki yarattığı için aşınmaya neden olur. Güneş ve rüzgar ise harç içinde bulunan suyu buharlaştırdığı için doğrudan hidrasyonu etkiler. Deprem ne aşınmalar ise mekanik etki yaratır ve cephede çatlak ve kırılmalara neden olur (Erdoğan, 2005).

Harcın bu sayılan faktörlere karşı dayanıklı olabilmesi için geçirimsizliğinin düşük, doluluk oranının yüksek olması gerekir. Ayrıca yüzeyi nefes alabilmeli, buhar geçirgenliği, aderansı ve mekanik etkilere karşı dayanımı yüksek olmalıdır. Bünyesine su geçmemesi için yüzeyi de kaygan olmalıdır. Oluşabilecek ısı

değişimleri karşısında hacim değişikliği yapmaması için de elastik bir yapıya sahip olmalıdır (Erdoğan, 2005).

### 3.2. Harçların Sınıflandırılması

Harçların sınıflandırılmasını kullanılan bağlayıcı malzemenin cinsine ve kullanım alanına göre olmak üzere iki türde sınıflandırabiliriz. Kullanılan bağlayıcı malzeme cinsine göre; çimento, kil, alçı, puzolanik, melez ve kireç harçları olarak altı grupta sınıflandırabiliriz. Bu tür harçların karışım oranları Tablo 3.1.'da verilmiştir (Kocataşkın, 1965).

**Tablo 3.1.** Harç Karışım Oranları (Kocataşkın, 1965)

Harç Cinsi	Hacim Oranları					
	Kil	Tras	Kireç	Alçı	Çimento	Kum
Kil Harcı	1	-	-	-	-	-
Puzolanik Harç	-	2,5-3,5	5-7	-	-	3-6
Kireç Harcı	-	-	1	-	-	3
Alçı Harcı	-	-	-	1	-	0-4
Çimento Harcı	-	-	-	-	1	3-4-6
Melez Harç	-	-	1,5-2	-	1	8

Harçları, kullanım alanı bakımında 3 ayrı başlıkta toplayabiliriz.

- Duvarcılık Harçları : Duvar işinde kullanılan harçların temel olarak iki görevi vardır. Birincisi; harç yatay veya yataya yakın bir konumda ise taş ve tuğlaların etkisi altında bulunduğu kuvvetlerin aktarımını sağlamaktır. Diğer görevi ise; harç düşey veya düşeye yakın bir konumda ise taş ve tuğlaları birbirine bağlamaktır. Harcın bu iki görevi yerine getirebilmesi için aşağıdaki fonksiyonlara sahip olması gerekir.

- İşlenebilir ve plastiklik özelliğine sahip olması,
- Doluluk oranının yüksek olması,
- Geçirimsiz olması,

- Belirli bir mukavemete sahip olması.

Mukavemet şartının aranması konusunda iki hayrı husus vardır. Birincisi eğer duvar kendi ağırlığından başka ağırlık taşıyorsa harcın belirli bir mukavemete sahip olma zorunluluğu yoktur. Ancak eğer duvar taşıyıcı özellikteki bir duvar ise kullanılan harcın da belirli bir mukavemet değerinin üzerinde olması gerekir (Postacıoğlu, 1975).

- Sıvalar : Sıvaların iki ayrı kullanım amacı vardır. Birincisi görsel olarak güzel bir görüntü elde etmektir. İkincisi ise yapıyı yağmur, yeraltı suyu, hava gibi dış etkenlerden korumak ve sert bir yüzey elde etmektir.

Sıvada kullanılan kumun en büyük boyutu 0,5 – 1,5 mm arasında değişebilir. Ayrıca sıvaların istenilen şartları sağlayabilmesi için 3 ayrı tabaka halinde uygulanması gerekir. Ancak duvarın çok düzgün olması durumunda da tek tabaka halinde uygulanabilir. Sıva tabakalarının kalınlıkları Tablo 3.2.'da verilmiştir (Postacıoğlu, 1975).

**Tablo 3.2.** Sıva Tabakaları (Postacıoğlu, 1975).

Tabaka	Tabaka Kalınlığı	Bağlayıcı Madde Dozajı (kg)	
		Çimento	Yağlı Kireç
1. tabaka	2-3 mm	660-425	75
2. tabaka	8-20 mm	250-175	250-175
3. tabaka	10 mm'den az	175-125	175-125

Bu üç tabakadan birincisinin fonksiyonu duvar ile sıva arasındaki aderansı sağlamaktır. Uygulanan ikinci tabaka asıl sıvayı oluşturur. Duvardaki girinti çıkıntılarının ve yamuklukların giderilmesini ikinci tabaka sağlar. Üçünü ve son tabakanın görevi ise tamamen düz bir yüzey elde etmek ve istenilen görselliği sağlamaktır. Tabakaların uygulanması için aralarında en az 24 saat geçmesi gerekmektedir.

- Şaplar : Şaplar yapıda sızdırmazlığı sağlarlar ve sadece çimento ile üretilen harçlardır. Şaplarda aranan özellikler şunlardır:

- Aderansı yüksek olmalı,

- İstenilen mukavemet değerine sahip olmalı,
- Geçirimsiz olmalı

Şaplarda çimento dozajı fazla olduğu ve büyük tabakalar halinde uygulandığı için rötre büyük değerler alabilir. Bu nedenle uygulama sırasında önlemler alınmalıdır (Postacıoğlu, 1975).

### 3.3 Bağlayıcılar

Su ile karıştırıldıkları zaman kırma taş, çakıl ve kum gibi dolgu malzemelerini birbirine bağlayarak plastik hamur kıvamı veren ve sonrasında sertleşerek yapay taş oluşmasını sağlayan maddelere bağlayıcı adı verilmektedir. Bağlayıcı malzemeler genellikle toz halinde bulunmaktadır. Bağlayıcı maddeler sertleşme gerçekleştirdikleri ortama göre iki ana grupta toplanabilirler (Mavi, 2000).

- Havada katılaşabilme özelliği olan bağlayıcılar (alçı, hava kireci)
- Hem havada hem suda katılaşabilme özelliği olan bağlayıcılar (su kireci, çimento ve puzolanlar)

Bağlayıcıları çimento, alçı, kireç ve puzolanlar olmak üzere 4 ayrı grupta toplayabiliriz. Çimento, alçı ve kireç direk olarak bağlayıcı malzeme olarak kullanabilirler. Ancak puzolanlar tek başlarına bağlayıcı özelliği sahip değildir. Puzolanlar, başka bir bağlayıcı ile birlikte kullanıldıkları zaman bağlayıcı özellik kazanırlar (Mavi, 2000).

#### 3.3.1 Alçı,

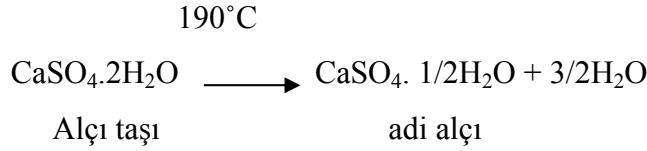
Kullanılan en eski bağlayıcı maddelerden birisi de alçıdır. Ancak günümüz bağlayıcı olarak kullanılmamaktadır. Alçıyı genel olarak, alçı taşının çeşitli sıcaklıklarda pişirilmesi sonucunda oluşan, su ile karıştırıldığında katılaşabilen beyaz renkli inorganik esaslı bir malzeme olarak tanımlayabiliriz (Erdoğan, 2005).

Alçı, kullanım yerine göre yapı alçısı, kalıp alçısı ve saplı alçı olmak üzere 3'e ayrılır. Alçı için bir diğer sınıflandırma da saflık derecesine göredir. Alçılar saflık derecesine göre %60–100 arasında olmak üzere 4'e ayrılırlar (Erdoğan, 2005).

Alçının hammaddesi doğadaki alçı taşı veya jips ve anhidrittir. Alçı taşı  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  'dur, anhidrit ise  $\text{CaSO}_4$  'dür. Öncelikle jips  $190^\circ\text{C}$  civarında pişirilir ve aşağıdaki



reaksiyon gerçekleşerek alçı dediğimiz beyaz renkli malzeme elde edilir (Akman, 1987).



Sıcaklık  $200^{\circ}\text{C}$  'nin üzerine çıkarsa alçı taşı suyunu tamamen kaybeder ve elde edilen toz bağlayıcı özelliğinde olmaz. Priz yapma yeteneği yoktur. Ancak sıcaklık  $600^{\circ}\text{C}$  'yi aştığı zaman elde edilen ürün dayanıklı bir alçı üretiminde kullanılabilir. Bu aşamada elde edilen, kristal suyu içermeyen alçıya döşeme alçısı veya Keene Çimentosu denilir. Alçının sertleşmesi yukarıda yazılı olan reaksiyonun ters reaksiyonu şeklinde oluşur (Akman, 1987).

Alçı su ile karıştırıldığı zaman toz haline göre hacminde artma meydana gelir. Ancak katılma sırasında hacim değişikliği göstermez. Alçı çok hızlı hidrate olan bir malzemedir. Normal şartlar altında 3–15 dakika içerisinde hidrasyonunu tamamlar. Hızlı hidrasyon sunucunda büyük kristaller oluşur ve bu nedenle de mukavemeti düşüktür. Hidrasyonu geciktirmek için sıcaklık  $60^{\circ}\text{C}$  'nin üzerinde olmalı ya da zayıf asitler, alkol, kazein gibi katkıları kullanılmalıdır (Akman, 1987).

### 3.3.2 Kireç

Kireç de tıpkı alçı gibi çok eskiden beri kullanılan bir bağlayıcıdır. Ancak kireç havada dayanım kazanır, suya dayanıksızdır ve alçı gibi düşük mukavemetlidir (Erdoğan, 2005).

Kalker taşı ve tebeşir gibi  $\text{CaCO}_3$  (Kalsiyum karbonat) kökenli maddelerin yanmasıyla beyaz, dolomit gibi  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  (Magnezyum karbonat) kökenli maddelerin yanmasıyla esmer ve dayanımı daha yüksek kireç elde edilir (Postacıoğlu, 1975).

Üretim yöntemine göre kireci 4 ayrı grupta toplayabiliriz:

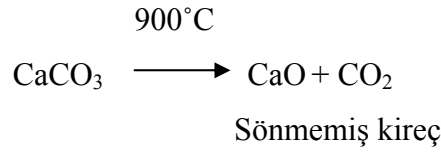
- Çalı kireci : Alevli ateşte pişirilmiş ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) ve söndürülmesi kolaydır.
- Kömür kireci : Kömürde pişirilmiş ( $1400^{\circ}\text{C}$ ) ve söndürülmesi zordur.
- Mermer kireci : Hammaddesi saftır ve daha fazla sönmüş kireç elde edilir.

- Esmer kireç : %10 civarında yabancı madde içerir.

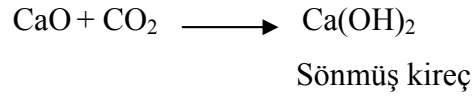
Ayrıca kireci içerisinde bulundurduğu kil oranında göre de ikiye ayırabiliriz. Birincisi havada katılaşabilen hava kireci (yağlı kireç), ikincisi de hem suda hem havada katılaşabilen su kirecidir (hidrolik kireç) (Postacıoğlu, 1975).

Kirecin üretiminde iki ana aşama vardır. Bunlar kirecin yakılması ve söndürülmesidir.

Yakma İşlemi :

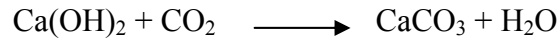


Söndürme İşlemi :



Yakma işlemi kireç ocaklarında kömür ve odun kullanılarak ya da fabrikalarda sıvı yakıt kullanılarak yapılır. Söndürme işlemi ise teknelerde ve kireç kuyularında ya da fabrikalarda su püskürtülerek yapılmaktadır (Postacıoğlu, 1975).

Kirecin priz alması üç aşamada gerçekleşir. Bunlar kuruma, kristalleşme ve karbonatlaşmadır. Kuruma ve kristalleşme geri dönüşümlü reaksiyonlardır ve tekrar su ile karşılaşınca yumuşama gerçekleşir. Asıl sertleşme karbonatlaşma ile olur.



Bu reaksiyon çok yavaş gerçekleşir ve reaksiyon esnasında ortamda havanın ve özellikle CO<sub>2</sub> 'nin varlığı zorunludur. Bu nedenle kireç havada sertleşen bir bağlayıcı sıfatını almaktadır. Eğer bu kuruma hızlı gerçekleşirse rötre çatlakları meydana gelir.

Kireç harçları tıpkı alçı harçları gibi düşük dayanımlıdır ve suya karşı dayanıksızdır. Su karşısında çözülebilmektedirler. Bu nedenle tek başına bağlayıcı olarak kullanılmazlar. Genellikle çimentoyla karıştırılarak kullanılırlar (Postacıoğlu, 1975).

### 3.3.3 Puzolanlar

Puzolanlar tek başlarına kullanıldıkları zaman bağlayıcı özelliği olmayan ancak kireç veya çimento gibi diğer bağlayıcı malzemelerle karıştırılınca su ile yaptıkları

reaksiyon sonucunda bağlayıcı özellik kazanan malzemelerdir. Bunun nedeni, kirece su eklenmesi sonucunda puzolanların bu malzemelerin içindeki serbest kireçle reaksiyona girmesidir. Puzolanların içinde fazla miktarda koloidal halde silis ve alumin bulunmaktadır (Şahan, 2006).

Puzolanlar tabii ve suni olmak üzere iki ayrı grupta toplanabilirler.

Tabii puzolanlar;

- Volkanik puzolanlar
- Tras
- Gaize
- Toz halindeki bazı lavlar ve volkanik kökenli kumlardır.

Yapay puzolanlar ise öğütülmüş tuğla dışında termik santral baca külleri, silis dumanı ve yüksek fırın cürufudur (Şahan, 2006).

### **3.4 Dolgu Malzemeleri**

Dolgu malzemeleri harç, sıva ve beton yapımında bağlayıcı malzemelerle birlikte kullanılan, toplam hacmin yaklaşık %60–80 ‘ini oluşturan mineral kökenli ve farklı boyutlara sahip malzemelerdir (Akman, 1987)

Agregalar doğal yolla elde edildiği gibi yapay agrega elde etmek de mümkündür. Doğal agregaları kum ve çakıl olarak, yapay agregaları da kırma taş ve taş tozları olarak sınıflandırabiliriz. Ayrıca agregaları ince ve kaba olarak iki gruba ayrılırlar. Genel olarak 4,75 mm’den küçük olan agregalar ince agrega, 4,75 mm ile 40 mm arasında olanlar da iri agrega olarak adlandırılır. Kum ince agrega sınıfına girer. Çakıl ve kırmataş ise iri agrega sınıfına girerler (Akman, 1987)

Kullanılan agreganın niteliği, üretilen harç ve betonun nitelikleri açısından çok önemlidir. Dolgu maddesinin boyutu, dayanıklılığı, içeriği harç ve beton mukavemetini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Dere kumu en uygun agrega çeşididir. Deniz kumları ise homojen, temiz ve ince olmasına rağmen içeriğinde tuz bulundurduğu için harç mukavemetini düşürür. Toprakten elde edilen kum ise içerisinde olabilecek kil nedeniyle yıkandıktan sonra kullanılmalıdır (Mavi, 2000).

Agrega boyutları harcın mukavemetini ve kullanılacak bağlayıcı miktarını doğrudan etkilemektedir. Küçük boyutlu agregalar kullanıldığında zaman toplam agregalar yüzeyi artacağından kullanılacak bağlayıcı miktarı da artacaktır. Ancak ince agregalarla iri agregalar iyi belirlenmiş oranlarda karıştırılarak kullanıldıkları zaman, agregalar yüzeyini saran bağlayıcı miktarı ve sertleşme sırasında oluşan hacim değişimi az olacağından mukavemet de artacaktır (Gani, M).

Ayrıca agreganın biçimi de harcın dayanımını etkileyen faktörlerden birisidir. Köşeli olan agregalar, sürtünme miktarı ve buna bağlı olarak sağlamlığın artması nedeniyle daha çok tercih edilirler (Gani, M).

### **3.5 Katkı Malzemeleri**

Katkı maddeleri, harç, sıva ve betonlara istenen bazı özellikleri kazandırmak ya da sahip oldukları özelliklerin kazanılmasını hızlandırmak için agregalar, bağlayıcı ve su haricinde karışım öncesi veya sonrası eklenen maddelerdir. Katkı maddeleri kimyasal katkılar ve mineral katkılar olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Erdoğan, 2005).

#### **3.5.1. Kimyasal Katkılar**

- Akışkanlaştırıcılar; Taze harç ve betonların işlenebilirliğini artıran ve daha az su ile istenilen kıvamın elde edilmesini sağlayan katkılardır. Bu katkılar çimento daneleri tarafından absorbe edilirler. Böylece danelerin birbirinden ayrılıp dağılmasını ve su itmesini engelleyerek daha kolay ıslanmalarını sağlarlar. Bir karışıma bu katkının katılması akışkanlığı artıracığı için ihtiyaç olan su miktarının azalmasına ve dolayısıyla mukavemetin ve homojenliğin artmasına neden olmaktadır (Kocataşkın, 1965).
- Priz geciktiriciler; Bu katkılar, yalancı prizi önlemek ve sıcak havda beton dökmek gibi amaçlarla kullanılırlar. Taze harcın katılaşmaya başlama sürecini uzatmaya yararlar (Kocataşkın, 1965).
- Priz hızlandırıcılar; Bu katkılar harcın katılaşma sürecini kısaltırlar. En bilinen priz hızlandırıcı  $\text{CaCl}_2$ 'dir. Yoğurma suyuna katılmak suretiyle %2-3 oranında kullanılırlar ve maksimum mukavemete 1-3 arasında ulaşılmasını

sağlarlar. Erken kalıp almada ve soğuk havada yapılan dökümlerde tercih edilen bir katkıdır (Kocataşkın, 1965).

- Antifirizler; Kullanılan çimentonun donmasını önlerler ve böylelikle don sebebiyle çimentonun mukavemet kazanmasındaki aksamayı engellerler (Ramachandranan, 1984).
- Hava sürükleyiciler; Çimento harcına veya betona hava sürükleyici katkı ilavesi, çok sayıda ve yayılmış şekilde küçük hava kabarcıklarının oluşmasına neden olur. Bu hava kabarcıklarının oluşması sertleşmiş harç ve betonların özelliklerinde önemli değişikliklere neden olur. İşlenebilirliğin ve kohezyonun artmasına neden olarak ayrışmanın engellenmesini sağlar. Mukavemette ufak miktarda düşme olsa da donmaya karşı dayanıklılık da önemli derecede artış olmaktadır (Ramachandranan, 1984).
- Geçirimsizlik katkıları; Çimento hamuru, harç ve betonlarda su geçirimsizliğini azaltmak ve işlenebilirliği artırmak için kullanılan katkılardır (Ramachandranan, 1984).

### **3.5.1. Mineral Katkılar**

Öğütülmüş halde bulunan ve çimento gibi silolarda depolanan uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve tras gibi çeşitli ürünlerin yan ürünü olan maddeler mineral katkıları olarak adlandırılırlar. Tek başlarına bağlayıcı özellikleri olmayan mineral katkıları, ancak çimento gibi başka bir bağlayıcı malzeme ile kullanıldıklarında bağlayıcı özellik kazanırlar (Kocataşkın, 1965).

#### **4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Bu çalışma, çimento harçlarının mineral katkıları kullanarak niteliklerinin iyileştirilmesi ve kullanılan değişik katkılarla harçların klor geçirgenliklerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır.

##### **4.1 Deney Programı**

Deneysel çalışmada aynı dayanım sınıfında iki farklı çimento, üç farklı mineral katkı, maksimum dane büyüklüğü 4 mm olan yıkanmış dere kumu ve şebeke suyu ile 32 farklı karışımda harç hazırlanmıştır. Suyun etkisinin araştırılması amacı ile de iki farklı su miktarı içeren harçlar üretilmiştir. Taze harçlarda yayılma miktarı, sertleşmiş harçlarda ise ultrases geçiş hızı, kılcal su emme, hızlı klorür geçirgenliği, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

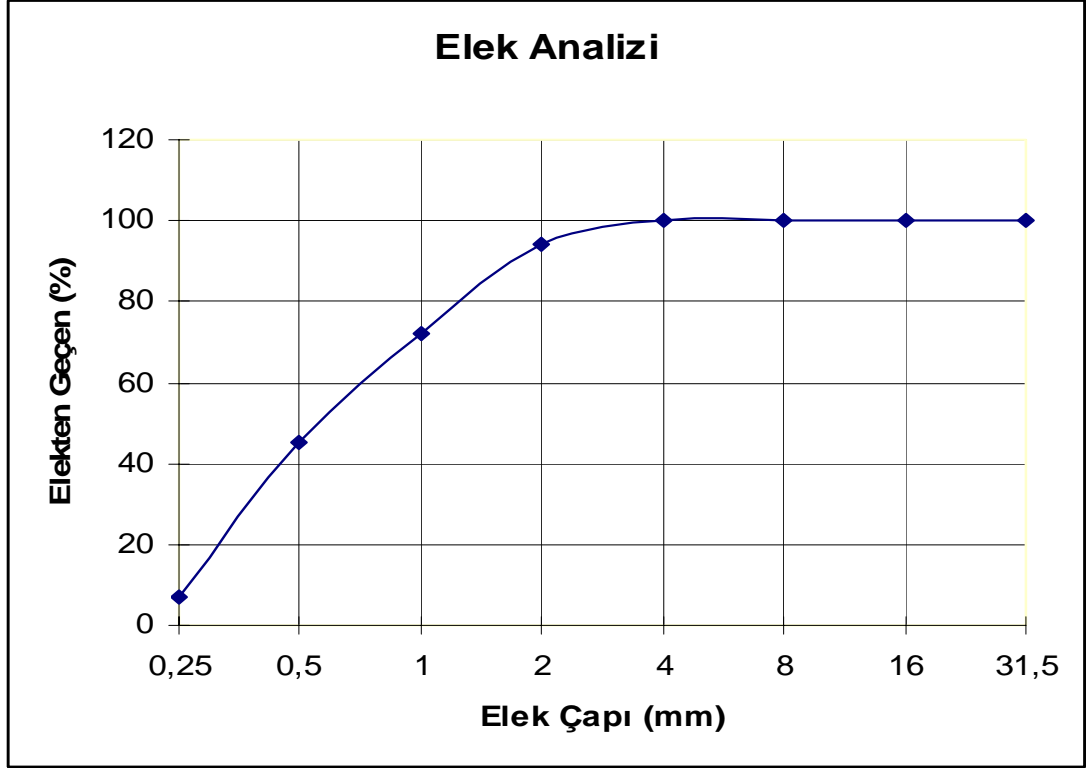
Üretilen harçlardan her bir deney için üçer adet 40x40x160 mm boyutlarında prizma, ikişer adet 100/200 mm boyutlarında silindir numuneler hazırlanmıştır. Üretimden 24 saat sonra kalıptan çıkartılan numuneler, standart koşullarda su içerisinde saklanmış, deneylerden bir gün önce sudan çıkartılarak oda sıcaklığındaki laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Prizma numunelerde 28. Günde ses geçiş süresi ölçümü, eğilme ve basınç dayanımları deneyleri yapılmıştır. Silindir numuneler ise 28. Günde sudan çıkartılmış, deneyin yapılacağı 40. Süne kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Bu numuneler 51 mm kalınlığında diskler halinde kesilerek kılcal su emme ve hızlı klorür geçirgenliği deneyleri yapılmıştır.

##### **4.2 Kullanılan Malzemeler**

Yapılan deneylerde kum, iki ayrı çimento, yüksek fırın cürufu, tras ve uçucu kül kullanılmıştır.

#### 4.2.1 Kumun Özellikleri

Yapılan deneylerde agrega olarak granülometrisi Şekil 4.1.'de verilen, özgül ağırlığı  $2,62 \text{ gr/cm}^3$  olan yıkanmış dere kumu kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Kumun Granülometri Eğrisi

#### 4.2.2 Çimentonun Özellikleri

Harç üretiminde fiziksel özellikleri Tablo 4.1.'de, Kimyasal bileşenleri Tablo 4.2.'de verilen, Set Çimento Ambarlı Tesisleri'nden temin edilen CEMIV/B(P) 32,5R tipi puzolanik çimento ve SDC 32,5 tipi çimento kullanılmıştır. Yapılan özgül ağırlık deneyleri sonucunda her iki çimentonun da özgül ağırlıkları  $3,16 \text{ gr/cm}^3$  olarak belirlenmiştir. Çimentolar arasındaki en büyük fark bileşimlerinde bulunan  $C_3A$  yüzdesidir.

#### 4.2.3 Yüksek Fırın Cürufunun Özellikleri

Harç Üretiminde kullanılan yüksek fırın cürufu öğütülmüş olup Set Çimento Ambarlı Tesisleri'nden temin edilmiştir. Yapılan özgül ağırlık deneyi sonucunda yüksek fırın cürufunun özgül ağırlığı  $2,89 \text{ gr/cm}^3$  olarak belirlenmiş ve kimyasal bileşenleri Tablo 4.3.'de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Çimentoların Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	Birim	SDÇ 32,5	CEM IV/B (P) 32.5 R
Priz Başlangıcı	dakika	159	187
Priz Sonu	dakika	204	223
Hacim Genleşmesi	mm	1	1
Özgül Yüzey (Blaine)	cm <sup>2</sup> /g	3000	4660
Litre Ağırlığı	g/l	1020	880
2 Günlük Dayanım	N/mm <sup>2</sup>	25	15
28 Günlük Dayanım	N/mm <sup>2</sup>	57	40
Özgül Ağırlık	gr/cm <sup>3</sup>	3,16	3,16

**Tablo 4.2.** Çimentoların ve Mineral Katkıların Kimyasal Bileşenleri

Kimyasal Bileşenler	Çimento Tipi		Mineral Katkı Tipi		
	CEMIV/B(P) 32,5R	SDÇ 32,5	Yüksek Fırın Cürufu	Uçucu kül	Tras
K.K (%)	1,25	3,14	0,17	0,88	9,58
SiO <sub>2</sub> (%)	22,93	20,91	38,12	45,14	64,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,37	4,79	13,57	22,21	12,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,47	3,56	0,74	14,71	1,68
CaO (%)	63,92	63,14	36,12	10,42	2,49
MgO (%)	0,82	0,87	6	3,46	1,82
SO <sub>3</sub> (%)	1,91	3,12	0,4	2,68	0,02
K <sub>2</sub> O (%)	0,52	0,72	0,93	1,38	3,84
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,40	0,36	0,48	0,18	1,6
CA (%)	4,00	6,70	-	-	-

#### 4.2.4 Trasin Özellikleri

Üretimlerde kullanılan tras Set Çimento Ambarlı Tesisleri'nden temin edilmiştir. Yapılan özgül ağırlık deneyi sonucunda trasın özgül ağırlığı 2,27 gr/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiş ve kimyasal bileşenleri Tablo 4.2.'de verilmiştir.



#### **4.2.5 Uçucu Külün Özellikleri**

Harç üretiminde kullanılan uçucu kül Set Çimento Ambarlı Tesisleri'nden temin edilmiştir. Yapılan özgül ağırlık deneyi sonucunda uçucu külün özgül ağırlığı 2,17 gr/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiş ve kimyasal bileşenleri Tablo 4.2.'de verilmiştir.

#### **4.3 Numunelerin Kodlanması**

Numuneler çimento cinsine (C, S), mineral katkı türüne (Y, T, K), katkının oranına (a, o, c) ve su miktarına göre (o, w) olarak kodlanmıştır. Bu kodlamada C ile CEMIV/B(P) 32,5R çimentosu, S ile SDÇ 32,5 çimentosu, Y ile yüksek fırın cürufu, T ile tras, K ile uçucu kül, a ile az oranda katkı, o ile orta oranda katkı, c ile yüksek oranda katkı, o ile 225gr su kullanılan karışım, w ile 292,5 gr su kullanılan karışım ifade edilmiştir.

#### **4.4 Harç Karışım Oranları**

Harç üretiminde yapılan bütün karışımlarda 1350'şer gram kum kullanılmıştır. Karışımlarda belirli oranlarda çimento çıkartılarak yerlerine yine belirli oranlarda tras, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu eklenmiştir. Böylelikle bu katkıların harç özellikleri üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. İki ayrı çimento kullanılmıştır ve bu çimentoların arasındaki tek fark bileşimlerindeki C<sub>3</sub>A oranıdır. Böylelikle çimento bileşiminde bulunan C<sub>3</sub>A'nın da harç özelliklerine olan etkisi gözlemlenmiştir. Bütün karışımlar için iki ayrı su miktarı kullanılmıştır. Her karışım için hem 225 gr su, hem de 292,5 gr su kullanılmıştır. Su/çimento oranının harç özellikleri üzerindeki etkisine bakılmıştır. Hazırlanan harçlarda kullanılan malzemeler ve oranları Tablo 4.3.'de verilmiştir.

**Tablo 4.3.** Harç Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Karışım Oranları

Karışım No	Çimento Cinsi	Kum Miktarı (gr)	Çimento Miktarı (gr)	Yüksek Fırın Cürufu Miktarı (gr)	Tras Miktarı (gr)	Kül Miktarı (gr)	Su Miktarı (gr)	Su / Bağlayıcı oranı	Yayıma Miktarı (cm)
Co	CEMIV/B(P) 32,5R	1350	450	0	0	0	225	0,50	13,5
Co+Ya		1350	405	45	0	0		0,50	12,2
Co+Yc		1350	405	112,5	0	0		0,43	11,2
Co+Yo		1350	360	108	0	0		0,48	11,8
Co+Ta		1350	405	0	45	0		0,50	12,3
Co+Tc		1350	405	0	112,5	0		0,43	10,4
Co+Ka		1350	405	0	0	45		0,50	14,6
Co+Kc		1350	405	0	0	112,5		0,43	13,0
Cw	CEMIV/B(P) 32,5R	1350	450	0	0	0	292,5	0,65	19,4
Cw+Ya		1350	405	45	0	0		0,65	19,4
Cw+Yc		1350	405	112,5	0	0		0,57	19,2
Cw+Yo		1350	360	108	0	0		0,63	19,3
Cw+Ta		1350	405	0	45	0		0,65	21,0
Cw+Tc		1350	405	0	112,5	0		0,57	15,3
Cw+Ka		1350	405	0	0	45		0,65	23,2
Cw+Kc		1350	405	0	0	112,5		0,57	18,4
So	SDÇ 32,5	1350	450	0	0	0	225	0,50	12,7
So+Ya		1350	405	45	0	0		0,50	13,7
So+Yc		1350	405	112,5	0	0		0,43	12,3
So+Yo		1350	360	108	0	0		0,48	13,6
So+Ta		1350	405	0	45	0		0,50	13,1
So+Tc		1350	405	0	112,5	0		0,43	10,2
So+Ka		1350	405	0	0	45		0,50	15,0
So+Kc		1350	405	0	0	112,5		0,43	13,5
Sw	SDÇ 32,5	1350	450	0	0	0	292,5	0,65	18,0
Sw+Ya		1350	405	45	0	0		0,65	22,8
Sw+Yc		1350	405	112,5	0	0		0,57	19,3
Sw+Yo		1350	360	108	0	0		0,63	21,5
Sw+Ta		1350	405	0	45	0		0,65	19,2
Sw+Tc		1350	405	0	112,5	0		0,57	16,4
Sw+Ka		1350	405	0	0	45		0,65	21,3
Sw+Kc		1350	405	0	0	112,5		0,57	20,7

Karışım hazırlanırken karıştırıcıya öncelikle su, çimento ve eğer o karışımda mevcutsa katkı maddesi eklenmiştir. Bu şekilde 30 saniye yavaş hızda karıştırıldıktan sonra 30 saniye boyunca kum eklenmiş ve 1 dakika boyunca hızlı karıştırma yapılmıştır. Hızlı karıştırma sonunda karıştırıcı durdurularak 15 saniye boyunca mala

ile kabın cidarları temizlenip 75 saniye boyunca üstü kapalı bir şekilde bekletilmiştir. Son olarak 1 dakika daha hızlı karıştırma işlemi yapılarak karışım hazırlanmıştır. Karışım hazırlandıktan sonra öncelikle yayılma sehpasında yayılma miktarı ölçülmüş ve karışım kalıplara konularak yerleştirilmesi yapılarak beklemeye alınmıştır.

Her karışım için 6'şar adet 40\*40\*160 mm boyutlarında prizmalar ve 2'şer adet 100/200 mm silindir numuneler üretilmiştir.

#### 4.5 Eğilme ve Basınç Deneyleri

Eğilme ve basınç deneyleri için, hazırlanan 4\*4\*16 cm boyutlarındaki prizma numuneler kullanılmıştır. 28 gün sonunda numuneler üzerinde eğilme deneyi yapılmıştır(Şekil 4.2). Her karışım için 3 ayrı numune üzerinde eğilme deneyi yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Deney sonundaki hesaplamalar aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır:

$$\sigma = M/w \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Bu formülde;

$$M = Pl/4 \text{ (kg.cm)}$$

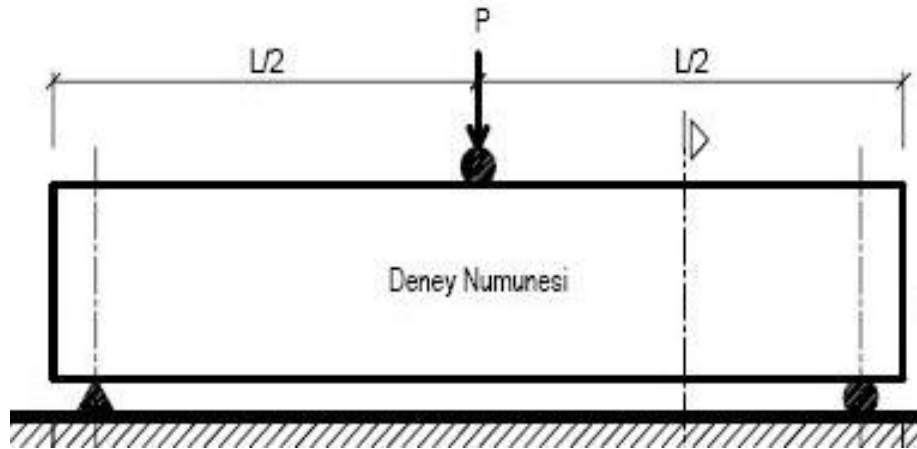
$$w = bh^2/6 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$\sigma$ : Numunenin eğilme dayanımı

P: Deney aletinde okunan değer (kg)

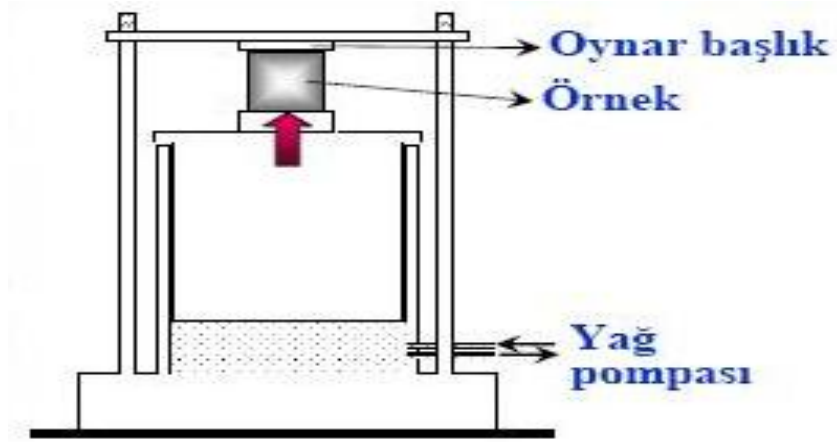
l: Deney aletindeki mesnet açıklığı (cm)

b, h : Numunenin boyutlarını simgelemektedir (cm).



Şekil 4.2. Eğilme Deneyi Düzenegi

Eğilme deneyi sonunda numuneler iki ayrı parçaya ayrılmış ve her karışım için 6 numune elde edilmiştir. Bu numuneler üzerinde de basınç deneyi yapılarak yine ortalamaları alınmıştır(Şekil 4.3).



**Şekil 4.3.** Basınç Deneyi Düzenegi

Yapılan basınç deneyi sonucunda numunelerin basınç dayanımları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\sigma = P / (b \cdot h) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$\sigma$ : Numunenin eğilme dayanımı

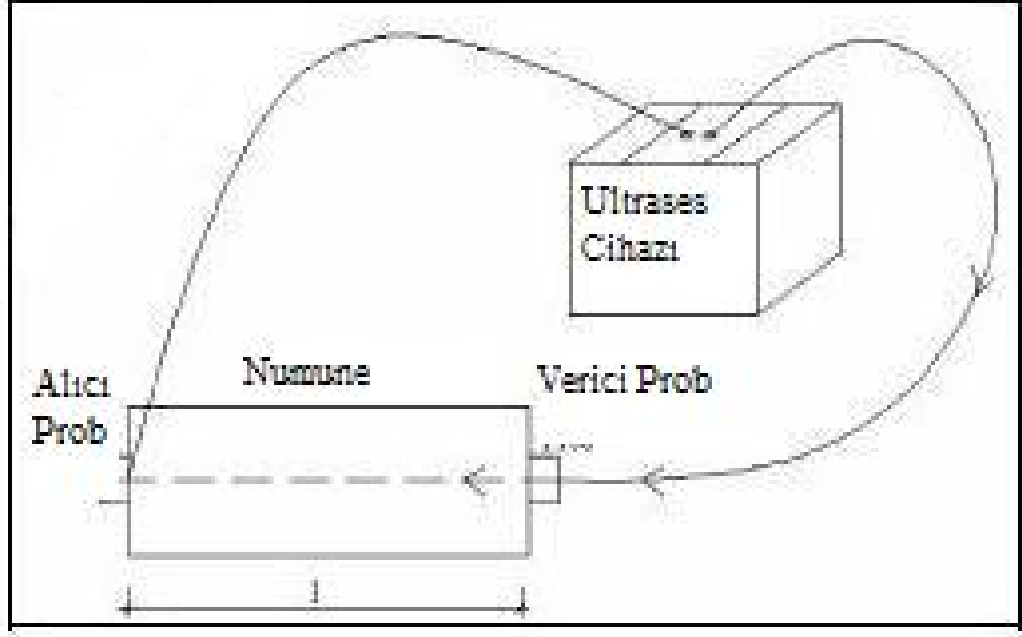
P: Deney aletinde okunan değer (kg)

l: Deney aletindeki mesnet açıklığı (cm)

b, h : Numunenin boyutlarını simgelemektedir (cm).

#### **4.6 Ultrases Hızı Deneyi**

Ultrases hız metodu beton içerisinden geçen dalganın geçiş süresini ölçerek geçiş hızını hesaplamaktan ibarettir. Hesaplanan bu hız, betonun boşluk oranı hakkında fikir vermektedir. Kullanılan numunenin boyutlarından bağımsız bir deneydir. Ancak yinede çok küçük numunelerle yapılamaması sağlıklı sonuç almak açısından önemlidir(Şekil 4.4).



**Şekil 4.4.** Ultrases Deney Düzeneği

Deney yapılırken özellikle numunenin boyu ölçülür. Ölçüm yapılacak yüzeyler zımparalanarak pürüzsüz hale getirilir. Alıcı ve verici uçlara betonla arasında kontak kurması için makine yağı sürülür. Uçlar numune kenarlarına sıkıca bastırılır ve cihazdan geçiş süresi mikro saniye cinsinden okunur. Son olarak okunan değer aşağıdaki bağlantı ile ses hızı bulunur:

$$V=l/t$$

Bu bağlantıda;

V : Ses hızı (km/s)

t : Ses geçiş süresi (saniye)

l : Numune boyu (km) 'dir.

Ultrases deneyi, hazırlanmış olan 40\*40\*160 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde yapılmıştır. Her karışım için 3'er numune üzerinde deney yapılmıştır ve bulunan değerlerin ortalaması alınmıştır.

#### **4.7 Kılcal Su Emme Deneyi**

Kılcal su emme deneyi çapı 100 mm, yüksekliği 51 mm olan disk numuneler üzerinde yapılmıştır. Öncelikle numunelerin yan yüzeyleri su geçirmez malzeme ile

kaplanmıştır. Sonrasında numuneler sadece alt yüzeyleri su ile temas edecek şekilde su dolu kaba konulmuştur ve 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 ve 64. dakikalarda ağırlıkları ölçülerek bu sürelerde emdiği su miktarı ölçülmüştür(Şekil 4.5). Su emme sonucunda oluşan ağırlık değişimi – zaman grafiği çizilerek bu eğrinin eğiminden kılcallık hesaplanmıştır.

$$q = \sqrt{k \cdot t}$$

$$m = \left(\frac{q}{\sqrt{t}}\right)$$

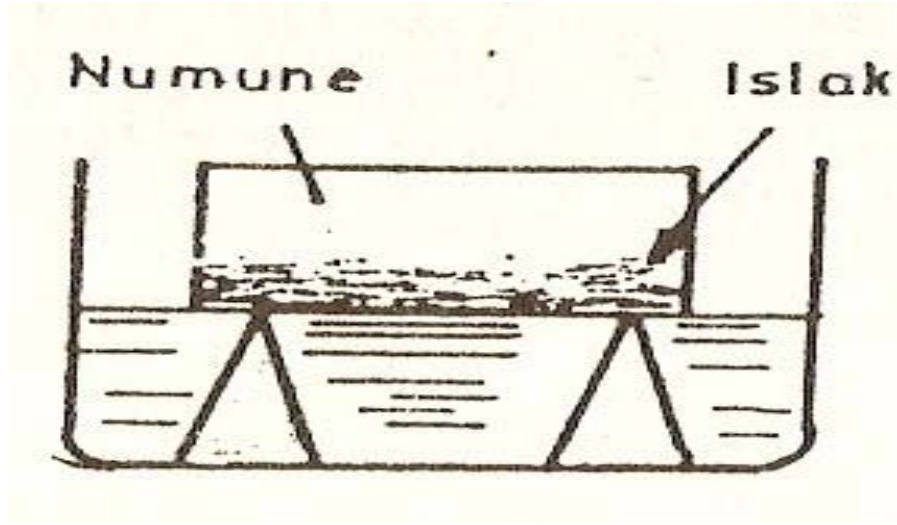
Bu denklemden;

k: Kılcallık katsayısı (cm<sup>2</sup>/sn)

q: Birim alanda emilen su miktarı (Q/A) g/cm<sup>2</sup>

t: süre (sn)

m: doğrunun eğimi olarak gösterilmektedir.

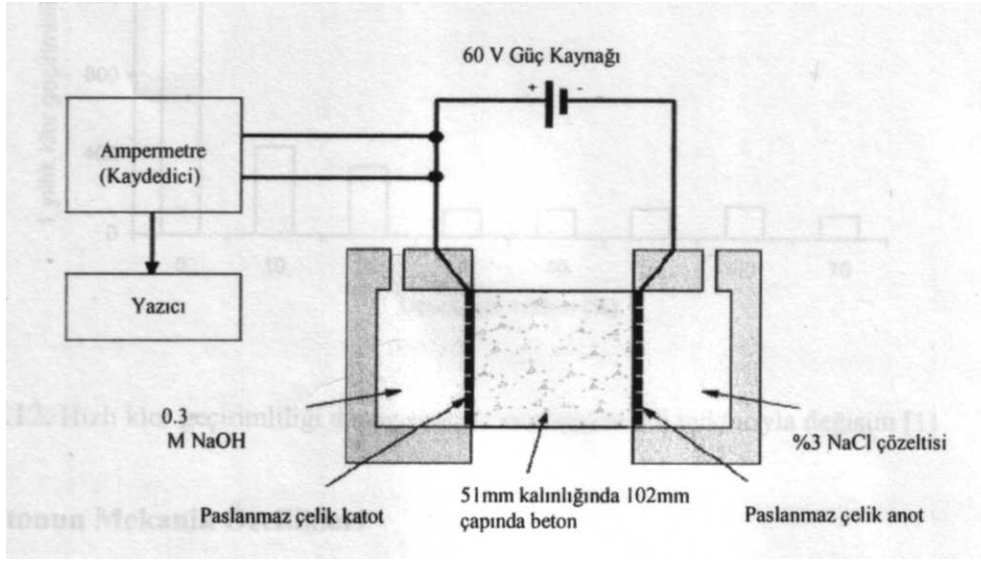


, Şekil 4.5. Kılcal Su Emme Deney Düzenegi

#### 4.8 Klor Geçirgenliği Deneyi

Klor geçirgenliği deneyi ASTM C1202–05 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu yöntem için 10 cm çapında 5,1 cm yüksekliğinde silindir numuneler kullanılmıştır. Öncelikle deneyde kullanılacak numunelerin yan yüzeyleri yalıtkan bir malzemeyle kaplanır. Numunelere öncelikle 3 saat kuru, ardından 1 saat su içerisinde olmak üzere toplam 4 saat vakum uygulanmaktadır. Deney düzeneginde numune iki kabın

arasına konular. Kaplardan birinde %3'lük sodyum klorür, diğesinde ise %3'lük sodyum hidroksit çözeltisi bulunmaktadır(Şekil 4.6). Bu deney yöntemi betonun elektriksel geçirimliliğine dayanmaktadır. 60 V değesinde bir potansiyel farka maruz bırakılan numunenin içinden 6 saat sonunda geçen toplam akım değesinde ölçülerek, Coulomb cinsinden belirtilmesine dayanmaktadır. Klor geçirimliliğine göre yapılan değesindelendirme Tablo 4.4.'da verilmiştir.



**Şekil 4.6.** Klor Geçirimliliği Deney Düzenegi

Her karışım için 2 numune üzerinde deney yapılmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır.

**Tablo 4.4.** Klor Geçirimlilik Deneyi sonuçlarına göre betonun değesindelendirilmesi

Geçen elektriksel yük miktarı (Coulomb)	Klor iyonu Geçirimliliği Yönünden Değesindelendirme
>4000	Yüksek
2000-4000	Orta
1000-2000	Düşük
100-1000	Çok Düşük
<100	İhmal Edilebilir

## 5. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada, C<sub>3</sub>A oranı farklı iki çimento ile katkısız ve mineral katkılı harç numuneleri üretilerek üzerlerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları aşağıda sırasıyla irdelenmiştir.

### 5.1. Eğilme ve Basınç Deneyleri Sonuçları

- Eğilme deneylerinde, CEMIV/B(P) 32,5R çimentosu ile üretilmiş numunelerin eğilme dayanımlarının daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu farkı çimentoların içeriğinde bulunan C<sub>3</sub>A oranına bağlayabiliriz. C<sub>3</sub>A'nın az da olsa eğilme dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir.

-Su/bağlayıcı oranındaki artışın eğilme dayanımını az da olsa düşürdüğü gözlemlenmiştir.

- Katkılar arasında eğilme dayanımı açısından en yüksek sonuçları yüksek fırın cürufu vermiştir. Ancak SDCÇ 32,5 ve 225 gram su ile üretilen karışımlarda kül ile üretilen numunelerin eğilme dayanımları yüksek fırın cürufu ile üretilen numunelerden daha fazla çıkmıştır. (Şekil 5.1)

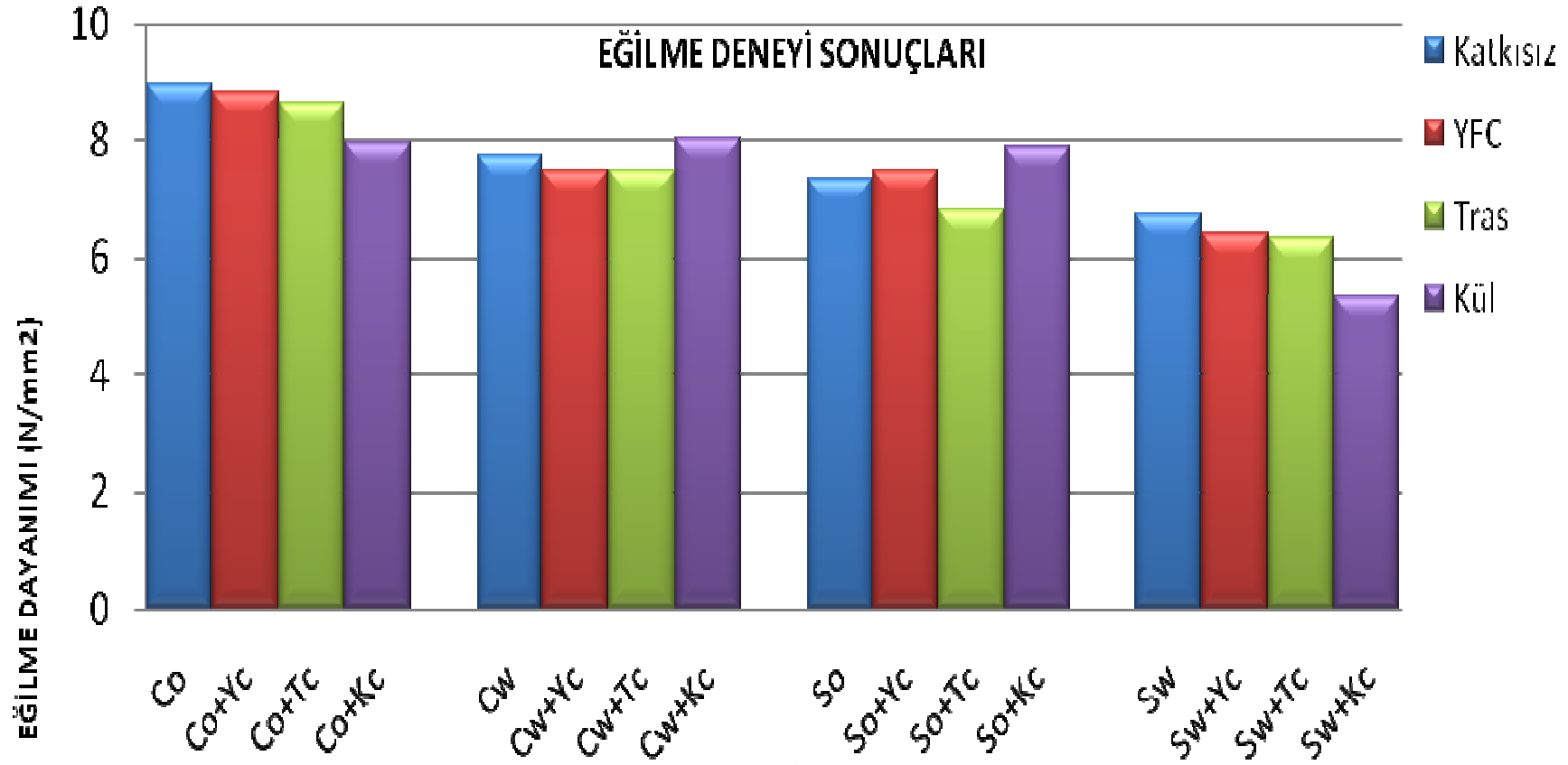
- Basınç deneylerinde ise, çimento farklılığı nedeniyle harç numunelerinin dayanımları arasında çok bir fark görülmemiştir. C<sub>3</sub>A bileşeninin basınç dayanımı üzerinde etkili olmadığı anlaşılmıştır.

- Karışımlarda kullanılan su miktarının artması eğilme dayanımında olduğu gibi harç numunelerinin basınç dayanımlarını da düşürmüştür(Şekil 5.2).

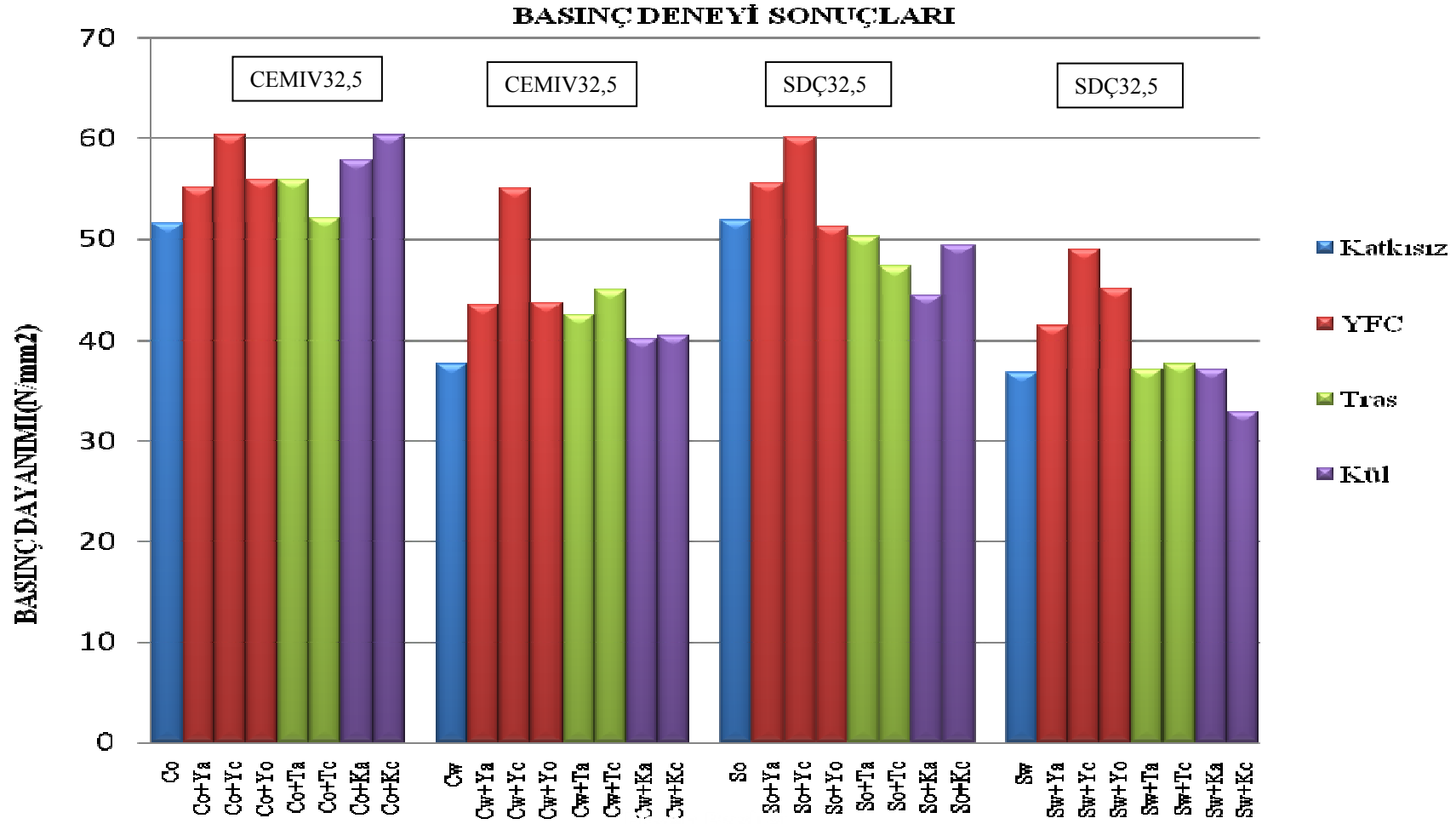
- Yüksek fırın cürufunun kullanıldığı numunelerde basınç dayanımı diğer katkılara göre daha iyi sonuç vermiştir(Şekil 5.3).

- Sonuçlara bakıldığında katkı kullanımının eğilme ve basınç dayanımlarını artırdığı gözlemlenmiştir.

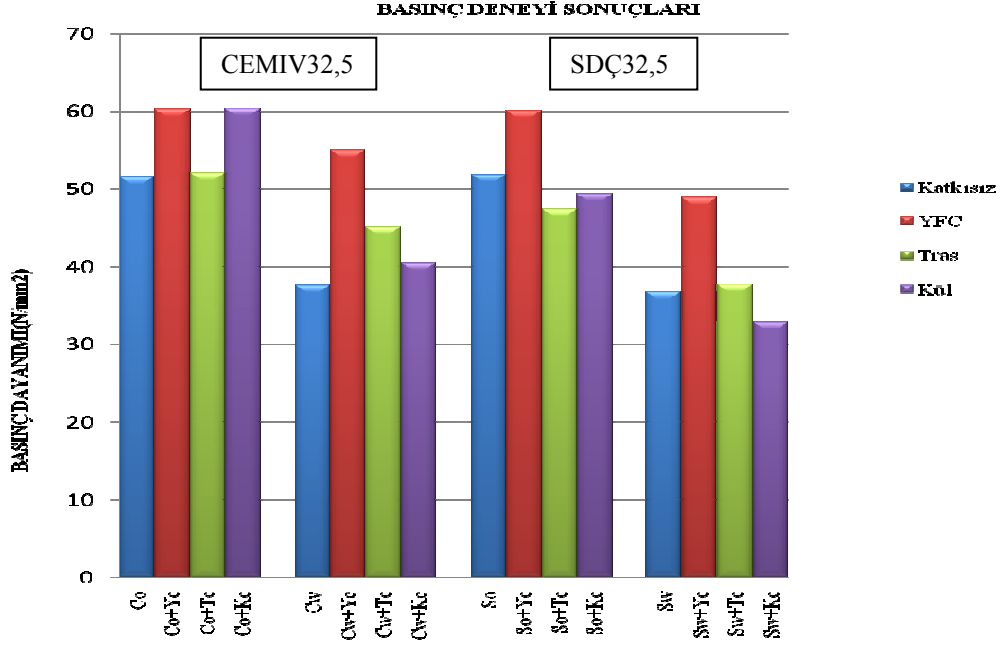




Şekil 5.1. Eğilme Deneyi Sonuçları



Şekil 5.2. Basınç Deneyi Sonuçları



**Şekil 5.3.** Seçilen Numunelerin Basınç Deneyi Sonuçları

## 5.2. Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları

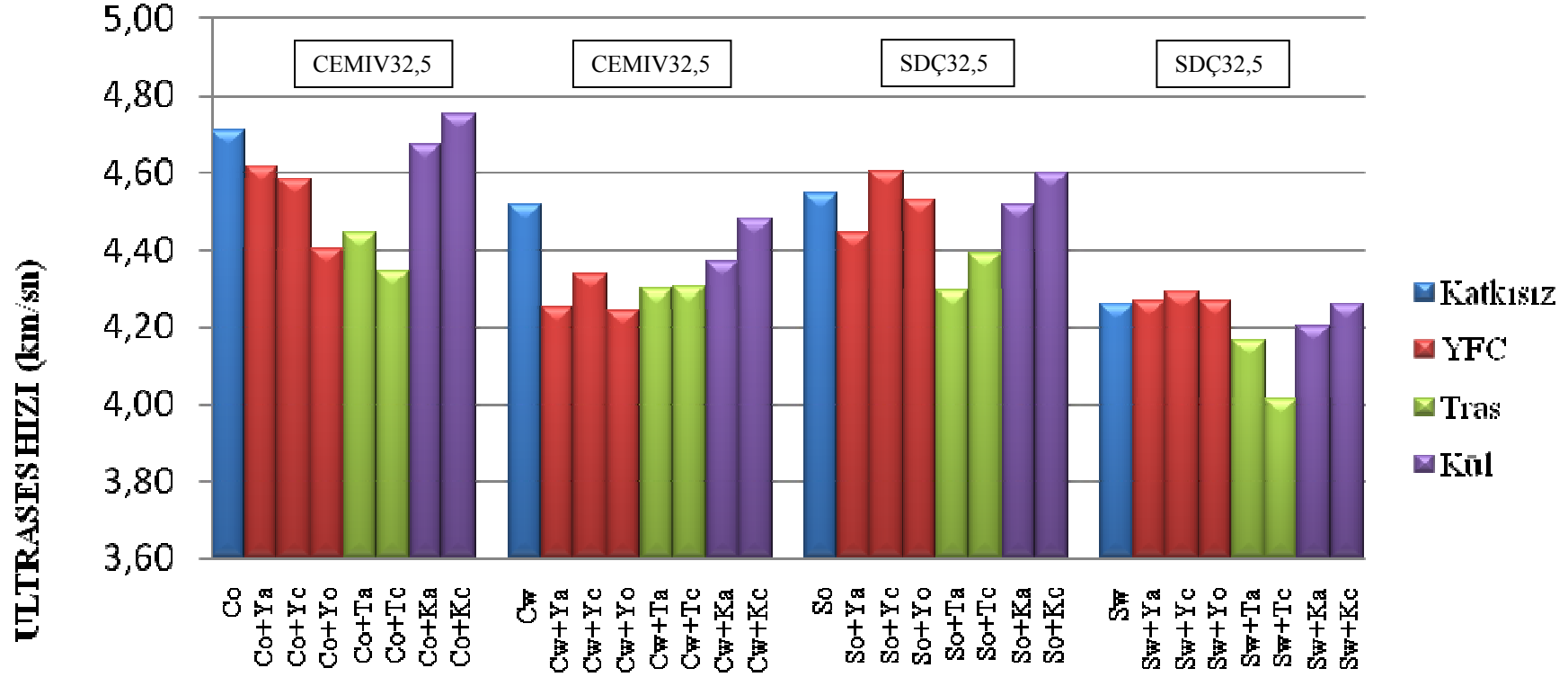
- Yapılan ultrases hızı deneylerinde, çimento farklılığının deney sonuçları üzerinde etkili olmadığı görülmüştür. Hem CEMIV/B(P) 32,5R tipi çimento ile üretilen harçlarda hem de SDÇ 32,5 tipi çimento ile üretilen harçlarda deney sonuçları çok yakın çıkmıştır. Bu da bize  $C_3A$  bileşeni yüzdesinin ultrases hızı geçirimsizliğinde etkili olmadığını göstermiştir.

- Bütün numunelerde katkı kullanımı ultrases hızı geçirimsizliğini düşürmüştür. Ancak düşük su/bağlayıcı oranına sahip numunelerde külün çok etkili olmadığı gözlemlenmiştir.

- Katkılı çimentolarda, kül katkılı numunelerin sonuçlarının tras ve cüruf katkılı numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

- Su/çimento oranının yüksek olduğu numunelerde deney sonuçları daha düşük çıkmıştır. Bunun nedenini de su/bağlayıcı oranındaki artışın işlenebilirliği artırımasına ve daha az boşluklu bir yapı oluşmasına bağlayabiliriz (Şekil5.4).

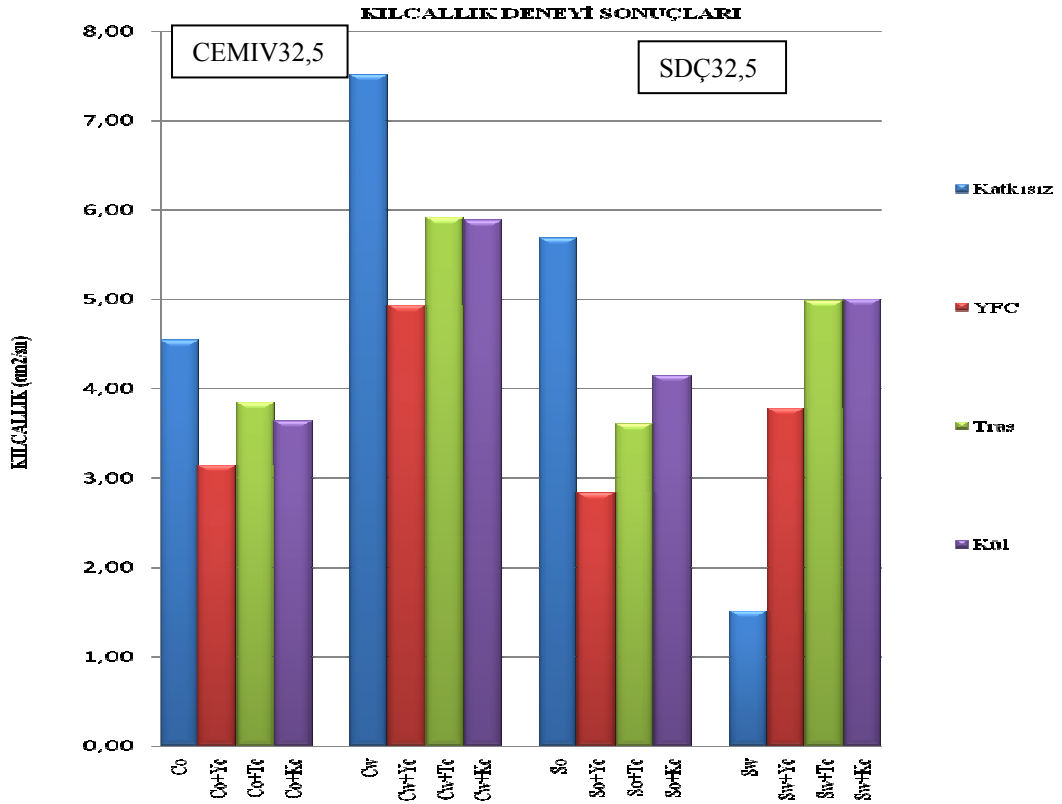
## ULTRASES GEÇİŞ HIZI DENEY SONUÇLARI



Şekil 5.4. Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları

### 5.3. Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

- Kılcal su emme deneylerinde, CEMIV/B(P) 32,5R tipi çimento ile katkısız üretilen numunelerin sonuçlarının SDÇ 32,5 tipi çimento ile katkısız üretilen numunelerin sonuçlarından çok az miktarda yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.
- Çimento bileşimindeki  $C_3A$  bileşeni oranının kılcal su emme deneyi sonuçlarına çok etki etmediği görülmüştür.
- Deneylerde en düşük değerler, yüksek fırın cürufuyla ve düşük su/çimento oranı ile üretilmiş numuneler üzerinde yapılan deneylerde alınmıştır. Ayrıca katkısız üretilen numunelerde, SDÇ 32,5 tipi çimento ile yüksek su/bağlayıcı oranı ile üretilen numunelerde kılcal su emmenin en düşük seviyede olduğu anlaşılmıştır.
- Uçucu kül ile üretilmiş numunelerin kılcal su emme değerleri, tras ve yüksek fırın cürufu ile üretilmiş olan numunelerin kılcal su emme değerlerinden daha fazladır.
- Su/çimento oranındaki artışın kılcal su emmeyi artırdığı görülmüştür(Şekil 5.5).

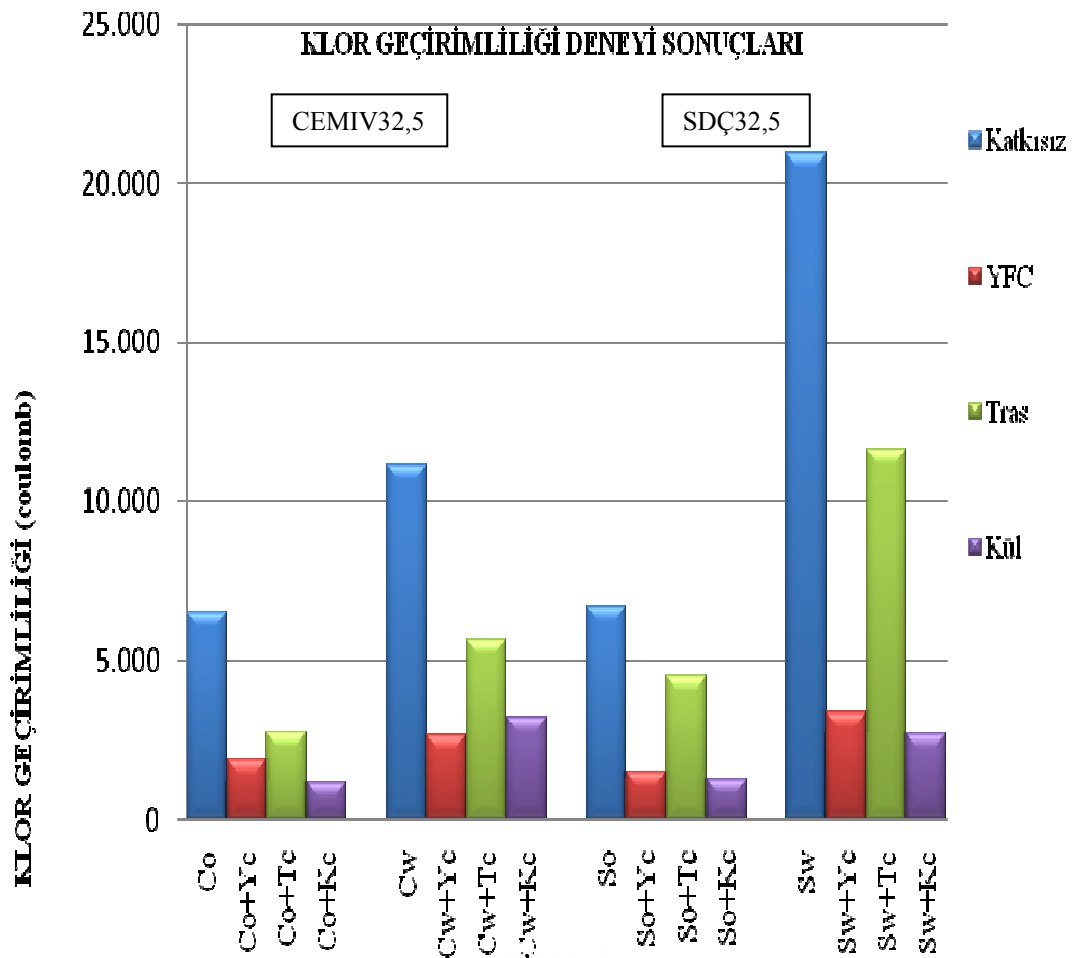


Şekil 5.5. Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

#### 5.4. Klor Geçirgenliği Deneyi Sonuçları

- Klor geçirgenliği deneylerinde, SDÇ32,5 tipi çimento ile üretilen numunelerin klor geçirgenlikleri CEMIV/B(P) 32,5R tipi çimento ile üretilen numunelerin klor geçirgenliklerinden daha fazladır. Ancak çok büyük bir fark çıkmamıştır. Bu da bize C<sub>3</sub>A bileşeni oranının harç numunelerinin klor geçirgenliklerine çok etki etmediğini göstermektedir.

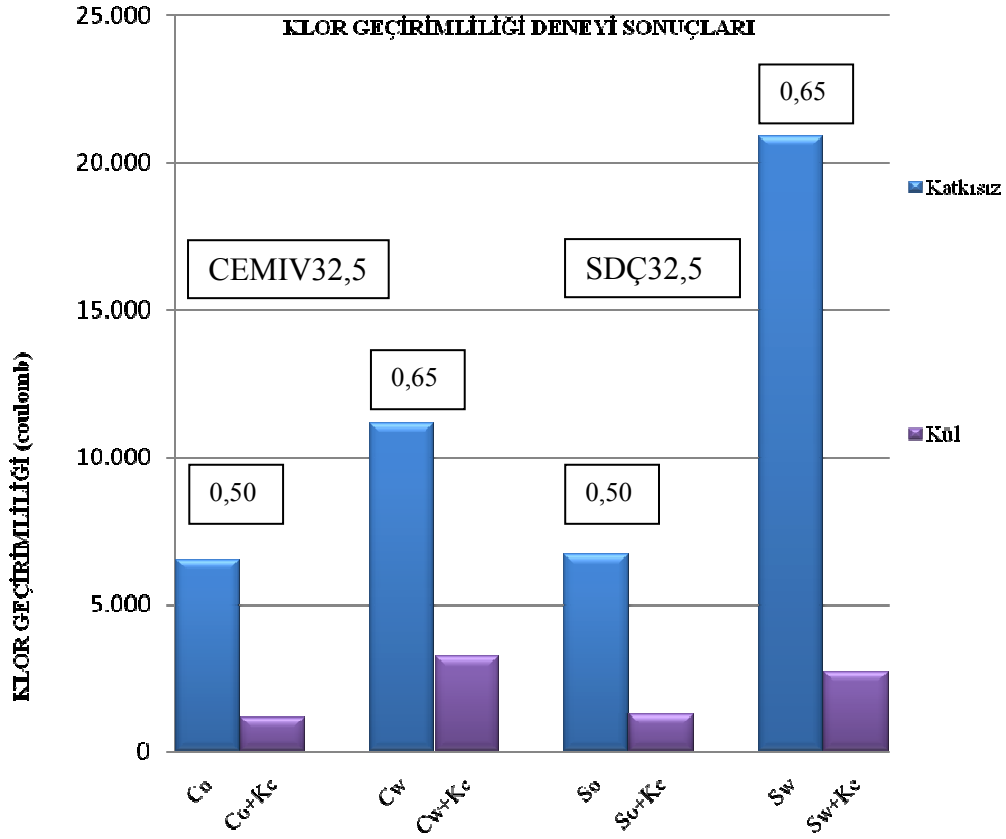
- Karışımdaki su/bağlayıcı oranı arttıkça numunelerin klor geçirgenlikleri de artmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Klor Geçirgenliği Deneyi Sonuçları

- Katkı olarak tras kullanılan numunelerde klor geçirgenliği değerleri diğer katkıları ile yapılan harç numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır. Klor geçirgenliğini engelleme konusunda en kötü sonuçları veren katkı tras olmuştur. Klor

geçirirliğini engelleme konusunda en iyi sonucu veren karışım Co+Kc olarak kodlanmış olan CEMIV/B(P) 32,5R tipi çimento ile üretilen, 225 gr su içeren ve içerisine kül katılmış harç numunesidir (Şekil 5.7). Şekilde kutu içerisinde yazan rakamlar su/bağlayıcı oranları ve kullanılan çimento tipleridir.



Şekil 5.7. Klor Geçirgenliği Deneyi Sonuçlarına Kül Etkisi

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada C3A oranı farklı iki çimento ile üretilen harçlara yüksek fırın cürufu, tras ve uçucu kül katılarak hazırlanan harçların özelliklerindeki değişiklikler araştırılmıştır. Yapılan deneylerden şu sonuçlara varılmıştır;

Çimento tipinin harç özelliklerine etkileri;

- Harçların klor geçirgenliğine çimento tipi değil su/çimento oranı etkili olmuş, bu oranın artışı ile klorür geçirgenliği artmıştır.
- Kılcal su emme deneylerinde C<sub>3</sub>A yüzdesi az olan harçların kılcal su emme değerleri daha düşük çıkmıştır.
- Yapılan ultrases hızı deneylerinde C<sub>3</sub>A bileşen yüzdesi azaldıkça geçiş hızında çok az miktarda azalma görülmüştür.

Yüksek fırın cürufunun çimento harcına etkileri;

- Yapılan deneylerde yüksek fırın cürufunun harçların eğilme ve basınç mukavemetlerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Ancak basınç mukavemetindeki artış eğilme mukavemetine göre daha fazladır.
- Yüksek fırın cürufu ultrases hızında ve kılcal su emme deneyinde düşüşe sebep olmuştur.
- Yapılan klor geçirgenliği deneylerinde yüksek fırın cürufunu kullanılmasıyla deney sonuçlarında ciddi anlamda düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Trasın çimento harcına etkileri;

- Eğilme deneylerinde tras kullanılan harçlarda eğilme mukavemetinde az da olsa bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Basınç mukavemetinde ise eğilmenin tersine deney sonuçlarında ufak bir artış olmuştur.



- Tras kullanımı numunelerin kılcal su emme ve ultras hızını düşürmüştür. Tras kullanımı kılcal su emme deneyinde yüksek fırın cürufu kadar etkili olmasa da ultras deneyinde daha iyi sonuç vermiştir.

- Yapılan klor geçirgenliği deneylerinde ise, tras kullanılan harç numunelerinde klor geçirgenliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Yüksek fırın cürufu kadar etkili olmasa da klor geçirgenliği açısından trası kullanılması iyi sonuç vermiştir.

Uçucu külün çimento harcına etkileri;

- Uçucu kül kullanılan harç numunelerinde katkısız numunelere göre eğilme deneyi sonuçlarında az da olsa bir düşme olmuştur. Basınç deneyi sonuçlarına göre ise, tras ve yüksek fırın cürufu kullanılan harç numunelerine göre basınç mukavemeti daha düşük çıkmıştır.

- Yapılan harçlarda uçucu kül kullanılması ultras hızı deneyinde çok etkili olmamıştır. Kılcal su emme deneylerinde ise tras ve cüruf kullanılan numunelere oranla daha yüksek emme değerine ulaşılmıştır.

- Uçucu kül kullanılması, yapılan deneyler arasında en iyi sonucu klor deneylerinde vermiştir. Katkısız harç numunelerine ve diğer katkılı harç numunelerine oranla klor geçirgenliğinde uçucu külün kullanılması daha iyi sonuçlar vermiştir.

Sonuç olarak, ekonomik açıdan yarar sağlayan yüksek fırın cürufunun basınç mukavemetini artırdığı, kılcal su emme ve klor geçirgenliğini önemli oranda azalttığı, ultras geçiş hızında ise düşüşe neden olduğu görülmüştür. Katkı olarak tras kullanımı ise, tıpkı yüksek fırın cürufu gibi basınç mukavemetini artırarak, kılcal su emme, ultras hızı ve klor geçirgenliğini düşürmüş fakat yüksek fırın cürufu kadar etkili olamamıştır. Uçucu kül kullanımı ise klor geçirgenliği açısından en iyi sonucu veren katkı olmuştur. Kullanılan her katkının belirli özellikleri iyileştirdiği belirli özelliklere ise çok fazla etki etmediği görülmüştür. Bu nedenle, harcın kullanım amacına ve kullanılacağı ortam koşullarına uygun çimento tipi ve mineral katkı seçilmeli, mineral katkı oranı amaca uygun olarak belirlenmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Akman, S.**, 1987. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul. 1–19.
- [2] **Altınbaş, I.**, 1986. Yüksek Fırın Cürufunun Portland Çimentosunda Amonyum Nitrat Korozyonu Dayanıklılığına Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 10–21.
- [3] **Artel, T.**, 1961. Yapı Malzemesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul. 166–241.
- [4] **ASTM C1202–97**, 2004, Standart Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, *ASTM*.
- [5] **Dodson, V.H.**, Concrete Admixtures, Van Nostrand Reinhold, New York. 1–21, 159–200.
- [6] **Erdoğan, N.**, 2005. Çimento Harçlarının Niteliklerinin İyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1–23.
- [7] **Erdoğan, T.S. ve Erdoğan, Y.T.**, 2007. Bağlayıcı Malzemelerin ve Betonun Onbin Yıllık Tarihi, ODTU Yayıncılık, Ankara. 74–77, 88–99.
- [8] **Gani, M.S.J.**, Cement and Concrete, Chapman and Hall, London. 13–54.
- [9] **Hamanlı, Y.**, 2007. Metakaolin ve Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1–17.
- [10] **Helmuth, R.**, 1987. Fly Ash in Cement and Concrete, Portland Cement Association, U.S.A.. 1–17, 101–120, 167-173.
- [11] **Ilıca, T., Yıldırım, H. ve Şengül, Ö.**, 2008. Effect of Cement Type on Resistance of Concrete Against Rapid Chloride Permeability, *IIDBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components*. 1–8.
- [12] **İncesu, Y.**, 2000. Çimento Sektörü Raporu, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Orta Anadolu İhracatçıları Birlikleri Genel Sekreterliği Raporu*, **15**, 4-12.

- [13] **Kocataşkın, F.**, 1965. Çimento ve Özellikleri Hakkında Ne Biliyoruz?, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul. 1–49, 63–73.
- [14] **Larrard, D.F.**, Concrete Mixture Proportioning, FN Spon, London. 229–249.
- [15] **Mavi, Ö.**, 2000. Kireç Harç ve Sıvaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1–32.
- [16] **Murdock, L.J., Brook, K.M. and Dewar, J.D.**, Concrete Materials and Practice, Edward Arnold, London. 55–86.
- [17] **Oktar, O.N.**, 1984. Beton ve Harçların Basınç Altındaki Kısa Süreli Davranışında Çimento Hamuru Yapısı ve Agregra Granülometrisinin Etkileri, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Teknik Raporu*, **44**, 1-5.
- [18] **Popovics, S.**, 1992. Concrete Materials, Properties, Specifications and Testing, Noyes Publications, New Jersey. 1–28, 103–121.
- [19] **Portland Cement Association.**, Design and Control of Concrete Mixtures, PCA, U.S.A. 16-24, 50-54.
- [20] **Postacıoğlu, B.**, 1975. Yapı Malzemesi Dersleri, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar ve Beton, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul. 1–31, 302–305.
- [21] **Postacıoğlu, B., Uyan, M. ve Mazlum, F.**, 1987. Traslı Çimentoların Kullanım Alanları, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Teknik Raporu*, **46**.
- [22] **Ramachandran, V.S.**, 1984. Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publications, New Jersey.
- [23] **Şahan, A.M.**, 2006. CEM I 42,5 Çimentolu Düşük Dozajlı Betonlarda Yüksek Fırın Cürufunun Etkinliği, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1–17.
- [24] **Şengül, Ö.**, 2006. Effects of Pozzolanic Materials on Mechanical Properties and Chloride Diffusivity of Concrete, *Ph. D. Thesis*, İ.T.Ü. Institute of Science and Technology, İstanbul. 1–33.

- [25] **Şimşek, O.**, 2007. Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [26] **Tangüner, R.**, 2007. Uçucu Küllü Düşük ve Yüksek Mukavemetli Elastiklik Modülünün İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.29–35.
- [27] **Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. Ve Yeğınobalı, A.**, 2004. Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı, Ankara. 1–10, 86–95.
- [28] **Yeğınobalı, A.**, 1971. Uçucu Kül, Tras ve Yüksek Fırın Cürufunun Betonda Katkı Maddesi Olarak Kullanılması ve Optimum Uçucu Kül Karışım Oranlarının Tayini, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Ankara.

## Ek A1 – Co Karışımı Ultrases Deneyi Sonuçları

Karışım No	Boy(cm)	Okunan Değer	Ultrases Hızı	Ortalama Değer
Co.01	16,13	34,10	0,47	4,71
Co.02	16,22	34,50	0,47	
Co.03	16,22	34,60	0,47	
Co+Ya.01	16,10	34,70	0,46	4,62
Co+Ya.02	16,15	35,10	0,46	
Co+Ya.03	16,18	35,10	0,46	
Co+Yc.01	16,16	35,70	0,45	4,58
Co+Yc.02	16,08	34,60	0,46	
Co+Yc.03	16,20	35,40	0,46	
Co+Yo.01	16,26	37,20	0,44	4,40
Co+Yo.02	16,24	36,20	0,45	
Co+Yo.03	16,13	37,10	0,43	
Co+Ta.01	16,18	36,60	0,44	4,44
Co+Ta.02	16,10	36,30	0,44	
Co+Ta.03	16,20	36,20	0,45	
Co+Tc.01	16,25	37,70	0,43	4,34
Co+Tc.02	16,20	37,40	0,43	
Co+Tc.03	16,10	36,70	0,44	
Co+Ka.01	16,07	34,00	0,47	4,67
Co+Ka.02	16,04	34,20	0,47	
Co+Ka.03	16,12	35,10	0,46	
Co+Kc.01	16,12	34,70	0,46	4,75
Co+Kc.02	16,11	33,40	0,48	
Co+Kc.03	16,13	33,70	0,48	

## Ek A2 – Cw Karışımı Ultrases Deneyi Sonuçları

Karışım No	Boy(Cm)	Okunan Değer	Ultrases Hızı	Ortalama Değer
Cw.01	16,17	34,50	0,47	4,52
Cw.02	16,27	37,00	0,44	
Cw.03	16,20	36,30	0,45	
Cw+Ya.01	16,17	38,50	0,42	4,25
Cw+Ya.02	16,13	37,40	0,43	
Cw+Ya.03	16,28	38,40	0,42	
Cw+Yc.01	16,13	37,50	0,43	4,33
Cw+Yc.02	16,12	37,00	0,44	
Cw+Yc.03	16,17	37,20	0,43	
Cw+Yo.01	16,10	38,00	0,42	4,24
Cw+Yo.02	16,15	38,00	0,43	
Cw+Yo.03	16,20	38,20	0,42	
Cw+Ta.01	16,04	37,40	0,43	4,30
Cw+Ta.02	16,06	37,20	0,43	
Cw+Ta.03	16,02	37,40	0,43	
Cw+Tc.01	16,07	37,40	0,43	4,30
Cw+Tc.02	16,04	37,40	0,43	
Cw+Tc.03	16,11	37,30	0,43	
Cw+Ka.01	16,14	37,00	0,44	4,37
Cw+Ka.02	16,12	36,70	0,44	
Cw+Ka.03	16,08	37,00	0,43	
Cw+Kc.01	16,08	35,40	0,45	4,48
Cw+Kc.02	16,08	36,30	0,44	
Cw+Kc.03	16,16	36,20	0,45	

### Ek A3 – So Karışımı Ultrases Deneyi Sonuçları

Karışım No	Boy(km)	okunan değer	Ultrases Hızı	Ortalama Değer
So.01	16,06	35,40	0,45	4,54
So.02	16,03	35,40	0,45	
So.03	16,06	35,20	0,46	
So+Ya.01	16,03	36,30	0,44	4,44
So+Ya.02	16,09	36,40	0,44	
So+Ya.03	16,13	35,90	0,45	
So+Yc.01	16,16	35,20	0,46	4,60
So+Yc.02	16,17	35,00	0,46	
So+Yc.03	16,13	35,10	0,46	
So+Yo.01	16,22	35,60	0,46	4,53
So+Yo.02	16,17	35,90	0,45	
So+Yo.03	16,09	35,60	0,45	
So+Ta.01	16,08	38,30	0,42	4,29
So+Ta.02	16,08	36,70	0,44	
So+Ta.03	16,10	37,50	0,43	
So+Tc.01	16,13	36,80	0,44	4,39
So+Tc.02	16,11	36,40	0,44	
So+Tc.03	16,20	37,20	0,44	
So+Ka.01	16,13	36,10	0,45	4,51
So+Ka.02	16,09	35,60	0,45	
So+Ka.03	16,21	35,60	0,46	
So+Kc.01	16,11	34,80	0,46	4,60
So+Kc.02	16,11	35,20	0,46	
So+Kc.03	16,14	35,20	0,46	

#### Ek A4 – Sw Karışımı Ultrases Deneyi Sonuçları

Karışım No	Boy(km)	okunan değer	Ultrases Hızı	Ortalama Değer
Sw.01	16,21	37,60	0,43	4,26
Sw.02	16,23	38,80	0,42	
Sw.03	16,17	37,80	0,43	
Sw+Ya.01	16,19	37,90	0,43	4,27
Sw+Ya.02	16,09	37,80	0,43	
Sw+Ya.03	16,10	37,70	0,43	
Sw+Yc.01	16,13	36,60	0,44	4,29
Sw+Yc.02	16,11	38,20	0,42	
Sw+Yc.03	16,11	38,00	0,42	
Sw+Yo.01	16,11	37,50	0,43	4,27
Sw+Yo.02	16,01	38,10	0,42	
Sw+Yo.03	16,15	37,50	0,43	
Sw+Ta.01	16,08	38,90	0,41	4,16
Sw+Ta.02	16,07	38,30	0,42	
Sw+Ta.03	16,14	38,80	0,42	
Sw+Tc.01	16,13	40,10	0,40	4,01
Sw+Tc.02	16,16	41,30	0,39	
Sw+Tc.03	16,08	39,20	0,41	
Sw+Ka.01	16,16	38,80	0,42	4,20
Sw+Ka.02	16,13	38,40	0,42	
Sw+Ka.03	16,11	38,00	0,42	
Sw+Kc.01	16,13	38,60	0,42	4,26
Sw+Kc.02	16,15	37,20	0,43	
Sw+Kc.03	16,05	37,70	0,43	



## Ek B1 – Co Karışımı Eğilme Deneyi Sonuçları

	Numune Adı	P (kg)	l (cm)	b (cm)	h (cm)	M=Pl/4 (kg.cm)	w=bh <sup>2</sup> /6 (cm <sup>3</sup> )	σ=M/w (kg/cm <sup>2</sup> )	ortalama
Co	Co.01.20.11	375,00	10,00	4,00	4,00	937,50	10,67	87,89	89,45
	Co.02.20.11	380,00	10,00	4,00	4,00	950,00	10,67	89,06	
	Co.03.20.11	390,00	10,00	4,00	4,00	975,00	10,67	91,41	
Co+Ya	Co+Ya.01.03.12	360,00	10,00	4,00	4,00	900,00	10,67	84,38	92,19
	Co+Ya.02.03.12	420,00	10,00	4,00	4,00	1050,00	10,67	98,44	
	Co+Ya.03.03.12	400,00	10,00	4,00	4,00	1000,00	10,67	93,75	
Co+Yc	Co+Yc.01.04.12	300,00	10,00	4,00	4,00	750,00	10,67	70,31	88,28
	Co+Yc.02.04.12	450,00	10,00	4,00	4,00	1125,00	10,67	105,47	
	Co+Yc.03.04.12	380,00	10,00	4,00	4,00	950,00	10,67	89,06	
Co+Yo	Co+Yo.01.10.12	300,00	10,00	4,00	4,00	750,00	10,67	70,31	73,44
	Co+Yo.02.10.12	310,00	10,00	4,00	4,00	775,00	10,67	72,66	
	Co+Yo.03.10.12	330,00	10,00	4,00	4,00	825,00	10,67	77,34	
Co+Ta	Co+Ta.01.17.12	420,00	10,00	4,00	4,00	1050,00	10,67	98,44	91,41
	Co+Ta.02.17.12	380,00	10,00	4,00	4,00	950,00	10,67	89,06	
	Co+Ta.03.17.12	370,00	10,00	4,00	4,00	925,00	10,67	86,72	
Co+Tc	Co+Tc.01.17.12	375,00	10,00	4,00	4,00	937,50	10,67	87,89	86,33
	Co+Tc.02.17.12	380,00	10,00	4,00	4,00	950,00	10,67	89,06	
	Co+Tc.03.17.12	350,00	10,00	4,00	4,00	875,00	10,67	82,03	
Co+Ka	Co+Ka.01.24.12	380,00	10,00	4,00	4,00	950,00	10,67	89,06	95,31
	Co+Ka.02.24.12	410,00	10,00	4,00	4,00	1025,00	10,67	96,09	
	Co+Ka.03.24.12	430,00	10,00	4,00	4,00	1075,00	10,67	100,78	
Co+Kc	Co+Kc.01.24.12	350,00	10,00	4,00	4,00	875,00	10,67	82,03	79,69
	Co+Kc.02.24.12	390,00	10,00	4,00	4,00	975,00	10,67	91,41	
	Co+Kc.03.24.12	280,00	10,00	4,00	4,00	700,00	10,67	65,63	

**Ek B2 – Cw Karışımı Eğilme Deneyi Sonuçları**

	Numune Adı	P (kg)	l (cm)	b (cm)	h (cm)	M=Pl/4 (kg.cm)	w=bh <sup>2</sup> /6 (cm <sup>3</sup> )	σ=M/w (kg/cm <sup>2</sup> )	ortalama
Cw	Cw.01.22.11	380,00	10,00	4,00	4,00	950,00	10,67	89,06	77,34
	Cw.02.22.11	270,00	10,00	4,00	4,00	675,00	10,67	63,28	
	Cw.03.22.11	340,00	10,00	4,00	4,00	850,00	10,67	79,69	
Cw+Ya	Cw+Ya.01.11.12	320,00	10,00	4,00	4,00	800,00	10,67	75,00	77,34
	Cw+Ya.02.11.12	350,00	10,00	4,00	4,00	875,00	10,67	82,03	
	Cw+Ya.03.11.12	320,00	10,00	4,00	4,00	800,00	10,67	75,00	
Cw+Yc	Cw+Yc.01.11.12	340,00	10,00	4,00	4,00	850,00	10,67	79,69	75,00
	Cw+Yc.02.11.12	270,00	10,00	4,00	4,00	675,00	10,67	63,28	
	Cw+Yc.03.11.12	350,00	10,00	4,00	4,00	875,00	10,67	82,03	
Cw+Yo	Cw+Yo.01.13.12	430,00	10,00	4,00	4,00	1075,00	10,67	100,78	101,56
	Cw+Yo.02.13.12	440,00	10,00	4,00	4,00	1100,00	10,67	103,13	
	Cw+Yo.03.13.12	430,00	10,00	4,00	4,00	1075,00	10,67	100,78	
Cw+Ta	Cw+Ta.01.25.12	340,00	10,00	4,00	4,00	850,00	10,67	79,69	74,22
	Cw+Ta.02.25.12	340,00	10,00	4,00	4,00	850,00	10,67	79,69	
	Cw+Ta.03.25.12	270,00	10,00	4,00	4,00	675,00	10,67	63,28	
Cw+Tc	Cw+Tc.01.26.12	340,00	10,00	4,00	4,00	850,00	10,67	79,69	75,00
	Cw+Tc.02.26.12	330,00	10,00	4,00	4,00	825,00	10,67	77,34	
	Cw+Tc.03.26.12	290,00	10,00	4,00	4,00	725,00	10,67	67,97	
Cw+Ka	Cw+Ka.01.26.12	280,00	10,00	4,00	4,00	700,00	10,67	65,63	74,61
	Cw+Ka.02.26.12	335,00	10,00	4,00	4,00	837,50	10,67	78,52	
	Cw+Ka.03.26.12	340,00	10,00	4,00	4,00	850,00	10,67	79,69	
Cw+Kc	Cw+Kc.01.27.12	350,00	10,00	4,00	4,00	875,00	10,67	82,03	80,08
	Cw+Kc.02.27.12	350,00	10,00	4,00	4,00	875,00	10,67	82,03	
	Cw+Kc.03.27.12	325,00	10,00	4,00	4,00	812,50	10,67	76,17	

### Ek B3 – So Karışımı Eğilme Deneyi Sonuçları

	Numune Adı	P (kg)	l (cm)	b (cm)	h (cm)	M=PI/4 (kg.cm)	w=bh <sup>2</sup> /6 (cm <sup>3</sup> )	σ=M/w (kg/cm <sup>2</sup> )	ortalama
So	So.01.22.11	300,00	10,00	4,00	4,00	750,00	10,67	70,31	73,44
	So.02.22.11	340,00	10,00	4,00	4,00	850,00	10,67	79,69	
	So.03.22.11	300,00	10,00	4,00	4,00	750,00	10,67	70,31	
So+Ya	So+Ya.01.03.01	310,00	10,00	4,00	4,00	775,00	10,67	72,66	75,78
	So+Ya.02.03.01	320,00	10,00	4,00	4,00	800,00	10,67	75,00	
	So+Ya.03.03.01	340,00	10,00	4,00	4,00	850,00	10,67	79,69	
So+Yc	So+Yc.01.03.01	330,00	10,00	4,00	4,00	825,00	10,67	77,34	75,00
	So+Yc.02.03.01	300,00	10,00	4,00	4,00	750,00	10,67	70,31	
	So+Yc.03.03.01	330,00	10,00	4,00	4,00	825,00	10,67	77,34	
So+Yo	So+Yo.01.05.01	270,00	10,00	4,00	4,00	675,00	10,67	63,28	67,19
	So+Yo.02.05.01	310,00	10,00	4,00	4,00	775,00	10,67	72,66	
	So+Yo.03.05.01	280,00	10,00	4,00	4,00	700,00	10,67	65,63	
So+Ta	So+Ta.01.05.01	350,00	10,00	4,00	4,00	875,00	10,67	82,03	82,03
	So+Ta.02.05.01	370,00	10,00	4,00	4,00	925,00	10,67	86,72	
	So+Ta.03.05.01	330,00	10,00	4,00	4,00	825,00	10,67	77,34	
So+Tc	So+Tc.01.07.01	290,00	10,00	4,00	4,00	725,00	10,67	67,97	67,97
	So+Tc.02.07.01	300,00	10,00	4,00	4,00	750,00	10,67	70,31	
	So+Tc.03.07.01	280,00	10,00	4,00	4,00	700,00	10,67	65,63	
So+Ka	So+Ka.01.07.01	410,00	10,00	4,00	4,00	1025,00	10,67	96,09	92,19
	So+Ka.02.07.01	410,00	10,00	4,00	4,00	1025,00	10,67	96,09	
	So+Ka.03.07.01	360,00	10,00	4,00	4,00	900,00	10,67	84,38	
So+Kc	So+Kc.01.08.01	290,00	10,00	4,00	4,00	725,00	10,67	67,97	78,91
	So+Kc.02.08.01	350,00	10,00	4,00	4,00	875,00	10,67	82,03	
	So+Kc.03.08.01	370,00	10,00	4,00	4,00	925,00	10,67	86,72	

**Ek B4 – Sw Karışımı Eğilme Deneyi Sonuçları**

	Numune Adı	P (kg)	l (cm)	b (cm)	h (cm)	M=Pl/4 (kg.cm)	w=bh <sup>2</sup> /6 (cm <sup>3</sup> )	σ=M/w (kg/cm <sup>2</sup> )	ortalama
Sw	Sw.01.27.11	260,00	10,00	4,00	4,00	650,00	10,67	60,94	67,19
	Sw.02.27.11	290,00	10,00	4,00	4,00	725,00	10,67	67,97	
	Sw.03.27.11	310,00	10,00	4,00	4,00	775,00	10,67	72,66	
Sw+Ya	Sw+Ya.01.08.01	310,00	10,00	4,00	4,00	775,00	10,67	72,66	75,78
	Sw+Ya.02.08.01	310,00	10,00	4,00	4,00	775,00	10,67	72,66	
	Sw+Ya.03.08.01	350,00	10,00	4,00	4,00	875,00	10,67	82,03	
Sw+Yc	Sw+Yc.01.09.01	280,00	10,00	4,00	4,00	700,00	10,67	65,63	64,06
	Sw+Yc.02.09.01	290,00	10,00	4,00	4,00	725,00	10,67	67,97	
	Sw+Yc.03.09.01	250,00	10,00	4,00	4,00	625,00	10,67	58,59	
Sw+Yo	Sw+Yo.01.09.01	310,00	10,00	4,00	4,00	775,00	10,67	72,66	60,16
	Sw+Yo.02.09.01	210,00	10,00	4,00	4,00	525,00	10,67	49,22	
	Sw+Yo.03.09.01	250,00	10,00	4,00	4,00	625,00	10,67	58,59	
Sw+Ta	Sw+Ta.01.10.01	300,00	10,00	4,00	4,00	750,00	10,67	70,31	67,97
	Sw+Ta.02.10.01	300,00	10,00	4,00	4,00	750,00	10,67	70,31	
	Sw+Ta.03.10.01	270,00	10,00	4,00	4,00	675,00	10,67	63,28	
Sw+Tc	Sw+Tc.01.10.01	280,00	10,00	4,00	4,00	700,00	10,67	65,63	63,28
	Sw+Tc.02.10.01	230,00	10,00	4,00	4,00	575,00	10,67	53,91	
	Sw+Tc.03.10.01	300,00	10,00	4,00	4,00	750,00	10,67	70,31	
Sw+Ka	Sw+Ka.01.11.01	280,00	10,00	4,00	4,00	700,00	10,67	65,63	63,28
	Sw+Ka.02.11.01	260,00	10,00	4,00	4,00	650,00	10,67	60,94	
	Sw+Ka.03.11.01	270,00	10,00	4,00	4,00	675,00	10,67	63,28	
Sw+Kc	Sw+Kc.01.11.01	260,00	10,00	4,00	4,00	650,00	10,67	60,94	53,13
	Sw+Kc.02.11.01	210,00	10,00	4,00	4,00	525,00	10,67	49,22	
	Sw+Kc.03.11.01	210,00	10,00	4,00	4,00	525,00	10,67	49,22	

### Ek C1 – Co Karışımı Basınç Deneyi Sonuçları

	Numune Adı	P (kg)	b (cm)	h (cm)	$\sigma=P/(b*h)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	ortalama
Co	Co.01.20.11/1	9.110	4,00	4,00	569,38	515,00
	Co.01.20.11/2	9.050	4,00	4,00	565,63	
	Co.02.20.11/1	6.080	4,00	4,00	380,00	
	Co.02.20.11/2	7.090	4,00	4,00	443,13	
	Co.03.20.11/1	8.360	4,00	4,00	522,50	
	Co.03.20.11/2	9.750	4,00	4,00	609,38	
Co+Ya	Co+Ya.01.03.12/1	9.400	4,00	4,00	587,50	551,35
	Co+Ya.01.03.12/2	7.600	4,00	4,00	475,00	
	Co+Ya.02.03.12/1	8.760	4,00	4,00	547,50	
	Co+Ya.02.03.12/2	9.490	4,00	4,00	593,13	
	Co+Ya.03.03.12/1	8.280	4,00	4,00	517,50	
	Co+Ya.03.03.12/2	9.400	4,00	4,00	587,50	
Co+Yc	Co+Yc.01.04.12/1	11.350	4,00	4,00	709,38	602,92
	Co+Yc.01.04.12/2	8.810	4,00	4,00	550,63	
	Co+Yc.02.04.12/1	11.280	4,00	4,00	705,00	
	Co+Yc.02.04.12/2	6.790	4,00	4,00	424,38	
	Co+Yc.03.04.12/1	10.210	4,00	4,00	638,13	
	Co+Yc.03.04.12/2	9.440	4,00	4,00	590,00	
Co+Yo	Co+Yo.01.10.12/1	9.300	4,00	4,00	581,25	558,65
	Co+Yo.01.10.12/2	10.200	4,00	4,00	637,50	
	Co+Yo.02.10.12/1	9.070	4,00	4,00	566,88	
	Co+Yo.02.10.12/2	7.580	4,00	4,00	473,75	
	Co+Yo.03.10.12/1	8.530	4,00	4,00	533,13	
	Co+Yo.03.10.12/2	8.950	4,00	4,00	559,38	
Co+Ta	Co+Ta.01.17.12/1	9.370	4,00	4,00	585,63	558,13
	Co+Ta.01.17.12/2	9.030	4,00	4,00	564,38	
	Co+Ta.02.17.12/1	9.340	4,00	4,00	583,75	
	Co+Ta.02.17.12/2	8.470	4,00	4,00	529,38	
	Co+Ta.03.17.12/1	7.890	4,00	4,00	493,13	
	Co+Ta.03.17.12/2	9.480	4,00	4,00	592,50	
Co+Tc	Co+Tc.01.17.12/1	8.680	4,00	4,00	542,50	520,21
	Co+Tc.01.17.12/2	8.920	4,00	4,00	557,50	
	Co+Tc.02.17.12/1	9.030	4,00	4,00	564,38	
	Co+Tc.02.17.12/2	7.130	4,00	4,00	445,63	
	Co+Tc.03.17.12/1	9.940	4,00	4,00	621,25	
	Co+Tc.03.17.12/2	6.240	4,00	4,00	390,00	
Co+Ka	Co+Ka.01.24.12/1	10.530	4,00	4,00	658,13	578,54
	Co+Ka.01.24.12/2	9.160	4,00	4,00	572,50	
	Co+Ka.02.24.12/1	8.030	4,00	4,00	501,88	
	Co+Ka.02.24.12/2	8.970	4,00	4,00	560,63	
	Co+Ka.03.24.12/1	9.310	4,00	4,00	581,88	
	Co+Ka.03.24.12/2	9.540	4,00	4,00	596,25	
Co+Kc	Co+Kc.01.24.12/1	8.590	4,00	4,00	536,88	603,23
	Co+Kc.01.24.12/2	10.120	4,00	4,00	632,50	
	Co+Kc.02.24.12/1	10.170	4,00	4,00	635,63	
	Co+Kc.02.24.12/2	9.150	4,00	4,00	571,88	
	Co+Kc.03.24.12/1	9.940	4,00	4,00	621,25	
	Co+Kc.03.24.12/2	9.940	4,00	4,00	621,25	

## Ek C2– Cw Karışımı Basınç Deneyi Sonuçları

	Numune Adı	P (kg)	b (cm)	h (cm)	$\sigma=P/(b*h)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	ortalama
Cw	Cw.01.22.11/1	4.280	4,00	4,00	267,50	376,04
	Cw.01.22.11/2	6.670	4,00	4,00	416,88	
	Cw.02.22.11/1	6.380	4,00	4,00	398,75	
	Cw.02.22.11/2	6.500	4,00	4,00	406,25	
	Cw.03.22.11/1	5.810	4,00	4,00	363,13	
	Cw.03.22.11/2	6.460	4,00	4,00	403,75	
Cw+Ya	Cw+Ya.01.11.12/1	6.990	4,00	4,00	436,88	435,21
	Cw+Ya.01.11.12/2	6.950	4,00	4,00	434,38	
	Cw+Ya.02.11.12/1	6.250	4,00	4,00	390,63	
	Cw+Ya.02.11.12/2	7.100	4,00	4,00	443,75	
	Cw+Ya.03.11.12/1	7.150	4,00	4,00	446,88	
	Cw+Ya.03.11.12/2	7.340	4,00	4,00	458,75	
Cw+Yc	Cw+Yc.01.11.12/1	9.310	4,00	4,00	581,88	549,48
	Cw+Yc.01.11.12/2	9.050	4,00	4,00	565,63	
	Cw+Yc.02.11.12/1	8.420	4,00	4,00	526,25	
	Cw+Yc.02.11.12/2	9.270	4,00	4,00	579,38	
	Cw+Yc.03.11.12/1	7.490	4,00	4,00	468,13	
	Cw+Yc.03.11.12/2	9.210	4,00	4,00	575,63	
Cw+Yo	Cw+Yo.01.13.12/1	7.140	4,00	4,00	446,25	437,19
	Cw+Yo.01.13.12/2	7.080	4,00	4,00	442,50	
	Cw+Yo.02.13.12/1	7.180	4,00	4,00	448,75	
	Cw+Yo.02.13.12/2	6.700	4,00	4,00	418,75	
	Cw+Yo.03.13.12/1	7.260	4,00	4,00	453,75	
	Cw+Yo.03.13.12/2	6.610	4,00	4,00	413,13	
Cw+Ta	Cw+Ta.01.25.12/1	6.500	4,00	4,00	406,25	425,42
	Cw+Ta.01.25.12/2	6.090	4,00	4,00	380,63	
	Cw+Ta.02.25.12/1	7.070	4,00	4,00	441,88	
	Cw+Ta.02.25.12/2	6.840	4,00	4,00	427,50	
	Cw+Ta.03.25.12/1	7.010	4,00	4,00	438,13	
	Cw+Ta.03.25.12/2	7.330	4,00	4,00	458,13	
Cw+Tc	Cw+Tc.01.26.12/1	7.520	4,00	4,00	470,00	450,42
	Cw+Tc.01.26.12/2	7.070	4,00	4,00	441,88	
	Cw+Tc.02.26.12/1	7.170	4,00	4,00	448,13	
	Cw+Tc.02.26.12/2	7.140	4,00	4,00	446,25	
	Cw+Tc.03.26.12/1	7.560	4,00	4,00	472,50	
	Cw+Tc.03.26.12/2	6.780	4,00	4,00	423,75	
Cw+Ka	Cw+Ka.01.26.12/1	6.490	4,00	4,00	405,63	401,35
	Cw+Ka.01.26.12/2	6.570	4,00	4,00	410,63	
	Cw+Ka.02.26.12/1	6.560	4,00	4,00	410,00	
	Cw+Ka.02.26.12/2	6.670	4,00	4,00	416,88	
	Cw+Ka.03.26.12/1	5.980	4,00	4,00	373,75	
	Cw+Ka.03.26.12/2	6.260	4,00	4,00	391,25	
Cw+Kc	Cw+Kc.01.27.12/1	5.980	4,00	4,00	373,75	404,58
	Cw+Kc.01.27.12/2	6.600	4,00	4,00	412,50	
	Cw+Kc.02.27.12/1	6.930	4,00	4,00	433,13	
	Cw+Kc.02.27.12/2	5.960	4,00	4,00	372,50	
	Cw+Kc.03.27.12/1	6.980	4,00	4,00	436,25	
	Cw+Kc.03.27.12/2	6.390	4,00	4,00	399,38	

**Ek C3 – So Karışımı Basınç Deneyi Sonuçları**

	Numune Adı	P (kg)	b (cm)	h (cm)	$\sigma=P/(b*h)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	ortalama
So	So.01.22.11/1	9.200	4,00	4,00	575,00	518,33
	So.01.22.11/2	9.170	4,00	4,00	573,13	
	So.02.22.11/1	7.690	4,00	4,00	480,63	
	So.02.22.11/2	7.890	4,00	4,00	493,13	
	So.03.22.11/1	7.870	4,00	4,00	491,88	
	So.03.22.11/2	7.940	4,00	4,00	496,25	
So+Ya	So+Ya.01.03.01/1	8.730	4,00	4,00	545,63	555,52
	So+Ya.01.03.01/2	9.660	4,00	4,00	603,75	
	So+Ya.02.03.01/1	9.050	4,00	4,00	565,63	
	So+Ya.02.03.01/2	7.410	4,00	4,00	463,13	
	So+Ya.03.03.01/1	8.810	4,00	4,00	550,63	
	So+Ya.03.03.01/2	9.670	4,00	4,00	604,38	
So+Yc	So+Yc.01.03.01/1	8.480	4,00	4,00	530,00	600,94
	So+Yc.01.03.01/2	10.200	4,00	4,00	637,50	
	So+Yc.02.03.01/1	8.810	4,00	4,00	550,63	
	So+Yc.02.03.01/2	8.720	4,00	4,00	545,00	
	So+Yc.03.03.01/1	11.500	4,00	4,00	718,75	
	So+Yc.03.03.01/2	9.980	4,00	4,00	623,75	
So+Yo	So+Yo.01.05.01/1	6.350	4,00	4,00	396,88	512,50
	So+Yo.01.05.01/2	8.140	4,00	4,00	508,75	
	So+Yo.02.05.01/1	9.810	4,00	4,00	613,13	
	So+Yo.02.05.01/2	8.580	4,00	4,00	536,25	
	So+Yo.03.05.01/1	8.010	4,00	4,00	500,63	
	So+Yo.03.05.01/2	8.310	4,00	4,00	519,38	
So+Ta	So+Ta.01.05.01/1	8.340	4,00	4,00	521,25	502,19
	So+Ta.01.05.01/2	9.900	4,00	4,00	618,75	
	So+Ta.02.05.01/1	7.550	4,00	4,00	471,88	
	So+Ta.02.05.01/2	7.110	4,00	4,00	444,38	
	So+Ta.03.05.01/1	6.700	4,00	4,00	418,75	
	So+Ta.03.05.01/2	8.610	4,00	4,00	538,13	
So+Tc	So+Tc.01.07.01/1	6.090	4,00	4,00	380,63	473,13
	So+Tc.01.07.01/2	6.150	4,00	4,00	384,38	
	So+Tc.02.07.01/1	8.140	4,00	4,00	508,75	
	So+Tc.02.07.01/2	8.480	4,00	4,00	530,00	
	So+Tc.03.07.01/1	8.040	4,00	4,00	502,50	
	So+Tc.03.07.01/2	8.520	4,00	4,00	532,50	
So+Ka	So+Ka.01.07.01/1	6.980	4,00	4,00	436,25	445,31
	So+Ka.01.07.01/2	7.500	4,00	4,00	468,75	
	So+Ka.02.07.01/1	7.650	4,00	4,00	478,13	
	So+Ka.02.07.01/2	5.900	4,00	4,00	368,75	
	So+Ka.03.07.01/1	7.810	4,00	4,00	488,13	
	So+Ka.03.07.01/2	6.910	4,00	4,00	431,88	
So+Kc	So+Kc.01.08.01/1	5.700	4,00	4,00	356,25	493,23
	So+Kc.01.08.01/2	9.100	4,00	4,00	568,75	
	So+Kc.02.08.01/1	7.950	4,00	4,00	496,88	
	So+Kc.02.08.01/2	7.570	4,00	4,00	473,13	
	So+Kc.03.08.01/1	9.170	4,00	4,00	573,13	
	So+Kc.03.08.01/2	7.860	4,00	4,00	491,25	

**Ek C4 – Sw Karışımı Basınç Deneyi Sonuçları**

	Numune Adı	P (kg)	b (cm)	h (cm)	$\sigma=P/(b \cdot h)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	ortalama
Sw	Sw.01.27.11/1	6.050	4,00	4,00	378,13	367,60
	Sw.01.27.11/2	5.310	4,00	4,00	331,88	
	Sw.02.27.11/1	5.910	4,00	4,00	369,38	
	Sw.02.27.11/2	6.020	4,00	4,00	376,25	
	Sw.03.27.11/1	5.910	4,00	4,00	369,38	
	Sw.03.27.11/2	6.090	4,00	4,00	380,63	
Sw+Ya	Sw+Ya.01.08.01/1	6.650	4,00	4,00	415,63	414,69
	Sw+Ya.01.08.01/2	6.630	4,00	4,00	414,38	
	Sw+Ya.02.08.01/1	6.890	4,00	4,00	430,63	
	Sw+Ya.02.08.01/2	7.350	4,00	4,00	459,38	
	Sw+Ya.03.08.01/1	6.170	4,00	4,00	385,63	
	Sw+Ya.03.08.01/2	6.120	4,00	4,00	382,50	
Sw+Yc	Sw+Yc.01.09.01/1	6.780	4,00	4,00	423,75	488,85
	Sw+Yc.01.09.01/2	7.540	4,00	4,00	471,25	
	Sw+Yc.02.09.01/1	7.070	4,00	4,00	441,88	
	Sw+Yc.02.09.01/2	8.070	4,00	4,00	504,38	
	Sw+Yc.03.09.01/1	8.720	4,00	4,00	545,00	
	Sw+Yc.03.09.01/2	8.750	4,00	4,00	546,88	
Sw+Yo	Sw+Yo.01.09.01/1	6.840	4,00	4,00	427,50	451,25
	Sw+Yo.01.09.01/2	6.900	4,00	4,00	431,25	
	Sw+Yo.02.09.01/1	7.540	4,00	4,00	471,25	
	Sw+Yo.02.09.01/2	7.470	4,00	4,00	466,88	
	Sw+Yo.03.09.01/1	7.230	4,00	4,00	451,88	
	Sw+Yo.03.09.01/2	7.340	4,00	4,00	458,75	
Sw+Ta	Sw+Ta.01.10.01/1	5.390	4,00	4,00	336,88	371,56
	Sw+Ta.01.10.01/2	5.590	4,00	4,00	349,38	
	Sw+Ta.02.10.01/1	6.410	4,00	4,00	400,63	
	Sw+Ta.02.10.01/2	6.550	4,00	4,00	409,38	
	Sw+Ta.03.10.01/1	6.410	4,00	4,00	400,63	
	Sw+Ta.03.10.01/2	5.320	4,00	4,00	332,50	
Sw+Tc	Sw+Tc.01.10.01/1	6.150	4,00	4,00	384,38	376,46
	Sw+Tc.01.10.01/2	4.340	4,00	4,00	271,25	
	Sw+Tc.02.10.01/1	6.360	4,00	4,00	397,50	
	Sw+Tc.02.10.01/2	5.790	4,00	4,00	361,88	
	Sw+Tc.03.10.01/1	6.780	4,00	4,00	423,75	
	Sw+Tc.03.10.01/2	6.720	4,00	4,00	420,00	
Sw+Ka	Sw+Ka.01.11.01/1	5.620	4,00	4,00	351,25	371,04
	Sw+Ka.01.11.01/2	5.500	4,00	4,00	343,75	
	Sw+Ka.02.11.01/1	6.400	4,00	4,00	400,00	
	Sw+Ka.02.11.01/2	5.420	4,00	4,00	338,75	
	Sw+Ka.03.11.01/1	6.260	4,00	4,00	391,25	
	Sw+Ka.03.11.01/2	6.420	4,00	4,00	401,25	
Sw+Kc	Sw+Kc.01.11.01/1	4.600	4,00	4,00	287,50	328,75
	Sw+Kc.01.11.01/2	4.420	4,00	4,00	276,25	
	Sw+Kc.02.11.01/1	5.530	4,00	4,00	345,63	
	Sw+Kc.02.11.01/2	4.930	4,00	4,00	308,13	
	Sw+Kc.03.11.01/1	6.960	4,00	4,00	435,00	
	Sw+Kc.03.11.01/2	5.120	4,00	4,00	320,00	



**Ek D1 – Co Karışımı Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları**

	Co	Co	Co+Yc	Co+Yc	Co+Tc	Co+Tc	Co+Kc	Co+Kc
Kuru Ağırlık	876,5	751,1	916,7	878,0	881,3	886,4	785,6	831,1
1. dakika	877,2	752,1	917,6	878,8	881,9	887,2	786,2	832,0
4. dakika	877,5	752,3	917,9	879,0	882,2	887,6	786,6	832,2
9. dakika	877,9	752,7	918,1	879,3	882,4	888,0	786,9	832,6
16. dakika	878,3	753,2	918,3	879,5	882,8	888,3	787,0	833,1
25. dakika	878,7	753,6	918,5	879,6	883,0	888,6	787,3	833,3
36. dakika	879,0	754,1	918,6	879,8	883,3	889,0	787,6	833,5
49. dakika	879,5	754,2	918,7	880,0	883,5	889,3	787,6	833,8
64. dakika	879,8	754,7	918,9	880,1	883,8	889,7	787,8	834,1
Geçirgenlik	0,4289	0,4784	0,3230	0,3054	0,3314	0,4358	0,3147	0,4113
Ortalama	0,45		0,31		0,38		0,36	

**Ek D2 – Cw Karışımı Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları**

	Cw	Cw	Cw+Yc	Cw+Yc	Cw+Tc	Cw+Tc	Cw+Kc	Cw+Kc
Kuru Ağırlık	844,5	867,6	903,2	926,9	858,7	841,4	773,8	799,8
1. dakika	845,4	868,6	904,4	927,9	859,9	842,3	774,8	801,1
4. dakika	846,0	869,2	904,9	928,5	860,5	843,0	775,3	801,7
9. dakika	846,8	870,1	905,3	928,7	861,0	843,5	775,9	802,1
16. dakika	847,6	870,7	905,6	929,1	861,4	844,0	776,3	802,7
25. dakika	848,4	871,4	905,9	929,5	861,8	844,5	776,7	803,2
36. dakika	849,1	872,0	906,2	929,7	862,2	845,0	777,2	803,5
49. dakika	849,9	872,5	906,5	930,0	862,6	845,4	777,5	803,8
64. dakika	850,8	873,1	906,9	930,2	862,9	845,8	777,8	804,3
Geçirgenlik	0,7770	0,7245	0,5132	0,4721	0,5877	0,5936	0,5544	0,6216
Ortalama	0,75		0,49		0,59		0,59	

**Ek D3 – So Karışımı Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları**

	So	So	So+Yc	So+Yc	So+Tc	So+Tc	So+Kc	So+Kc
Kuru Ağırlık	879,3	854,1	864,4	879,5	903,3	873,6	878,0	811,5
1. dakika	880,4	855,3	865,1	880,3	904,2	874,4	878,8	812,2
4. dakika	880,9	855,8	865,4	880,6	904,6	874,7	879,3	812,6
9. dakika	881,5	856,2	865,5	880,7	904,8	875,0	879,7	812,8
16. dakika	882,0	856,7	865,7	881,0	905,0	875,2	880,0	813,3
25. dakika	882,4	857,0	865,9	881,1	905,3	875,4	880,4	813,5
36. dakika	882,9	857,4	866,0	881,2	905,6	875,6	880,4	813,7
49. dakika	883,3	857,6	866,2	881,3	905,8	875,8	881,2	814,0
64. dakika	883,6	857,9	866,3	881,5	906,0	876,0	881,5	814,1
Geçirgenlik	0,5941	0,5417	0,2750	0,2912	0,3809	0,3392	0,4574	0,3701
Ortalama	0,57		0,28		0,36		0,41	

#### Ek D4 – Sw Karışımı Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

	Sw	Sw	Sw+Yc	Sw+Yc	Sw+Tc	Sw+Tc	Sw+Kc	Sw+Kc
Kuru Ağırlık	884,4	855,2	839,9	827,0	834,5	776,4	829,1	873,3
1. dakika	884,7	855,5	841,0	827,8	835,6	777,4	830,4	873,9
4. dakika	884,8	855,7	841,2	828,2	836,1	777,9	831,1	874,2
9. dakika	885,0	856,0	841,4	828,6	836,6	778,3	831,7	874,3
16. dakika	885,0	856,1	841,7	828,8	837,1	778,6	832,2	874,5
25. dakika	885,0	856,1	841,9	829,0	837,6	778,9	832,7	875,1
36. dakika	885,3	856,2	842,3	829,2	838,1	779,3	833,2	875,1
49. dakika	885,3	856,2	842,3	829,4	838,4	779,6	833,8	875,2
64. dakika	885,4	856,3	842,6	829,6	838,9	779,9	834,2	875,6
Geçirgenlik	0,1373	0,1647	0,3833	0,3725	0,5912	0,4043	0,6951	0,3025
Ortalama	0,15		0,38		0,50		0,50	

## Ek E – Klor Geçirgenliği Deneyi Sonuçları

Numune Adı	Klor Geçirimliği (coulombs)	Ortalama
Co	5.339,70	6.512
	7.684,20	
Co+Yc	2.310,30	1.871
	1.431,90	
Co+Tc	3.066,30	2.747
	2.427,30	
Co+Kc	1.154,70	1.162
	1.170,00	
Cw	10.351,80	11.160
	11.968,20	
Cw+Yc	2.543,40	2.657
	2.770,20	
Cw+Tc	5.352,30	5.642
	5.931,90	
Cw+Kc	3.273,30	3.209
	3.145,50	
So	8.797,50	6.696
	4.595,40	
So+Yc	1.512,90	1.517
	1.520,10	
So+Tc	4.366,80	4.524
	4.680,90	
So+Kc	1.183,50	1.287
	1.391,40	
Sw	21.139,20	20.894
	20.649,60	
Sw+Yc	3.471,30	3.371
	3.271,50	
Sw+Tc	11.843,10	11.599
	11.354,40	
Sw+Kc	2.318,40	2.702
	3.086,10	

## **ÖZGEÇMİŞ**

1983 YILINDA Merkez/ANKARA'da doğan Onur YILMAZ, ilköğretimini ve ortaöğretimini T.E.K. İlköğretim okulunda tamamlamıştır. Lise öğretimini Bahçelievler Deneme Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2000 yılında İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenim görmeye başlamıştır. 2005 bahar döneminde İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü başarıyla tamamlamış ve 2005 kış döneminde İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Bölümünde yüksek lisans okumaya hak kazanmıştır. Yüksek Lisans öğrenimi boyunca K.İ.K. Yapı'da çalışmıştır.