

**ELEKTRO-OSMOZUN KATKILI VE KATKISIZ
PORTLAND ÇİMENTO HARÇLARINA ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Fikret TÜRKER

Tezin Fen Bilimleri Ens. Verildiği Tarih : 19.6.1984

Tezin Savunulduğu Tarih : 1.10.1984

Doktorayı Yöneten Öğretim Üyesi : Prof. Dr. M. Süheyl AKMAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ferruh KOCATAŞKIN

Doç. Dr. Ali Fuat ÇAKIR

Y. G.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

EMRE MATBAACILIK

Çalışmanın yapılabilmesi için, İ.T.Ü. İnşaat
K ltesi Yapı Laboratuvarları olanaklarından ya-
lanmamı sağlayan sayın Prof. Bekir POSTACIOĞLU'
Çalışmanın yönetimini üstlenen sayın Hocam
Prof. Dr. M. Süheyl AKMAN'a, tezin yazılması sıra-
nda değerli fikirlerinden yararlandığım sayın
Prof. Dr. Ferruh KOCATAŞKIN'a, sayın Doç. Dr. Ali
at ÇAKIR'a teőekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın yapılmasını sağlayan İ.T. . Yönetimi-
teőekkür ederim.

Çalışma sırasında yardımcı olan, İ.T. . İnşaat
K ltesi Yapı Malzemesi Bilim Dalı Elemanlarına
ve Yapı Laboratuvarları çalışanlarına teőekkür
ederim.

İ Ç İ N D E K İ L E R

	Sayfa
ZET	I
UMMARY	IV
EMBOLLER	X
. GİRİŞ	1
1.1. Su/çimento oranının beton basınç dayanımı üzerine etkisi	1
1.2. Çalışmanın amacı ve kapsamı	2
2. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Suyun çimento hamuru, harç ve betondaki etkileri ve geçirdiği değişimler (Çimento-su karışımlarında kimyasal değişimler, çimento-su karışımlarında fiziksel değişimler, taze betonda su ve katı madde hareketi, çimento hamuru ve betonda suyun bulunuş biçimleri)	5
2.2. Beton karışımlarında su/çimento oranını azaltmak için kullanılan yöntemler	10
2.3. İki fazlı sistemlerde yüzeyler arası elektriksel değişimler ve elektrokinetik olaylar (Elektriksel çift tabaka ve zeta po-	12

tansiyeli, elektro-kinetik olaylar, elektro-osmozun mekanizması, bir elektrik alan etkisi ile oluşan su hareketinin iki farklı türü, çimento-su karışımlarının elektro-kinetik özellikleri)

2.4. Elektro-osmozun inşaat mühendisliğindeki uygulamaları 23

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 27

3.1. Malzemenin tanımlanması 27

(Agrega özellikleri, çimento özellikleri, katkı maddeleri)

3.2. Deney düzeninin kurulması ve ön deneyler 30

3.3. Harç karışımları 33

3.4. Deneysel çalışma yöntemi 35

(Deney tipleri, deney düzeninin tainlanması, ortam koşulları, taze harç deneyleri, sertleşmiş harç numunelerinin elde edilmesi, sertleşmiş harç deneyleri, taze harç deneylerinde zamanlama)

3.5. Deneylerin dağılımı 43

3.6. Deneysel sonuçlar 44

(Taze harç sonuçları, sertleşmiş harç özellikleri)

. TAZE HARÇLARDA DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	60
4.1. Taze harçlarda drenaj hızları ve drenaj miktarları (Katkısız harçlarda drenaj hızları, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ katkılı harçlarda drenaj hızları, kalsiyum linyosulfonat katkılı harçlarda drenaj hızları)	60
4.2. Taze harçlarda oturma hızları ve oturma kapasiteleri	79
4.3. Elektriksel direnç ölçüm sonuçları (Harç ve betonda elektriğin iletilmesi, taze harçlarda elektriksel direnç ölçüm sonuçlarının irdelenmesi, harcın karılmasını izleyen ilk 24 üncü saatteki elektriksel dirençlerin değişimi, elektriksel direnç sonuçlarıyla ilgili düşünceler)	83
. SERTLEŞMİŞ HARÇLARDA DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	94
5.1. Katkısız harç grubu (Kılcallık katsayıları, ultra-ses hızları, birim ağırlıklar, basınç dayanımları)	97
5.2. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ katkılı harçlar (Kılcallık katsayıları, ultra-ses hızları, birim ağırlıklar, basınç	112

dayanımları)	
5.3. Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlar	11
(Kılcallık katsayıları, ultra-ses hızları, birim ağırlıklar, basınç dayanımları)	
5.4. Elektro-kimyasal olaylar	12
(Killi zeminlerde elektro-kimyasal değişmeler, harçlarda elektriksel direnç değişimi ve elektro-kimyasal değişim ilişkileri, harçlarda elek- tro-kimyasal değişmeler, elektro- kimyasal olayların sertleşmiş harç özellikleri üzerine etkileri)	
6. SONUÇLAR	149
EKLER	149

ÖZET

ğurma suyu miktarı (veya su/çimento oranı), beton özelliklerine etki eden en önemli faktörlerden biridir. Beton üretimi sırasında taze betona katılan su miktarı, çimentonun hidratasyonu için gerekli olan miktarın çok üzerindedir. Fazla su, taze karışıma yeterli işlenebilirlik vermek için katılır. Öte yandan fazla su, sertleşmiş beton özelliklerini olumsuz yönde etkiler.

taze betona katılan fazla suyu geri almak amacıyla elektro-osmotik drenaj yönteminden yararlanılabilmektedir. Ancak, elektro-osmotik drenaj yöntemi yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu çalışmada, elektro-osmotik yöntemin taze harç karışımlarında fazla suyu geri almak amacıyla kullanılabilirliği ve işlenmiş sertleşmiş harç özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu konuda bilimsel nitelikte çalışmaya rastlanılamamış olması nedeni ile, temel nitelikte bir çalışma yapılması amaçlanmıştır. Bu nedenle, yöntemin pratikte uygulanması ile ilgili sorunlar üzerinde durulmamış ve deneysel çalışmalar beton yerine harç karışımları ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma 6 bölüm içermektedir. 1 inci bölümde, su/çimento oranının beton özellikleri üzerindeki etkilerine kısaca değinilerek, araştırmanın amacı ve

II

kapsamı belirtilmiştir.

2 inci bölümde, çeşitli kaynaklardan elde edilen, konu ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu bölüm, taze çimento hamuru, harç ve betondaki fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal değişimleri, çimento elektor-kinetiği, elektro-osmozun mekanizması ve inşaat mühendisliğindeki uygulamalarına ait bilgileri içermektedir.

3 üncü bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerle ilgili özellikler, drenaj yöntemi ve üretilen harç karışımları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Deneyler katkısız, Ca(OH)_2 katkılı ve kalium linyosulfonat katkılı harç karışımları üzerinde yapılmıştır. Deneyler sırasında taze harçta katı yüzeyin oturması, harcın çeşitli yüksekliklerindeki elektriksel dirençler, drenaj deneylerinde drene edilen su miktarı, zamana bağlı olarak ölçülmüştür. İşlemlerin sertleşmiş harç özellikleri üzerindeki etkilerini anlayabilmek için sertleşmiş harçta birim ağırlık, kılcallık katsayısı, ultra-ses hızı, basınç dayanımı gibi özellikler saptanmıştır.

4 üncü bölümde taze harçlardaki ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Taze harçta su drenaj hızları, katı yüzeyin oturma hızı ve kapasitesi, elektriksel dirençlerin zamanla değişimi incelenerek, elek-

III

tro-osmotik su hareketinin gelişimi ile ilgili sonuçlar çıkarılmağa çalışılmıştır.

5 inci bölümde sertleşmiş harç özellikleri irdelenmiştir. Drenaj işlemine bağlı olarak taze harçta meydana gelen boşluk yapısı değişimi ve elektro-kimyasal olaylarla sertleşmiş harç özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

6 ıncı bölümde, çalışmada elde edilen sonuçlar toplu olarak verilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, elektro-osmotik işlemle sertleşmiş harç özelliklerinde önemli ölçüde olumlu değişimler sağlanabilir. Bu olumlu değişimlerin en önemli nedeni, su drenajı sonucu taze harçta kılcal boşluk miktarının azalmasıdır. Bu olay, harcın basınç dayanımını artırıcı ve kılcal su emmesini azaltıcı etki yapmaktadır. Olumlu etkilerin diğer nedeni, uygulanan voltaja bağlı olarak taze harçta meydana gelen elektro-kimyasal değişimlerdir. Elektro-kimyasal değişimlerin olumlu etkilerini, kalsiyum esaslı katkı maddeleri kullanarak artırmak olanağı vardır.

Çalışma elektro-osmotik işlemin, sertleşmiş harç ve beton özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak yöntemin pratikte kullanılabilmesi için daha çok araştırma yapmağa gerek vardır.

IV

EFFECT OF ELECTRO-OSMOSIS ON PORTLAND CEMENT MORTARS WITH ADMIXTURE AND NON-ADMIXTURE SUMMARY

Water/cement ratio is one of the important factors affecting hardened concrete properties. In concrete production, water amount added to fresh mixture is much more than necessary for cement hydration. Excess water evaporates and leaves voids in concrete structure. These voids affect reversly hardened concrete properties (compression strength, capillarity, etc.) On the other hand, excess water is necessary for fresh mixture to have a good workability.

To produce concrete with good workability but low water/cement ratio, water-reducing admixtures can be added to fresh mixture as well as excess water can be drawn back by vacuum technic, after concrete with high water/cement ratio was placed in mould. One of the technics used to draw back excess water from fresh concrete is electro-osmotic drainage.

Electro-osmotic technic is used for dewatering clayey soils. During application of this technic, soils can be stabilized electro-chemically. Similarly, electro-osmotic technic has been used in the concrete for the same purpose, but the application was very restricted.

In this study, applicability of electro-osmotic

drainage to draw back excess water from fresh mortar mixture and affects of its application on the hardened mortar properties have been researched. Because not many satisfactory scientific papers could have been found on this subject, this study has been undertaken as a basic study. For this purpose, problems of application of the electro-osmotic drainage in concrete practice has not been considered and thus experimental study has been made on mortar mixtures in place of concrete during the work. Concrete properties are closely related to mortar phase properties. So with the results of this study, it will become easy to make further studies on concrete .

The study contains six chapters. In the first chapter, affects of water/cement ratio on hardened concrete properties have been reviewed and the aim and scope of the study has been presented.

In the second chapter, knowledges gathered from different sources on the subject have been given. these knowledges contain physical, chemical and physico-chemical aspects of the function of water in fresh cement paste, mortar and concrete. The water and solid grain movement in fresh mixtures have been included. Then knowledges on cement electro-kinetics, mechanism of electro-osmosis and

VI

and civil engineering application of electro-osmosis have been given.

In the third chapter, properties of materials used in the experimental studies, experimental technics and properties of mortar mixtures produced in the laboratory have been given. As mentioned in this chapter, experimental studies have been performed on mortar with and without admixture. Calcium based admixtures have been used because of their affects on the electro-kinetic properties and hydration of cement. One of these admixtures is pure Ca(OH)_2 and the other is calcium lignosulphonate based water-reducing admixture.

For all but one group of mortar mixtures, workability is constant. Water amount was reduced in mortars with calcium lignosulphonate based admixture in order to have the same workability as in the non-admixture mortar mixtures. For a group of mortar mixture containing this admixture, water/cement ratio was kept constant and thus workability could be increased.

During the experiments, settlement of solid surface of mortar, electrical resistance of mortar along horizontal direction at various heights and water drawn back for drainage applications were measured

VII

in order to follow variations in fresh mixtures. Density, capillarity constant, ultra-sound velocity and compression strength of hardened mortar specimens was ascertained to understand the affects of the technic on the hardened mortar properties.

In the fourth chapter, experimental results obtained from fresh mixtures have been discussed. Conclusions have been drawn by examined drainage velocity, settlement velocity, settlement capacity, variations of electrical resistance in fresh mortar with time in relation to affects of admixture and the affects of the application way of electro-osmosis and applicated voltage. So it could be possible to have better understanding of the electro-osmotic water movement in fresh mortar mixtures.

In the fifth chapter, variations on the hardened mortar properties and causes of these variations in relation with the drainage application and electro-chemical affects have been examined. In this chapter, relations between variations of void structure after drainage in the fresh mortar mixtures and variations of hardened mortar properties have been examined in the view of the experimental results. Attempt was made to find a relation between the variation of the compression strength and the variation of void content and void structure. For

VIII

this attempt, results of density, capillarity constant and ultra-sound velocity measurements which reflected void structure of hardened mortar have been used.

This chapter also includes, electro-chemical variations in the fresh mixtures due to D.C. voltage and affects of these variations on the hardened mortar properties. Since we haven't any measurement other than electrical resistance of fresh mixtures reflecting electro-chemical variations and their affects, this examination was based on the investigations of electro-chemical stabilization in soils. Some analogies have been made between soils and mortar mixtures. In the sixth chapter, conclusions drawn from investigation have been summarized. It can be concluded that important improvements of the hardened mortar properties by electro-osmotic application are possible. Most important causes of these improvements are variations of void structure and void amount in relation with water drainage. As a result of water drainage, amount of capillary voids in fresh mortar is reduced. Since capillary voids have a decreasing affect on the compression strength, less capillary voids make hardened mortar to have more strength. On the other hand, less capillary voids cause less capillary water suction in the hardened mortar. It is clear

IX

that these improvements will result in a more durable mortar.

Property improvements on the hardened mortar are not only related to water amount drawn back from fresh mixture, but also on some electro-chemical variations resulting from the voltage application. It can be shown that, more affirmative improvements of electro-chemical variations on the hardened mortar properties are possible especially with admixtures containing calcium ions.

This study demonstrates that, electro-osmotic technic can be used to improve hardened mortar and concrete properties, but it is necessary to investigate the subject further in order to apply the technic to concrete specially in reinforced structure.

SEMBOLLER

V_e	: Elektro-osmotik akış hızı (cm/sn)
	: Zeta potansiyeli (Volt)
ΔE	: Uygulanan dış elektrik alanın potansiyel farkı (Volt)
η	: Sıvı fazın viskozitesi (santipuaaz)
ΔL	: Elektro-osmoz uygulamalarında elektrodlar arasındaki mesafe (cm)
A	: Katı-sıvı karışımlarında birim boşluk hacmine düşen yüzey yükü (miliekivalan gr/cm ³)
F	: Faraday sabiti (96500 Coulomb)
r	: Elektro-osmotik akışın geliştiği boşluğun yarıçapı (cm)
k_e	: Elektro-osmotik permeabilite katsayısı (cm ² /sn.volt)
Δh_v	: Taze harçta katı yüzeyin oturma hızı (µ/dk)
$\Delta h/h$	: Taze harcın oturma kapasitesi (%)
$\mu_{0,95}$	: Sertleşmiş harçta herhangi bir özeliğin %95 güvenli değeri
$\bar{X}$	: Sertleşmiş harçta herhangi bir özeliğin ortalama değeri
$t_{0,95}$	: $v = n-1$ serbestlik derecesi ile %95 güvenli Student t değeri
n	: İstatiksel değerlendirme yapılan özeliğin nümune sayısı
s	: Sertleşmiş harçta herhangi bir özeliğin standart sapması
v_h	: Drenaj uygulanan taze harçta hidrolik akış

XI

(debi veya akış hızı)

- a : Elektro-osmotik drenajda anyonlar tarafın-
- k : Elektro-osmotik drenajda katyonlar tara-
findan su taşınımı
- e : Elektro-osmotik drenajda, elektro-osmotik
su akışı (debi veya akış hızı)
- v : Drenaj uygulamalarında drenaj hızı (cm^3/dk)
: Zaman (saat , dk vs.)
- a_i, b_i : Regresyon bağıntılarında sabitler
- h_t : Taze harçta herhangi bir t anında katı yüze-
yin, başlangıçtan o ana kadar yapmış oldu-
ğu toplam oturma miktarı (μ)
- F : Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
- ΔT : Sıcaklık değişimi ($^{\circ}\text{C}$)
- R : Elektriksel direnç (ohm)
- $\Delta R/R$: Taze harçta elektriksel direnç değişimi
(ohm/ohm)
- K : Sertleşmiş harçta kılcallık katsayısı
(cm^2/sn)
- E_c : Beton veya harç basınç dayanımı (N/mm^2)
- w : Su/çimento oranı
- W : 1 m^3 beton veya harç karışımında su mikta-
rı (Kg,lt)
- C : 1 m^3 beton veya harç karışımında ağırlıkça
çimento miktarı (Kg)
- c : 1 m^3 beton veya harç karışımında mutlak
hacim olarak çimento miktarı (lt)
- h : 1 m^3 beton veya harç karışımında hava mik-

XII

- tarı (lt)
- K_G, K_F : Graf ve Feret dayanım bağıntılarında sabitler
- V_y : Sertleşmiş harçta, harç yerleştirme doğrultusuna dik doğrultudaki (yatay doğrultu) ultra-ses hızı (Km/sn)
- V_d : Sertleşmiş harçta, harç yerleştirme doğrultusundaki (düşey doğrultu) ultra-ses hızı (Km/sn)
- KSS : Katkısız harçta şahit deney , $W/C=0,60$
- KSDD : Katkısız harçta doğal drenaj deneyi , $W/C=0,60$
- KSEO+1: Katkısız harçta elektro-osmotik drenaj deneyi, su drenajının yapıldığı taraftaki elektrod anod, $W/C=0,60$, uygulanan voltaj 1,0 V/cm
- KSEO-1: Katkısız harçta elektro-osmotik drenaj deneyi, su drenajının yapıldığı taraftaki elektrod katod, $W/C=0,60$, uygulanan voltaj 1,0 V/cm
- KSEO+0,5:Katkısız harçta elektro-osmotik drenaj deneyi, su drenajının yapıldığı taraftaki elektrod anod, uygulanan voltaj 0,5 V/cm
- KSEO-0,5:Katkısız harçta elektro-osmotik deranj deneyi, su drenajının yapıldığı taraftaki elektrod katod, $W/C=0,60$, uygulanan voltaj 0,5 V/cm
- KSEO+1TD:Katkısız harçta elektro-osmotik drenaj de

XIII

neyi, su drenajının yapıldığı taraftaki elektrod anod, $W/C=0,60$, uygulanan voltaj $1,0 \text{ V/cm}$, elektro-osmoz uygulaması su akışı kesilinceye kadar yapıyor.

CS : Ca(OH)_2 katkılı harçta şahit deney, $W/C=0,60$

CDD : Ca(OH)_2 katkılı harçta doğal drenaj deneyi
 $W/C=0,60$

CEO+1 : Ca(OH)_2 katkılı harçta elektro-osmotik drenaj deneyi, su drenajının yapıldığı taraftaki elektrod anod, $W/C=0,60$, uygulanan voltaj $1,0 \text{ V/cm}$

CEO-1 : Ca(OH)_2 katkılı harçta elektro-osmotik drenaj deneyi, su drenajının yapıldığı taraftaki elektrod katod, $W/C=0,60$, uygulanan voltaj $1,0 \text{ V/cm}$

CEO+0,5: Ca(OH)_2 katkılı harçta elektro-osmotik drenaj deneyi, su drenajının yapıldığı taraftaki elektrod anod, $W/C=0,60$, uygulanan voltaj $0,5 \text{ V/cm}$

CEO-0,5: Ca(OH)_2 katkılı harçta elektro-osmotik drenaj deneyi, su drenajının yapıldığı taraftaki elektrod katod, $W/C=0,60$, uygulanan voltaj $0,5 \text{ V/cm}$

LSS : Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçta şahit deney, $W/C=0,54$

LSDD : Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçta doğal drenaj deneyi, $W/C=0,54$

LSEO+1 : Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçta e-

XIV

lektro-osmotik drenaj deneyi, su drenajı-
yapıldığı taraftaki elektrod anod, $W/C=$
 $0,54$, uygulanan voltaj $1,0$ V/cm

LSEO-1 :Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçta elel
tro-osmotik drenaj deneyi, su drenajının
yapıldığı taraftaki elektrod katod, $W/C=$
 $0,54$, uygulanan voltaj $1,0$ V/cm

LSDD* :Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçta do-
ğal drenaj deneyi, $W/C=0,60$

LSEO+1* :Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçta e-
lektro-osmotik drenaj deneyi, su drenajı-
nın yapıldığı taraftaki elektrod anod,
 $W/C=0,60$, uygulanan voltaj $1,0$ V/cm

LSEO-1* :Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçta e-
lektro-osmotik drenaj deneyi, su drenajı-
nın yapıldığı taraftaki elektrod katod,
 $W/C=0,60$, uygulanan voltaj $1,0$ V/cm

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1. Su/çimento oranının beton basınç dayanımı üzerine etkisi

Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler üzerinde pek çok araştırmacı çalışmıştır. Bu araştırmacılar arasında Abrams, 1919 yılında yayınladığı çalışma sonuçları ve koyduğu kural ile uzun yıllar etkili olmuştur.

Abrams, beton dayanımına etki eden en önemli faktörün su/çimento oranı olduğunu belirtmektedir. İfadesine göre "belirli bir çimento ve agrega cinsi için benzer yerleştirme, kür ve deney koşullarında işlenebilir karışımların dayanımı, yalnızca karışımdaki serbest su miktarının çimento miktarına oranına bağlıdır.". Serbest su, plastik karışımda priz başlangıcında absorbe olmamış haldeki su miktarıdır.

Sonradan bazı araştırmacılar tarafından Abrams'ın koyduğu kurallar eleştirilmiştir. Gilkey'e göre "belirli bir çimento ve uygun agrega için aynı karıştırma, kür ve deney koşullarında işlenebilir nitelikteki taze betondan elde edilen sertleşmiş be-

tonların basınç dayanımları, 1) su/çimento oranına, 2) çimento/agrega oranına, 3) agreganın en büyük tane boyutuna bağlıdır" (1).

Bu eleştirilere karşılık su/çimento oranının, beton basınç dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğu bugün de kabul edilmektedir. Diğer koşullar aynı iken, su/çimento oranı arttıkça beton dayanımı azalmaktadır. Ancak bu kural belirli bir işlenebilirlik bölgesi için geçerlidir. Optimum bir su/çimento oranının altında da kalınsa, üstüne de çıkılsa dayanım düşmektedir. Beton üretilirken su miktarının, mutlaka taze betonun kalıbına iyi bir şekilde yerleşebilecek kıvamda olmasını sağlayacak miktarda olması gerekmektedir. Ancak, bu suyun bir kısmı zamanla buharlaşarak ortamdaki ayrılmakta ve yerinde boşluklar bırakmaktadır. Bu boşluklar da beton basınç dayanımını düşürücü etki yapmakta ve betonun kılcal su emmesini artırmaktadır.

1.2. Çalışmanın amacı ve kapsamı

Bu çalışmada, harç karışımlarına yeterli işlenebilirlik vermek amacıyla katılan suyun bir kısmını geri almak için elektro-osmotik drenaj yönteminin kullanılabilirliği ve yöntemin sertleşmiş harç özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

elektro-osmotik drenaj yöntemi beton karışımlarına, yukarıda belirtilen amaçla daha önce kullanılmış olmakla birlikte, yaygın kullanma alanı bulamıştır.

elektro-osmotik drenaj yöntemi killi zeminleri kurutmak amacıyla da kullanılmaktadır. Ayrıca, elektrik akımı etkisiyle zeminlerin elektro-kimyasal stabilizasyonu da gerçekleştirilmektedir (2). Zeminlerde başarıyla kullanılan yöntemin, beton karışımlarında da aynı şekilde kullanılabileceği düşünülebilir.

Çalışmada, elektro-osmotik drenajla harç karışımlarında drene edilebilecek su miktarı araştırılmış ve bu miktarı artırabilmek için kalsiyum esaslı katkı maddeleri kullanılmıştır.

Çalışmada, daha önceki uygulamalardan farklı olarak su drenajı, beton yerleştirme doğrultusuna dik yönde değil, yerleştirme doğrultusunda yapılmıştır. Böylece hidrolik akımdan da yararlanılmıştır.

Bu konuda yapılan literatür araştırmasında, uygulama ile ilgili temel nitelikte bir yayına rastlanmamıştır. Bu nedenle, yöntemin pratikte uygulanması ile ilgili sorunlar üzerinde durulmamış bu nedenle temel nitelikte bir çalışma yapılması amaç-

lanmıştır.Elektro-osmotik drenajın sertleşmiş har 6zelikleri 6zerindeki etkileri deneysel 6l66mlerle incelenerek, bu etkilerin nedenlerine yaklaşın getirilmeğe 6alışılmıştır.B6ylece elektro-osmotik drenaj y6nteminin geliştirilmesi i6in yapılabilircek araştırmalara yol g6sterici olmağa 6alışılmıştır.6alışmanın, temel bir 6alışma olması d6ř6n6ld6ę6 i6in, deneysel 6alışma har6 karışımlarıyla ger6ekleştirilmiştir.Beton 6zeliklerinin, har6 fazının 6zeliklerine yakından bağlıolduğu d6ř6n6l6rse, b6yle bir 6alışmanın 6nc6 olarak ger6ekleştirildiği anlaşılır.

BÖLÜM II

KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

aze beton karışımındaki su miktarının, dayanım ve iğer sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki etkilerini anlayabilmek için, suyun karışıma girdiğinden itibaren geçirdiği fiziksel ve kimyasal değişimleri ve bu değişimlerin etkilerini bilmek gerekir. Bu nedenle öncelikle, yukarıda belirtilen konuda yapılan yayınlardan elde edilen bilgiler verilmiştir. Daha sonra da, elektro-kinetik olaylar, çimentonun elektro-kinetiği ile ilgili bilgiler verilerek, konunun anlaşılmasına ve deneysel sonuçların değerlendirilmesine yardımcı olmağa çalışılmıştır. Elektro-osmosun inşaat mühendisliğindeki en bilinen uygulaması olan zeminlerin kurulması ve stabilizasyonu ile ilgili çalışmaların edinilen bilgiler, özellikle harçlarda elektrik kimyasal etkilerini anlayabilmek için yardımcı olabilecek niteliktedir. Elektro-osmosun betonlarda uygulanması ile ilgili yayınlar çok azdır ve yetersiz bilgiler içermektedir. Bununla birlikte, bu yayınlardan elde edilen bilgiler özet olarak verilmiştir.

2.1. Suyun çimento hamuru, harç ve betondaki etkileri ve geçirdiği değişimler

aze beton karışımlarındaki su miktarının, dayanım

ve diğer sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki etkisini anlayabilmek için, suyun karışıma girdiği andan itibaren fiziksel ve kimyasal değişimlerini incelemek gerekir.

2.1.1. Çimento-su karışımlarında kimyasal değişmele

Çimento su ile temas ettiği andan itibaren ilk birkaç dakika içinde şiddetli bir reaksiyon meydana gelir. Bu şiddetli reaksiyonun nedeni C_3A bileşiğidir. Çimento üretimi sırasında katılan jips bu reaksiyonu bir ölçüde yavaşlatır ve ani prizi önler. Diğer klinker bileşiklerinden C_4AF' 'in de su ile reaksiyonu hızlıdır. Kalsiyum silikatların (C_3S ve C_2S) su ile reaksiyonları nisbeten yavaş gelişir. Özellikle C_2S 'in su ile reaksiyonu çok yavaş gelişir. İlk reaksiyonlardan sonra bir yavaşlama olur. Reaksiyonlar yavaş biçimde priz başlangıcına kadar sürer. Priz başlangıcında, karışımın viskozitesi ani olarak artar ve reaksiyonlar hızlanır. Bir süre sonra, kimyasal reaksiyonlarda ikinci bir hızlanma olur (priz sonu).

Çimentonun su ile teması sonucu meydana gelen kimyasal reaksiyonlarla hidrate ürünler oluşur. Su bu hidrate ürünlere kimyasal olarak bağlanır. Hidrate ürünler çoğunlukla kolloidal niteliktedir ve sıvı ortamda koagüle olarak çökelirler. Bu şekilde boşluklu bir jel yapı meydana gelir.

2.1.2. Çimento-su karışımlarında fiziksel değişmeler

Taze beton, karıştırma bittiği anda sürüklenmiş hava, kılcal boşluklar içerir. Kılcal boşluklarda su bulunur. Daha sonra kalıba yerleştirme sırasında bir miktar hava hapsedilerek ortamda kalır. Kimyasal reaksiyonlar sonucu, kılcal boşluklar kısmen hidrate ürünler tarafından doldurulur. Hidratasyonla oluşan jel boşlukludur. Hacminin %28'i kadar boşluk içerir (3). Zamanla jel oluşumu sonucu toplam jel boşluğu artarken, kılcal boşlukların çapları küçülür ve miktarı azalır.

Taze betondaki kılcal boşluk miktarı, su/çimento oranı ile birlikte artar. Başlangıçta kılcal boşluklar sürekli bir sistem oluştururlar. Hidratasyonlar geliştikçe süreklilik azalır. Çimento hamurlarında, kılcal boşlukların tamamen süreksiz hale gelmesi için su/çimento oranının 0,38 den küçük olması gerekir (3,4). Su/çimento $>0,70$ olması halinde ise, çimentonun hidratasyonu tamamlansa dahi, kılcal boşluklar süreksiz hale gelememektedir (5).

2.1.3. Taze betonda su ve katı madde hareketi

Taze beton kalıbına yerleştirildiği andan itibaren katı taneler yerçekimi etkisiyle çökelmeye başlar-

lar.İri agrega tanelerinin çökmesi, kemerlenme nedeniyle kısa zamanda durur.Harç fazı içinde çökme devam eder (6).Katı taneler çöklerken yüzeyde bir su tabakası oluşur.Bu olaya terleme adı verilir.Bu arada bir miktar sürüklenmiş hava habesi de ortamdan kaçır.Katı taneler arasından geçerek yüzeye doğru hareket eden suyun bir kısmı, iri agrega tanelerinin altında kalarak su cepleri adı verilen zayıf bölgeler oluşturur.

King ve Raffle, taze çimento hamurlarında su ve tane hareketini üç aşamaya ayırmaktadırlar (7). Birinci aşamada katı maddeler çökmekte, su üstte toplanmaktadır.Ortamda hidrostatik basınç dışında, katı maddenin su tarafından taşınmayan ağırlığı nedeniyle fazla basınç (excess pressure) vardır.İkinci aşamada fazla basınç negatif boşluk basıncına dönüşmekte, üst yüzeyde toplanan su aşağıya çekilmektedir.Bu aşamada hamur yapı kendini taşıyacak hale gelir.Üçüncü aşamada, üstteki su seviyesi katı yüzeye kadar inmiştir.Daha fazla su çekilmesi ve buharlaşma nedeniyle su kaybı, yüzeyde konkav meniskler oluşmasına yol açar.

Yüzeyden buharlaşma hızı yüksekse,üçüncü aşamaya terleme sürerken ulaşılır.Hamur veya beton karışımı bu sırada yeterince dayanım kazanamadığı için oluşan negatif basınç büzölmeye neden olur (plas-

ik büzülme).Negatif basıncın max. değeri su/ i-
ento oranına bağlıdır.Su/ imento oranı yükseldik-
e max. değere geç ulaşılır(8).Plastik büzülme,
etonda çatlaklar oluşmasına neden olduğu için
zararlıdır.

betonun terleme ile kaybettiği su miktarı, toplam
suyun %1'i civarındadır.Su/ imento oranı arttıkça
terleme hızı artar.Düşük hızda terleme zararlı ol-
mamasına karşın, yüksek su/ imento oranlarında
(W/C >0,70) zararlıdır.Hızlı su hareketi sonucu
kılcal boşluk miktarı artar ve ince  imento tane-
leri üst yüzeye doğru sürüklenerek  niformluk bo-
zulur.

2.1.4. Çimento hamuru ve betonda suyun bulunuş biçimleri

Eğer söz konusu beton ise ve agrega karışıma kuru
olarak giriyorsa, suyun bir kısmı agrega yüzeyle-
ri tarafından absorbe edilir.Absorbe edilen suyun
miktarı, agreganın özgül yüzey alanına ve agrega
tanelerinin biçimine bağlıdır.Bir kısım su ise ag-
rega boşluklarına girecektir.Agrega karışıma doy-
gun halde giriyorsa bu şekilde su kaybı olmaz.

Başlangıçta suyun büyük bölümü kılcal boşluklarda
bulunur.Hidratasyonla birlikte suyun bir kısmı
kimyasal olarak hidrate ürünlere bağlanmaya baş-

lar.Bir kısmı da, hidrate ürünlerin oluşturduğu jel boşluklarında kalır.Jel suyu katı yüzeyler tarafından adsorbe edilmiş haldedir.Hidratasyon sürdükçe, kılcal boşluklardaki su hidrate ürünlerin yapısına girer.Çimentonun hidratasyonu sonucu kimyasal olarak bağlanan su miktarı, hidratasyona giren çimento ağırlığının yaklaşık %13'ü kadardır.

Eğer karışım dış çevreye karşı sızdırmaz halde değilse, başlangıçtan itibaren terleme ile yüzeye çıkan suyun bir kısmı çevrenin sıcaklık ve nem derecesine bağlı olarak buharlaşır.Bu durumda, çimentonun hidratasyonunun tamamlanması için gerekli suyun tamamı, yoğurma suyundan sağlanamaz.Hidratasyon, karışımın bulunduğu çevredeki mevcut nem ile tamamlanır.

Karışım dış çevreye karşı tamamen sızdırmaz halde ise,karışımındaki toplam su miktarı, hidratasyon için gerekli suyun iki katına eşit veya daha fazla ise hidratasyon tamamlanır.

2.2. Beton karışımlarında su/çimento oranını azaltmak için kullanılan yöntemler

Beton üretiminde her zaman, taze halde belirli bir işlenebilirliğe, sertleşmiş halde istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olacak bir karışım elde edilmek istenir.Sertleşmiş beton özellik-

lerini iyileştirmek için su/çimento oranının düşük, taze karışımı kalıba min. enerji sarfıyla yerleştirmek için de oranın yüksek olması gerekir. Bu çelişkiyi gidermek için çeşitli yöntemler vardır.

Beton karışımlarında su/çimento oranını düşük tutabilmek için başvurulan yöntemleri iki gruba ayırabiliriz : 1) İşlenebilirliği ve yerleştirme koşullarını iyileştirmek, 2) su/çimento oranını yüksek seçip, karışım kalıba yerleştirdikten sonra fazla suyu geri almak.

Belirli bir su/çimento oranına sahip beton karışımlarının işlenebilirliğini artırmak veya belirli bir işlenebilirliğe sahip düşük su/çimento oranıyla beton üretmek için akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Son zamanlarda, kullanımı yaygınlaşan süper akışkanlaştırıcı katkı maddelerini kullanarak, işlenebilir bölgede su/çimento oranını 0,28'e kadar düşürmek olanağı vardır. Ancak akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin, uzun sürede beton dayanımını düşürücü etki yaptıkları durumlar da gözlenmiştir. Süper akışkanlaştırıcılar ise maliyeti çok artırırlar.

Yüksek su/çimento oranıyla beton üretilip kalıbına yerleştirdikten sonra, fazla suyu geri almak ama-

cıyla en çok kullanılan yöntem vakum yöntemidir. Beton kalıbına yerleştirildikten sonra, üst ve yan yüzeylerde vakum oluşturularak fazla su çekilmektedir. Vakum yönteminin kullanılabilirliği, beton tabakasının derinliği ile sınırlıdır. Vakum, uygulandığı yüzeyden 30 cm uzaklığa kadar etkili olabilmektedir. Uygulama sırasında su ile birlikte, bir miktar çimento ve ince agreganın vakum uygulanan yüzeye doğru hareket ettiği de gözlenmektedir (3,9,10).

Taze betonda fazla suyu geri almak amacıyla kullanılan diğer bir yöntem elektro-osmozdur. Bu yöntemde, taze betona bir doğru akım verilmekte, akım etkisiyle katoda (elektriksel güç kaynağının negatif kutbuna bağlı olan elektrod) doğru hareket eden su, katod bölgesinden pompayla çekilmektedir. Bu yöntem yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu çalışmada elektro-osmozun, taze betondaki fazla suyu geri almak amacıyla kullanılabilirliği araştırılacaktır. Bu nedenle sonraki paragraflarda, katı sıvı karışımlarında elektro-kinetik olaylar üzerinde durulacaktır.

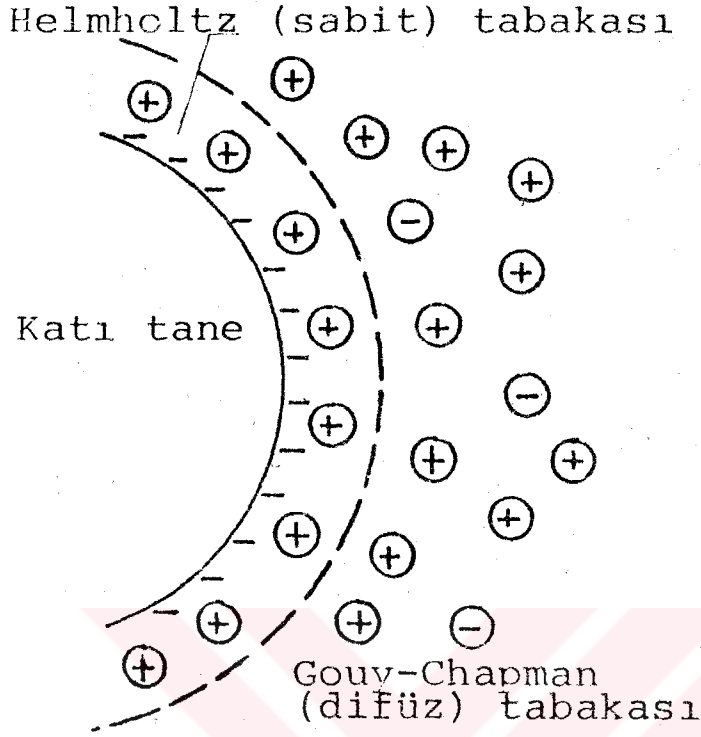
2.3. İki fazlı sistemlerde yüzeyler arası elektriksel değişimler ve elektro-kinetik olaylar

Katı ve sıvı karışımından oluşan bir sistemde, iki

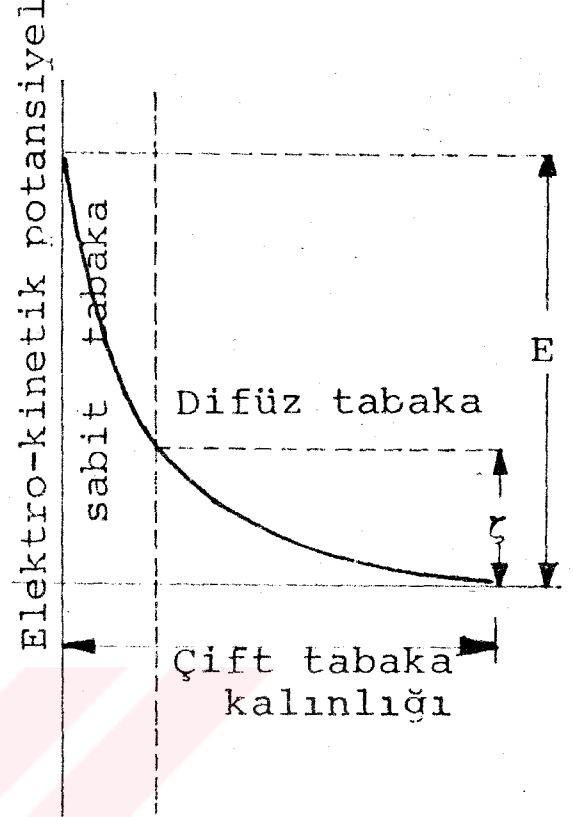
faz birbirine göre ters işaretli elektrik yükleri kazanırlar. Cohen kuralına göre, fazlardan dielektrik sabiti büyük olan diğerine göre pozitif yüklenir. Ancak bu kuralın, özellikle çözeltiler için her zaman geçerli olmadığı da belirtilmektedir (11,12). İki fazın birbiri ile temas ettiği zaman kazandıkları elektriksel yükün kaynağı konusunda çelişkili görüşler vardır ve bu konu tam olarak aydınlatılamamıştır.

2.3.1. Elektriksel çift tabaka ve zeta potansiyeli

Katı ve sıvı fazlar birbiri ile temas ettikleri zaman, katı yüzey civarında iyon konsantrasyonlarında bazı değişimler olur. Briggs'e göre, her katının belirli bir iyon cinsi için özgül adsorpsiyon yeteneği vardır (12). Katı yüzey, bu nedenle çoğunlukla belirli bir grup iyonu adsorbe eder. Örneğin kil taneleri su ile temas ettikleri zaman negatif yüklenirler. Bu durumda tanelerin anyonları adsorbe etmiş olmaları gerekir. Katı yüzeye belirli bir elektriksel yük veren bu iyonlara eş iyonlar (co-ions) adı verilir. Eş iyonların karşısında, katı yüzeydekilere göre ters yüklü iyonlar bulunur. Bu iyonlara da karşıt iyonlar (counter-ions) adı verilir. İki farklı iyon grubu elektriksel çift tabaka oluştururlar. Helmholtz bu elektriksel çift tabakayı bir kondansatör gibi kabul etmiştir. Gouy-Chapman, Helmholtz modelindeki gibi sabit bir ta-



Şekil 2.1- Katı-sıvı karışımlarında, negatif yüklü katı tane civarında iyon dağılımı (şekildeki durumda zeta potansiyeli negatif)



Şekil 2.2- Katı-sıvı karışımlarında, sabit ve difüz tabakada potansiyel düşüşü

baka olmadığını, karşıt iyonların katı yüzeyden uzaklaştıkça azalan konsantrasyonda sıvı fazda dağıldığını belirtmişlerdir. Daha sonra Stern iki modeli de birleştirmiştir. Stern'e göre, katı tane yüzeyi yakınında Helmholtz sabit çift tabakasından sonra, karşıt iyon konsantrasyonunun giderek azaldığı Gouy-Chapman difüz tabakası bulunmaktadır (Şekil 2.1). Stern'in önerdiği bu modelin de yetersiz olduğu, sonraki araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur (13). Ancak, katı-sıvı karışımlarında elektriksel çift tabaka oluşumunu, basit o-

larak yukarıda açıklandığı biçimde kabul edebiliriz.

İyonlar sıvı fazda, assosiye (birleşmiş) haldeki su molekülleri ile çevrili halde bulunurlar.Çift tabakanın bir kanadını oluşturan ve katı tane tarafından adsorbe edilmiş bulunan iyonlar ise, çevrelerindeki su moleküllerinden arınmış haldedirler.Katı tane, yüzeyine bütünüyle belirli iyonları adsorbe edebildiği gibi, kısmen su moleküllerini, kısmen de iyonları adsorbe edebilir.Adsorbe haldeki su moleküllerinin viskozite ve dielektrik sabiti gibi özellikleri esas su kütlesinden farklıdır.

İyonların yukarıda açıklandığı biçimde düzenlenmesi, iki tabakada farklı potansiyel düşmelerine neden olur (şekil 2.2).Sabit tabakadaki potansiyel düşüşü ani, difüz tabakadaki yavaştır.Her iki tabakadaki potansiyel düşmelerinin toplamı olan E değeri Helmholtz potansiyel farkıdır.Difüz tabakadaki potansiyel düşüşü (ζ), zeta potansiyeli adını alır ve elektro-kinetik olaylarda önemli rol oynar.

2.3.2. Elektro-kinetik olaylar

Katı-sıvı temas yüzeyi civarındaki zeta potansiyel farkı,elektro-kinetik olayların meydana gelmesine neden olur.Bu şekildeki iki fazlı bir sis-

teme dışarıdan potansiyel farkı uygulandığı zaman, katı faz sabit kalır sıvı faz hareket ederse, elektro-osmoz adı verilen olay meydana gelir. Sıvı faz sabit kalır katı faz hareket ederse olay elektro-ferez adını alır.

Dışarıdan bir potansiyel farkı uygulanmadan fazlardan biri hareket ederse, bu hareket bir potansiyel farkı oluşturur. Katı fazın hareketi (sedimentation, settlement çökelme) çökelme potansiyeli ni, sıvı fazın hareketi (bleeding-terleme) veya katı fazdan bir sıvı geçişi akış potansiyelini oluşturur.

Çalışmamız açısından elektro-osmoz olayı önemli olduğu için, sonraki paragraflarda elektro-osmozla ilgili bilgiler verilecektir.

2.3.3. Elektro-osmozun mekanizması

Bir elektrik alan etkisi ile sıvı fazın hareketi, katı faz içindeki kılcal boşluklarda meydana gelmektedir. Böyle bir akışta, akış hızını hesaplamak için Helmholtz, iki ucu arasına bir potansiyel farkı uygulanan ve içinde sıvı bulunan bir kılcal borudaki akışı model olarak almıştır. Sonradan Smoluchowski tarafından sonuçlandırılan çalışmaya göre elektro-osmotik akış hızı şu bağıntı ile veril-

ektedir:

$$v_e = \frac{D \cdot \zeta \cdot \Delta E}{4 \pi \cdot \eta \cdot \Delta L} \quad (2.1)$$

- v_e : elektro-osmotik akış hızı (cm/sn)
 ζ : zeta potansiyeli (volt)
 ΔE : uygulanan dış elektrik alanın potansiyel farkı (volt)
 η : sıvı fazın viskozitesi (santipauaz)
 ΔL : elektrodlar arasındaki mesafe (cm)
 D : sıvı fazın dielektrik sabiti (Coulomb/volt.cm)

2.1) eşitliği, büyük çaplı boşluklar içeren karışımlar için geçerlidir. Burada çift tabaka kalınlığı, boşluk çapı yanında ihmal edilmektedir. İnce anelli katı madde ve daha küçük çaplı boşluklar içeren karışımlar için Schmidt şu bağıntıyı vermektedir:

$$v_e = \frac{r^2 \cdot A \cdot F \cdot \Delta E}{8 \eta \cdot \Delta L} \quad (2.2)$$

- A : birim boşluk hacmine karşı gelen yüzey yükü yoğunluğu (miliekivalan gr/cm³)
 F : Faraday sabiti (96500 Coulomb)
 r : akışın geliştiği boşluğun yarıçapı (cm)

Bu bağıntıda da iyonların boşluk kesitinde üniform

dağıldığı varsayılmaktadır (14). Bu varsayım da gerçektekinden farklıdır.

Hangi bağıntı kullanılırsa kullanılsın, bir dış potansiyel farkına bağlı olarak katı faz içinde hareket eden suyun akış hızı şu şekilde verilebilir (15,16) :

$$v_e = k_e \frac{\Delta E}{\Delta L} \quad (2.3)$$

k_e , elektro-osmotik permeabilite katsayısı adını alır ve eşitlikteki terimlerin birimleri ile hesaplanırsa, birimi $\text{cm}^2/\text{sn.volt}$ olarak bulunur.

2.3.4. Bir elektrik alan etkisi ile oluşan su hareketinin iki farklı türü

Katı madde ve sudan oluşan bir karışıma potansiyel farkı uygulandığı zaman, su hareketi iki farklı biçimde gelişir. Birinci tür akış elektro-osmotik akıştır. Bu akış, elektriksel çift tabakanın sıvı fazdaki kanadını oluşturan karşıt iyonların, elektriksel alan etkisiyle hareketleri sonucu oluşur. Hareket eden karşıt iyonlar beraberlerinde su moleküllerini de taşırlar. Böylece su karşıt iyonların hareket ettiği elektroda doğru hareket eder. Aynı anda diğer bir sıvı hareketi de, sıvı fazda çift tabaka dışındaki iyonların hareketi sonucu

lişir. İyonlar su içinde, assosiye olmuş (birleş-) su molekülleri tarafından sarılmış halde bulunurlar. Bu nedenle bir elektrik alan etkisiyle hareket ettikleri zaman, assosiye haldeki su moleküllerini de beraberlerinde taşırlar. Elektrolitik madde konsantrasyonu arttıkça, bu şekilde taşıyan su, önemli miktara ulaşır. Elektrolitik madde sudaki konsantrasyonu 0,1 N (normal) değeri-geçince, su hareketinin tamamının yaklaşık olarak, assosiye haldeki su moleküllerini taşıyan iyonların hareketi sonucu meydana geldiği söylene-
bilir (12).

elektro-osmotik akış hızı, bazı fiziksel ve kimyasal faktörlerden etkilenir. Deney ve uygulama sırasında kullanılan teknik de akış hızını etkiler (5).

3.5. Çimento-su karışımlarının elektro-kinetik özellikleri

Çimento-su karışımlarının elektro-kinetik özellikleri hakkındaki bilgiler azdır. Son yıllarda bu alandaki çalışmalar artmaktadır.

Çizgi araştırmacılar, çimentonun yaklaşık %70'ini oluşturan C_3S ve C_2S bileşiklerinin elektro-kinetik özelliklerini incelemişlerdir (17,18,19,20).

İnceleme sonuçları da, çimentonun su karşısın-

daki elektro-kinetik özellikleri hakkında bilgi edinmemizi sağlar.

Çimento su karşısında kimyasal olarak çok aktiftir, su ile karıştırılınca kısa zamanda çözünür. Çimentonun çözünmesi sonucu suya geçen başlıca iyonlar, iki valanslı Ca^{+2} katyonu ve SO_4^{-2} anyonu bir valanslı Na^{+1} ve K^{+1} katyonları ile OH^{-1} anyonlarıdır. Bu durumda sıvı fazın elektrolitik karakterde olduğu söylenebilir.

Steinour, çimentonun ana bileşenlerinden $\beta\text{C}_2\text{S}$ -su ve çimento-su karışımlarında elektro-osmoz deneyleri yapmıştı. Bu deneyler sonucu, $\beta\text{C}_2\text{S}$ için hesaplanan zeta potansiyeli değerleri Powers tarafından verilmektedir (17). Steinour'un çalışmasına göre, $\beta\text{C}_2\text{S}$ taneleri su içinde çözündükleri zaman, yüzeylerine Ca^{+2} iyonları adsorbe ederek pozitif yüklenmektedir. Powers, çimentonun da benzer sonuç vereceğini belirtmektedir. $\beta\text{C}_2\text{S}$ tanelerinin su karşısındaki zeta potansiyeli değeri +11 milivolt olarak verilmektedir. Bu yükün değeri ve işareti, ayrıca bir katkı maddesi olması halinde değişmektedir. Ancak, $\beta\text{C}_2\text{S}$ için verilen zeta potansiyeli değerinin, bileşiğin su ile temas etmesinden sonra hangi zaman dilimi için geçerli olduğu ve zamanla değişip değişmediği belirtilmemektedir.

Çimentonun ana bileşenlerinden C_3S 'in su içindeki zeta potansiyelini Suzuki ve arkadaşları, akış potansiyeli tekniği ile belirlemişlerdir (18). Bu araştırmacılara göre C_3S 'in su karşısındaki zeta potansiyelinin ve yüzey yükünün değeri ve işareti zamanla değişmektedir. C_3S 'in su ile karıştırılmasından sonraki ilk 20 dakikada zeta potansiyeli kararlı değildir, düzensiz olarak negatif ve pozitif değerler almaktadır. 20 inci dakikadan sonra tane yüzeylerinde kalsiyum silikat jeli oluşmakta ve adsorbe haldeki Ca^{+2} iyonları taneye pozitif yük vermektedir, hesaplanan zeta potansiyeli de pozitif değerdedir. 50 inci dakikadan sonra çözünme nedeniyle Ca^{+2} iyonları suya geçmekte, yüzeyde oluşan hidrate silikatlar taneye negatif yük vermektedir. 140 inci dakikadan sonra tekrar adsorbe edilen Ca^{+2} iyonları nedeniyle C_3S taneleri tekrar pozitif yüke sahip olmaktadır.

Çimento-su karışımlarında zeta potansiyeli konusunda Daimon ve Roy'un çalışmalarına rastlanmaktadır (19,20). Bu araştırmacılar çimento-su karışımlarında, katkısız ve katkılı halde elektroforez deneyleri yapmışlardır. Katkısız halde, çimento tanelerinin su içindeki elektroforetik hareketi kontrol edilemediği için, belirli bir zeta potansiyeli değeri hesap edilemediği belirtilmektedir. Araştırmacılara göre katkı maddesi olarak süper-

akışkanlaştırıcı kullanılması halinde, çimento negatif zeta potansiyeline sahip olmaktadır. Negatif zeta potansiyelinin değeri $-40 \sim 50$ mV değerlerini alabilmektedir.

Organik kökenli bazı akışkanlaştırıcı maddelerin çimento tanesinin negatif zeta potansiyeline sahip olmasına neden olduğunu belirten bazı araştırmacılar vardır. Powers linyosulfonatların, çimento tanelerine negatif yük verdiklerini ileri sürmektedir (17). Çimento tanesi, bileşiğin negatif yüklü linyosulfonat kökünü adsorbe etmekte, bu şekilde negatif yüklü tane haline gelmektedir. Bu durumda tanenin sahip olduğu zeta potansiyeli de negatif bir değer olmaktadır.

Zeta potansiyelinin değeri ve işareti, çimento-sı karışımlarının yapısını etkiler. Çimento hamuru flokül yapıda bir karışımdır. Flokül yapıdaki bir karışımda katı madde, flokül adı verilen topaklar halinde bulunur. Çimento hamuru ayrı ayrı floklar dan oluşmaz, tek bir flokül gibi davranır. Zeta potansiyelinin negatif yüksek değerler alması, çimento tanelerinin birbirlerini iterek dağılmalarına neden olur. Organik kökenli bazı anyonik katkı maddelerinin (linyosulfonatlar gibi) çimento hamurunu ve betonu akıcı hale getirmeleri bu şekilde açıklanmaktadır (21).

Zeta potansiyeli, elektro-osmotik akışı doğrudan etkiler.(2.1) inci bağıntıda, zeta potansiyelinin elektro-osmotik akış hızını doğrudan etkilediği, mutlak değeri arttıkça akış hızının artacağı görülmektedir.

2.4. Elektro-osmozun inşaat mühendisliğindeki uygulamaları

Yapılarda, duvar ve temellerin kurutulması amacıyla elektro-osmoz olayından yararlanılmaktadır (22, 23,24) .

Elektro-osmoz, daha geniş biçimde zeminlerin kurutulması ve stabilizasyonu amacıyla uygulanmaktadır.Bu çalışma yapılırken, zeminler üzerindeki uygulamalar ve deneysel çalışmalardan yararlanılmıştır.

Zeminlerde elektro-osmotik drenajda tane boyutu önemlidir (2,14).Elektro-osmotik drenajın, tane boyutu 1,5-40 μ arasında olan killi zeminler için uygun olduğu belirtilmektedir.

Killi zeminlerde, kil taneleri yüzeylerine anyonları adsorbe ederek negatif yüklenirler.Bu durumda çift tabakanın sıvı fazdaki kanadı katyonlardan oluşur.Bir elektrik alan etkisinde katyonlar katoda (elektriksel güç kaynağının negatif kutbuna bağlı

elektrod) doğru hareket ettikleri için, elektro-osmotik akış katoda doğru gelişir (14).

Elektro-osmotik işlem sırasında su drenajı ile beraber elektro-kimyasal stabilizasyon da gerçekleşmektedir. Elektrik akımı etkisiyle bazı tersinmez (irreverzibil) bileşikler oluşması, kolloidal koagülasyon ve iyon değişimi gibi olaylar sonucu, stabil ve koheziv bir kil yapısı elde edilmektedir (25,26,27,28).

Zeminlerin elektro-kimyasal yöntemle drenajı ve elektro-kimyasal stabilizasyonu ile ilgili teorik ve deneysel çalışmalara, uygulamalara ait bilgilere literatürde sık rastlanmaktadır (29,30,31,32,33,34).

betonda fazla suyu geri almak amacıyla elektrik akımından yararlanmak düşüncesi pek ilgi görmemiştir. Taze betona doğru akım verilerek donatı ile beton arasındaki aderansı artırmak için çalışmalar yapılmıştır (35). Bu çalışmalarda, taze betondaki suyun drene edilmesi düşünülmemiştir. Taze betonda elektro-osmotik drenajla ilgili olarak A. Pogany ve W. Pogany'nin birer yayınına rastlanılmıştır (36,37).

A. Pogany ve W. Pogany, elektro-osmotik drenajın

taze betondaki fazla suyu geri almak için en uygun yöntem olduğunu belirtmektedirler. Bu araştırmacılara göre elektro-osmotik drenajla, taze betondaki su/çimento oranını 0,20-0,30 değerlerine indirmek olanağı vardır. Taze betonda doğru akım etkisiyle suyun katoda doğru hareket ettiği ve bu bölgede toplanan suyun, boru şeklindeki katoddan pompa ile alındığı belirtilmektedir. Araştırmacılara göre, elektro-osmotik yöntemin taze betondaki uygulaması sırasında: 1) Elektrodlar arasındaki mesafe 1,50 m yi aşmamalıdır, 2) uygulanan potansiyel farkı 1,7 V/cm yi aşmamalıdır. Daha yüksek voltajda, elektroforetik etki nedeniyle çimento katoda doğru hareket etmektedir, 3) uygulanacak min. voltaj 30 volt olmalıdır, 4) uygulama sırasında beton sıcaklığı 50 °C'ı aşmamalıdır, 5) uygulama sırasında suyun bıraktığı boşlukların kapanması için vibrasyon yapılmalıdır.

1954 yılında yayınlanmış bir makalede, "electric moulding processes" adı altında elektro-osmotik drenaj işleminden bahsedilmektedir (38). Yöntemin bir firma tarafından prefabrik beton ve hafif beton üretiminde kullanıldığı belirtilmektedir. Uygulamada, elektro-osmotik su drenajının yanında, elektrik akımının betonda sıcaklık artırıcı etkisinden de yararlanılmaktadır. Isınma sonucu beton hızlı priz yapmakta ve priz büzülmesi (plastik büzül-

me) olmamaktadır. Sonuçta sertleşmiş beton dayanımının %20 oranında arttığı belirtilmektedir.

W. H. Taylor' da, taze betonda elektro-osmotik drenajdan kaynak göstermeden bahsetmektedir (39). Ancak, taze betonda elektro-osmotik drenaj yönteminin yaygın olarak kullanılmadığı, bu alanda son yıllarda yayın olmamasından anlaşılmaktadır.



BÖLÜM III

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzemenin tanımlanması

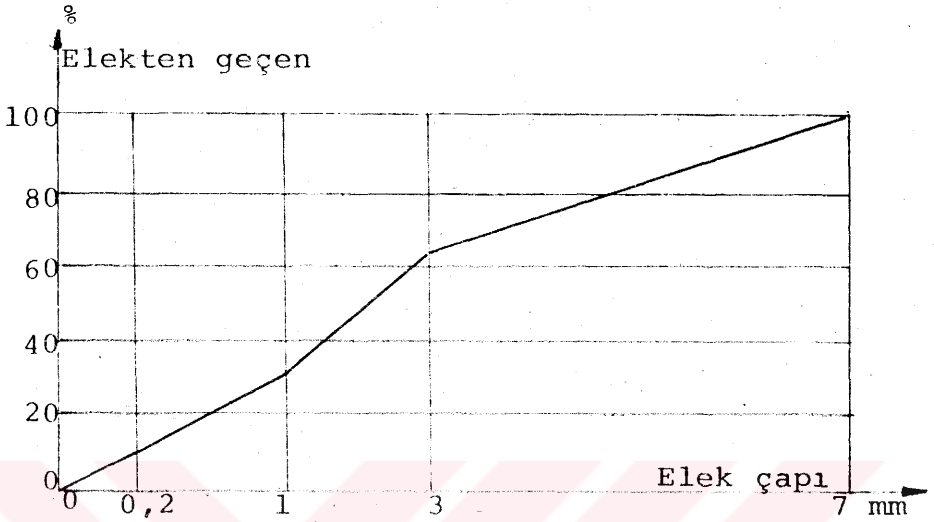
3.1.1. Agreganın özellikleri

Agrega olarak, İstanbul piyasasında Çanakkale yöresi Kale Arkası çakılı olarak bilinen agregadan temin edilmiştir. Agreganın önce yıkanarak, havada kurutulmuştur. Sonra 7 mm lik elekten elenerek, 7 mm den geçenler kullanılmak üzere ayrılmıştır. Yıkama sırasında ince malzemenin önemli bir kısmı suyla sürüklenmiştir. Bu nedenle, bir cam fabrikasından temin edilen öğütülmüş silisten ilave yapılmıştır. Öğütülmüş silistin tümü 0,2 mm lik elekten geçmektedir. Bu şekilde elde edilen kumun granülometrik bileşimi, granülometri grafiği ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Eleke çapı (mm)	7	3	1	0,2
Elekten geçen %	100	65	32	11

Tablo 3.1- Agreganın granülometrik bileşimi

Birim ağırlık : 1,65 gr/cm ³	Su emme : %1,9
Özgül ağırlık : 2,58 gr/cm ³	Çamur. mad. mik. : %0,5
Kompasite : %64	Organik madde : yok



Şekil 3.1- Harç üretiminde kullanılan agreganın granülometri grafiği

3.1.2. Çimento özellikleri

Deneylerde kullanılan, Çanakkale Fabrikası üretimi Portland çimentosunun özellikleri aşağıda verilmiştir

Fiziksel özellikler:

Özgül ağırlık : $3,033 \text{ gr/cm}^3$ 200µ elekte kal.: %0,06

Özgül yüzey : $3019 \text{ cm}^2/\text{gr}$ 90µ elekte kal.: %3,54

Priz başlangı.: 2 saat 5 dk.

Priz sonu : 2 saat 50 dk.

Normal kıvam suyu : %26

Le Chatelier iğnelerinin toplam açılması : 1 mm

Mekanik özellikler (Rilem-Cembureau yöntemine göre):

<u>Basınç dayanımı (N/mm²)</u>		<u>Eğilme-çekme day. (N/mm²)</u>	
<u>7 günlük</u>	<u>28 günlük</u>	<u>7 günlük</u>	<u>28 günlük</u>
32,9	40,3	5,8	7,1

Kimyasal özellikler:

SiO ₂ (çözünen)	: %20,31	MgO	: %1,25
Çözünmeyen kalıntı:	%0,50	Kızdırma kaybı	: %1,58
Al ₂ O ₃	: %5,05	SO ₃	: %2,70
Fe ₂ O ₃	: %3,22	Serbest CaO	: %1,74
CaO	: %63,55		

Bogue formüllerine göre karmaşık bileşikler:

C₃S: %58,1 , C₂S: %14,5 , C₃A: %7,9 , C₄AF: %9,8

Deneyisel çalışmalar uzun sürdüğü için, deneylerin başlangıcından yaklaşık 8 ay kadar sonra çimento-nun priz süreleri, normal kıvam suyu ve 7 günlük dayanımlar kontrol edilmiş ve önemli bir değişme görülmemiştir.

3.1.3. Katkı maddeleri

Deneylerde 3 tür katkı maddesi kullanılmıştır. Bu maddelerden biri saf Ca(OH)₂ tir. Bu madde toz halindedir. Diğer iki madde kalsiyum linyosulfonat esaslıdır. Bunlardan A katkısı sıvı halindedir ve bazı yabancı maddeler içermektedir. B katkısı toz halindedir. A ve B katkıları ticari ürünlerdir. Üretici fir-

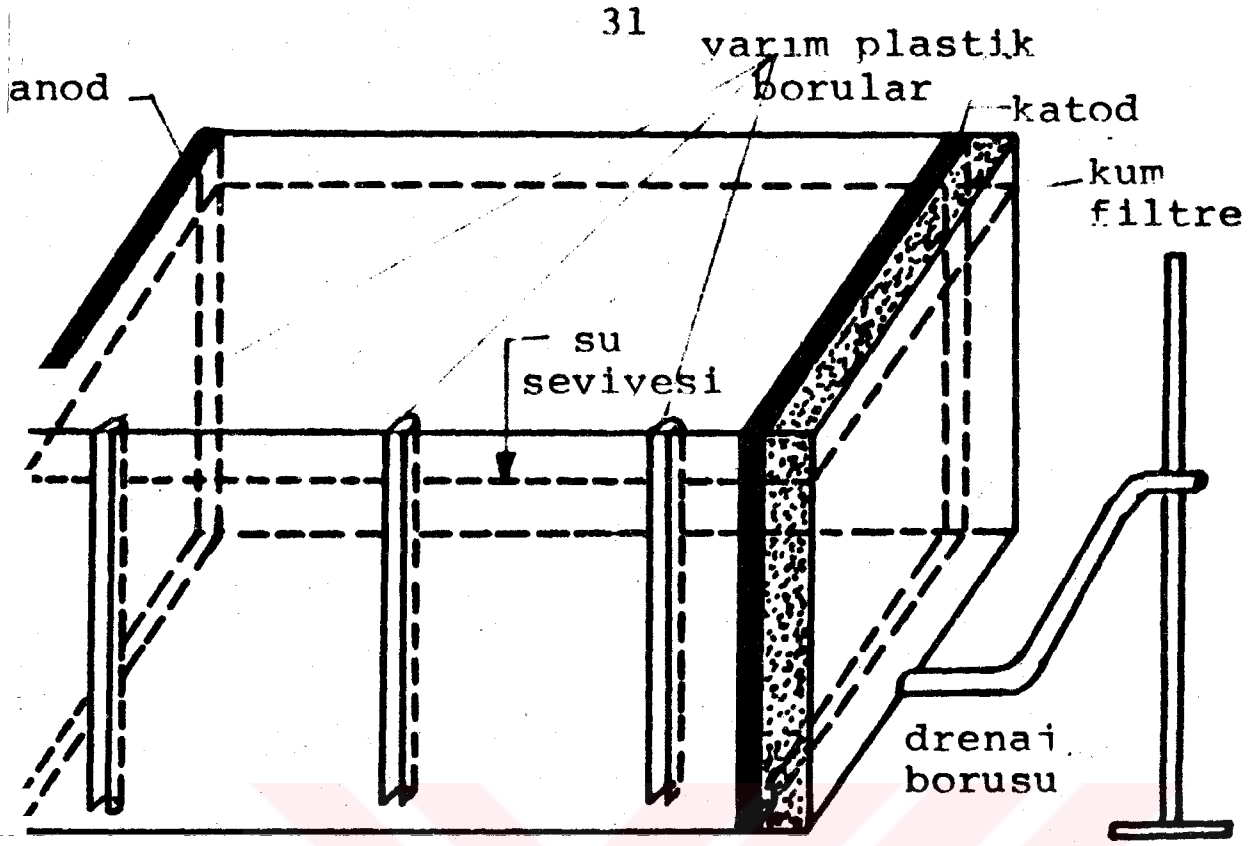
madan temin edilen B katkısına ait bazı özellikler aşağıda verilmiştir.

Katkıdaki katı madde oranı	: %92-95
pH derecesi	: % 1 lik çözeltide 3,5-5,0
Yoğunluk	: 0,65-0,70 Kg/lt
Rutubet	: %2,5-3,0
Yüzey gerilim	: % 2 lik çözeltide ve 19 °C da 40-45 dyn/cm

3.2. Deney düzeninin kurulması ve ön deneyler

Uygun deney düzeninin kurulabilmesi amacıyla bazı ön deneyler yapılmıştır. Deney kabı olarak bir cam akvaryum alınmıştır. İnce delikli saç elek teli elektrod olarak kullanılmış, önce uçucu kül-su, sonra siltli kil-su karışımlarında elektro-osmoz deneyleri yapılmıştır. Deney düzeni şekil(3.2) deki gibidir.

Yatay doğrultuda karışıma doğru akım verilerek, katod tarafına doğru bir su akışı sağlamaya çalışılmıştır. Cam kabın yüzeyine yarım plastik borular yapıştırılmış, boru ağzından katı maddenin girmemesi için süzgeç kağıdı konulmuştur. Bir katetometre ile, deney sırasında borularda su seviyelerindeki değişimler gözlenmiştir. Uçucu-kül-su karışımlarında bir elektro-osmotik akış görülememiştir.



Şekil 3.2- İlk deney düzeni

Altıli kil-su karışımlarında ise katoda doğru be-
rğin bir akış gözlenmiştir. Deneyler sırasında e-
lektrodların korozyona uğraması nedeni ile, sonraki
deneylerde elektrod olarak grafit levhalar kulla-
lmasına karar verilmiştir.

1 aşamadan sonra harc karışımları kullanılarak
vni kapta elektro-osmoz deneyleri yapılmış ve so-
uç alınabileceği görülmüştür. Ancak bu şekildeki
ir su drenajı sırasında akış doğrultusunda harc-
a su gradyanı oluştuğu, işlemin sona ermesinden

sonra su gradyanının ortadan kalkmasının priz sonuna kadar sürdüğü gözlenmiştir. Bu sırada, karışımın farklı bölgelerinde oldukça farklı su/çimento oranları oluşacağı, bunun homojenliği bozarak sertleşmiş harç özelliklerine olumsuz etki yapacağı düşünülmüştür. Bu nedenle sonraki deneylerde, elektrik akımının harcın yerleştirme doğrultusunda uygulanmasına karar verilmiştir.

Deneyler için 20x20 cm kesitli, 50 cm yüksekliğinde plexiglass deney kabı yaptırılmıştır. Bu deney kabı ile grafit elektrodlar kullanarak, harç karışımlarında bazı ön deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde su, kabın alt yüzeyinden bir boru vasıtasıyla drene edilmiştir.

Sertleşmiş harçta basınç deneylerinin 10 cm lik küpler üzerinde yapılması düşünüldüğü için, deney kabından çıkarılan harç numunelerini kesmek gerekmiştir. Ancak 20x20x45 cm boyutlu numunelerden 10 cm lik küpler çıkarmanın çok güç olduğu görülerek, deney sırasında kabın 10x20x50 cm lik iki bölmeye ayrılmasına karar verilmiş ve bu amaçla kabın ortasına düşey doğrultuda bir plexiglass levha konulmuştur.

Deney kabı birbirlerine vida ile tutturulmuş plexiglass levhalardan oluştuğu için, karışımın yerleştirilmesi sırasında vibrasyon uygulanmasından çe-

kinilmiştir.Çünkü vibrasyon sırasında plexiglass levhaların zarar görebileceği, bağlantıların gevşeyebileceği düşünülmüştür.

3.3. Harç karışımları

Katkısız ve katkılı olmak üzere 5 değişik nite-ikte harç üretimi yapılmıştır.Çimentonun hidrasyonuna olumlu etki yapacağı düşüncesiyle kalsiyum esaslı katkı maddeleri seçilmiştir.Çimento taneleri tarafından daha fazla Ca^{+2} iyonu adsorbedilmesine neden olarak,çimentonun zeta potansiyelerini pozitif yönde artıracığı, böylece anod (elektrik güç kaynağının pozitif kutbuna bağlı elektrod) yönünde gelişmesi beklenen elektro-osmotik su akış hızını artırabileceği için, $Ca(OH)_2$ katkı maddesi olarak kullanılmıştır (17).

kalsiyum linyosulfonat ise, paragraf 2.3.5 de belirtildiği gibi, çimento tanesinin negatif yüklü ane olarak davranmasına neden olmaktadır.Bu durumda, kil-su karışımlarında olduğu gibi, elektro-smotik su akışının katoda doğru olması gerekir.Bu etkiyi görebilmek, su indirgeyici bir katkı maddesi ile elektro-osmotik işlemin beraberce sertleşiş harç özellikleri üzerindeki etkilerini anlayabilmek için, kalsiyum linyosulfonat katkılı harçlar üretilmiştir.Bu katkılardan A katkısı, önemli ölçüde yabancı madde içerdiğinden yalnızca ön de-

neylerde kullanılmıştır.Bu durumda üretilen harç tipleri şöyle sıralanabilir:

1) Katkısız harçlar (KS) : Ağırlıkça malzeme oranları , su : çimento : kum = 0,60 : 1 : 4 olacak biçimde seçilmiştir.Bu durumda harç işlenebilirliği, şişleme ile yerleştirmeye uygundur.

2) Karma suyu Ca(OH)_2 ile doygun hale getirilmiş harçlar (C) : Ağırlıkça malzeme oranları , su : çimento : kum = 0,60 : 1 : 4 .

3) Kalsiyum linyosulfonat (A) katkılı harçlar (değerlendirmelere alınmadığı için kod verilmemiştir) : Ağırlıkça malzeme oranları , su : çimento : kum = 0,55 : 1 : 4 ve ağırlıkça katkı /çimento = %0,4 . Bu grup harçlarda su miktarı azaltılarak katkısız harçlarla eşit işlenebilirlik sağlanmıştır.

4) Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlar (LS) : Ağırlıkça malzeme oranları , su : çimento : kum= 0,54 : 1 : 4 .Bu grup harçlarda da, su miktarı azaltılarak katkısız harçlarla eşit işlenebilirlik sağlanmıştır.

5) Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlar (LS) : Ağırlıkça malzeme oranları , su : kum : çimento = 0,60 : 1 : 4 . Bu grup harçlarda su miktarı sabit tutulmuş, katkı maddesinin etkisiyle işlenebilirlik artırılmıştır.

2. inci grup harçların üretimi sırasında, önce karma

suyuna toz $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konulmuş ve zaman zaman karıştırılarak 12 saat bekletilmiştir. Suyun üstünde oluşan CaCO_3 tabakası atılmış, gerekli miktardaki su tartılarak alınmıştır.

A katkılı harçlarda sıvı katkı karma suyuna, B katkılı harçlarda ise toz haldeki katkı karma suyuna katılarak karıştırılmıştır.

3.4. Deneysey çalışma yöntemi

3.4.1. Deney tipleri

Çalışmada 3 farklı deney tipi seçilmiştir: 1) Şahit deneyler, 2) doğal drenajlı deneyler, 3) elektro-osmotik drenaj deneyleri.

1) Şahit deneyler : Taze harç kaba yerleştirildikten sonra herhangi bir şekilde su drenajı yapılmamıştır. Üst yüzeydeki oturma, çeşitli seviyelerdeki elektriksel dirençler ve harcın iç sıcaklığı ölçülmüştür.

2) Doğal drenajlı deneyler : Deney kabının dip tarafındaki borudan, harçtaki hidrostatik basınç etkisi ile su drenajı yapılmıştır. Deney sırasında, 1 inci grupta ölçülen büyüklükler dışında, drene edilen su miktarının zamanla değişimi ölçülmüştür.

3) Elektro-osmotik drenaj deneyleri : Bu deneylerde harca elektrik akımı verilmiştir. Hidrostatik

basıncın ve elektrik akımının etkisiyle su drenajı yapılmıştır. Drenaj 60 dakika sürdürülmüştür. Katkısız harçlarda 2 deneyde 90 dakika süreyle drenaj yapılmıştır.

Elektro-osmoz deneylerinde 2 farklı voltaj uygulanmıştır: 1,0 V/cm , 0,5 V/cm . (A) ve (B) katkılı deneylerde yalnız 1,0 V/cm lik voltaj uygulanarak drenaj yapılmıştır.

Katkılı ve katkısız her harç grubu için, bir grup deneyde, su drene edilen taraftaki elektrod elektriksel güç kaynağının pozitif kutbuna (anod), diğer bir grupta ise negatif kutbuna (katod) bağlanarak, iki farklı elektro-osmoz uygulaması yapılmıştır. Elektro-osmoz deneylerinde de, 1 inci ve 2 inci grup deneylerde belirtilen büyüklükler ölçülmüştür.

3.4.2. Deney düzeninin tanımlanması

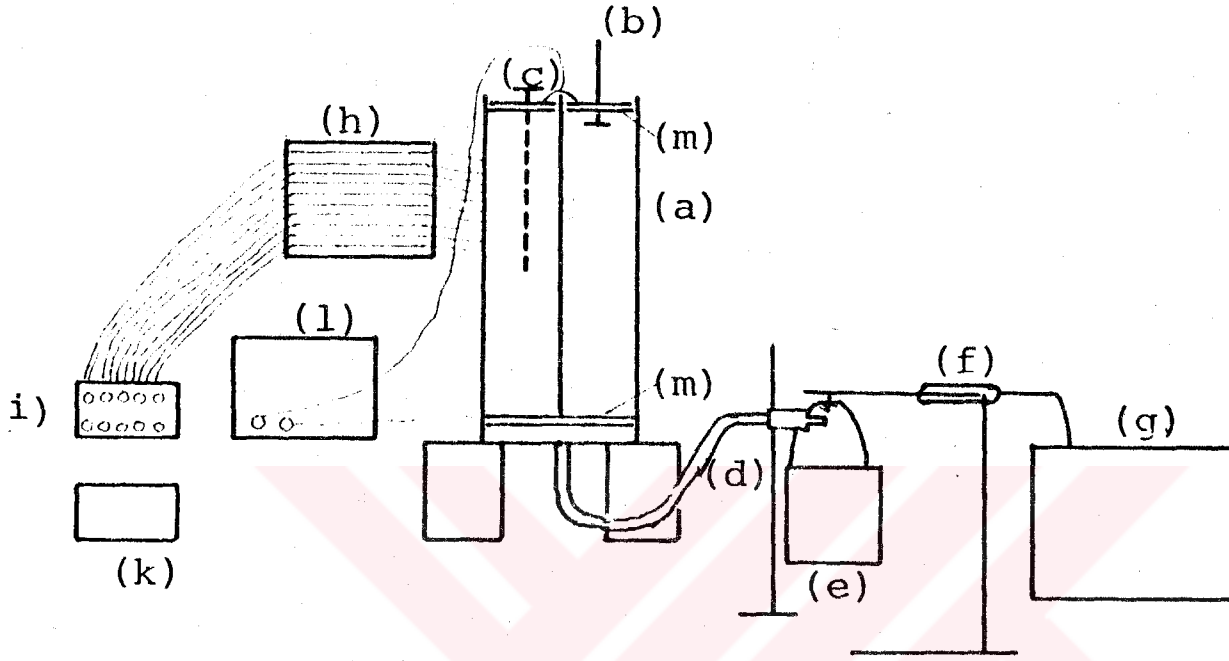
Deney düzeni bütün olarak şekil (3.3) de görülmektedir. Ayrıca Resim (3.1a) de tüm deney düzeni, resim (3.1b) de deney kabı ve su toplama kabının bulunduğu bölüm, resim (3.1c) de doğru akım redresörü ve elektriksel direnç ölçüm sistemi, resim (3.1d) de deney kabının üstten görüldüğü verilmiştir.

Deneyler sırasında kap içinde olabilecek herhangi bir değişikliği görebilmek için plexiglass deney kabı seçilmiştir.Kap yüzeylerinin birleşim yerlerine macun sürülerek sızdırmazlık sağlanmış-
tır.Kabın dibinde, su akışını tek boyutlu hale yak-
laştıracak için, 5 mm kalınlığında kum filtre
tabakası oluşturulmuştur.Su alma borusunun ağzına,
katı madde girişini engellemek için süzgeç kağıdı
konulmuştur.Kum tabakasının üstüne, çok sayıda 6
mm çaplı delik içeren, 8 mm kalınlığında grafit
elektrod yerleştirilmiştir.Elektrod üzerinde süz-
geç kağıdı bulunmaktadır.

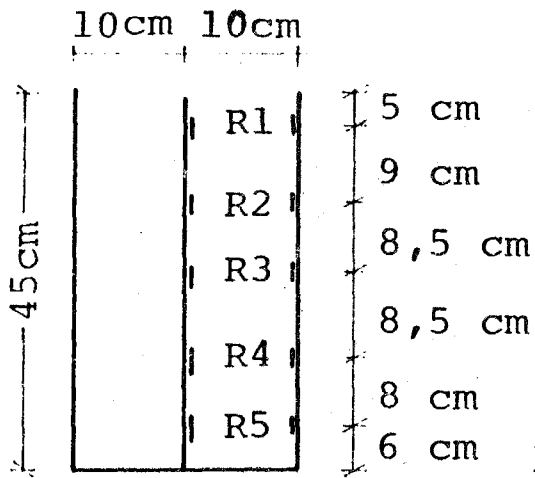
Deney kabını oluşturan iki bölmeden birinin 20 cm
boyutundaki karşılıklı 2 yüzeyine 5 ayrı seviyede
pirinç levhalar yerleştirilmiştir (şekil 3.4).Bu
levhalar yerleştirildikleri seviyelerde elektrik-
sel direnci ölçmek amacıyla kullanılmıştır.Pirinç
levhalar 2x19,5 cm boyutundadır ve lehimle tuttu-
rulan kablolarla kap yüzeyindeki deliklerden çık-
arılarak direnç ölçen alete bağlı panoya bağlanmış-
lardır.

Harç kaba yerleştirildikten sonra üzerine, 6 mm
çaplı delikler içeren, 4 mm kalınlığında elektrod-
lar yerleştirilmiştir.

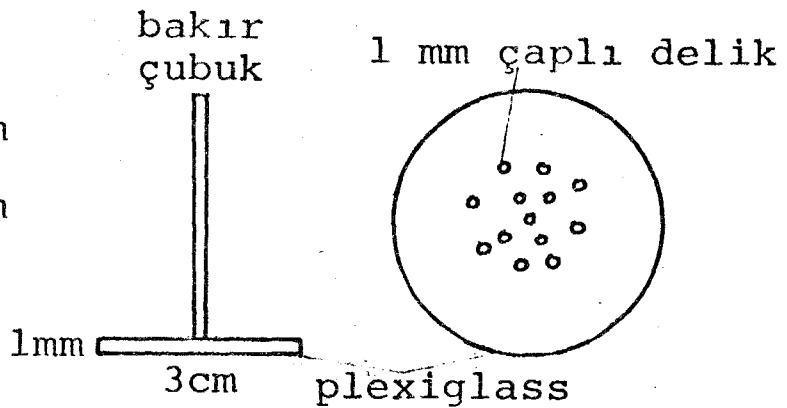
Harç yüzeyindeki oturmayı ölçmek için Şekil (3.5)



ekil 3.3- Deney düzeninin genel durumu: a) Deney kabı, b) seviye ölçme çubuğu, c) termometre, d) drenaj borusu, e) su toplama kabı, f) Streyn-geyçli konsol terazi, g) 6 kanallı indikatör, h) kabloların geçtiği ara pano, i) kabloların bağlandığı son pano, k) direnç ölçüm kutusu, l) redresör, m) elektrodlar



Şekil 3.4- Direnç ölçüm seviyeleri



Şekil 3.5- Seviye ölçme çubuğu

deki gibi bir seviye ölçme çubuğu kullanılmıştır. Harcın iç sıcaklığı, Fahrenheit ölçekli ve 50-260 °F bölgesini 2,5 °F duyarlılıkla ölçen bir metal termometre ile ölçülmüştür. Termometrenin sıcaklık değişmelerine duyarlı olan ucu, harç yüzeyinden 19 cm derinliğe indirilmiştir.

Harçtaki elektriksel direnci ölçmek için, İ.T.Ü. Elektrik Fakültesinden, zemin direnci ölçmek amacıyla kullanılan bir alet temin edilmiştir. Bu alet, 0-50 ohm bölgesinde 0,5 ohm duyarlılıkla ölçüm yapabilmektedir. Alet, ortama alternatif akım vererek direnç ölçmektedir.

Harçtan drene edilen su miktarının zamanla değişmesini ölçmek için bir terazi yapılmıştır. Çelik şerit şeklindeki bir konsolun iki yüzeyine 2 şer gerilim ölçer (streyn-geyç) yapıştırılmıştır. Bu gerilim ölçerler, deney sırasında bir indikatöre bağlanmaktadır (şekil 3.3). İndikatörde okunan değerler, ağırlığa dönüştürülerek su kabından toplanan miktar hesaplanmıştır.

3.4.3. Ortam koşulları

Deneylerin yapıldığı laboratuarda ısıtma sistemi yetersiz olduğu için, deneyler sırasında ortam sıcaklığını sabit tutmakta güçlük çekilmiştir. Deney sırasında, kabın bulunduğu bölge ısıtılarak sıcak-

lık 18-23 °C arasında tutulmuştur. Sertleşmiş nümuneler, sabit sıcaklık ve sabit nemin kısmen sağlandığı bir odada muhafaza edilmişlerdir. Nümuneler 7 gün için 16-20 °C sıcaklıktaki su içinde saklanmıştır. Sonra sıcaklığın 16-20 °C arasında değiştiği odada muhafaza edilmişlerdir.

Agrega, çimento ve karma suyu önceden ısıtılarak harcın kaba yerleştirmeden önceki sıcaklığının her deneyde 20-24 °C arasında olması sağlanmıştır. Deneyler sırasında ortam sıcaklığı, sürekli olarak bir termografla kaydedilmiştir.

3.4.4. Taze harç deneyleri

a) İşlenebilirlik tayini: Taze harçta işlenebilirlik ASTM (C-230)' e göre yayılma tablası ile saptanmıştır. Harcın yerleştirilmesinde vibrasyon uygulanmadığı için, işlenebilirlik tayininde dinamik yöntemler kullanılmamıştır.

b) Birim ağırlık tayini: Deney kabının iç boyutları her deneyde ölçülmüş, kabı dolduran harç miktarı tartılarak birim ağırlık hesaplanmıştır.

c) Hava miktarı: Taze harçtaki hava miktarı, deney kabına yerleştirilen harç birim ağırlığından hesapla bulunmuştur.

.4.5. Sertleşmiş harç nümunelerinin elde edilmesi
 Üretimden 24 saat sonra kalıptan çıkarılan harç
 nümuneleri suya konulmuş, 8 inci günde sudan çık-
 arılan 10x20x45 cm lik iki prizma, taş ve beton kes-
 me aleti ile sulu kesimle kesilerek 16 adet 10 cm
 lik küp çıkarılmıştır. Bu küpler sabit sıcaklık ve
 nem odasında 21 inci güne kadar kalmıştır. Her par-
 tiden 3 nümune 20 ve 21 inci günlerde tartılarak
 nem kaybı kontrol edilmiştir. Nümunelerde, ilk de-
 yden önceki nem kaybının %0,1'in altında kaldığı
 örülerek yeterince kuru hale geldikleri kabul e-
 tilmiştir.

.4.6. Sertleşmiş harç deneyleri

Küp nümuneler üzerinde şu deneyler yapılmıştır:

a) Birim ağırlık : Üretimden sonraki 21 inci günde
 küp boyutları kompasla ölçülmüş ve tartım yapılmış-
 ır. Bu değerlere göre sertleşmiş harç birim ağır-
 ıkları hesaplanmıştır.

b) Kılcallık deneyi : Üretimden sonraki 21 inci
 günde her deneye ait 13 küp üzerinde kılcallık de-
 neyi yapılmıştır. Nümunelerin yerleştirme doğrultu-
 suna dik yüzeyleri su ile temas ettirilerek su em-
 mesi sağlanmıştır.

c) Ultra-ses hızı ölçümü : Üretimden sonraki 22
 inci günde yerleştirme doğrultusu ve bu doğrultuya
 dik doğrultuda olmak üzere 16 nümunede iki yönde

ultra-ses hızı ölçümü yapılmıştır.

d) Basınç deneyi : Üretimden sonraki 28 inci günde küpler, yerleştirme doğrultusunda basınç uygulanarak kırılmıştır. Basınç deneyi, 500 KN'a ayarlanmış AMSLER marka presle yapılmıştır. Yükleme hızı saniyede 35 N/mm^2 olarak sabit tutulmuştur.

3.4.7. Taze harç deneylerinde zamanlama

Harcın karıştırma işlemi düşey eksenli bir beton- yer (malaksör) ile yapılmıştır. Karıştırma süresi 2,5 dakikadır. Karıştırma bitimi, sonraki deney için sıfır anı olarak alınmıştır. Bundan sonraki tüm işlemler her deneyde aynı anda yapılmıştır. 8 inci dakikada deney kabına yerleştirme işlemi başlatılmıştır. Yerleştirme 4 kademede yapılmış ve her kademe 25'er defa şişlenmiştir. Yerleştirme işlemi 16 ıncı dakikada sona erdirilmiştir. Gerekli hazırlıklar yapılarak, elektro-osmoz deneylerinde 21,5 uncu dakikada harca elektrik akımı verilmiş, 22 ınci dakikada drenaj borusunun musluğu açılarak drenaj işlemi başlatılmıştır. Doğal drenaj ve elektro osmotik drenaj işlemleri 60 dakika (2 deneyde 90 dakika) süre ile 82 inci dakikaya kadar sürdürülmüştür. Bu anda su akış hızı çok yavaşladığı ve pratik olarak drenajın önemi kalmadığı için, drenaj sona erdirilmiş ve elektro-osmoz deneylerinde elektrik akımı kesilmiştir. Katkısız ve Ca(OH)_2 katkılı harçlarda 105 inci dakikada, kalsiyum linyo-

fonat katkılı harçlarda 145 inci dakikada harç tıkanıklığına sebebiyet veren bir naylon örtü ile örtülerek yüzeyden buharlaşma ile su kaybı önlenmiştir. Karıştırma bitiminden 24 saat sonra deney kabı açılarak nümuneler alınmıştır.

5. Deneylerin dağılımı

Harç üzerinde, ilk deney kabı ile 4 elektro-osmoz deneyi yapılmıştır. Bu deneyler değerlendirmeye alınmamıştır. Sonraki deney düzeni ile, harç üzerinde 10 kadar ön deney yapılmıştır. Bu deneylerde taze harçlarda bazı ölçümler yapılmış, sertleşmiş nümuneler değerlendirilmemiştir.

Buna sonra katkısız, Ca(OH)_2 katkılı ve kalsiyum sülfat katkılı harçlarla şahit, doğal drenaj ve elektro-osmotik drenaj olmak üzere 28 deney yapılmıştır. Bu deneylerdeki harçlar üzerinde, sertleşmiş harçlarda daha önce belirtilen deneyler yapılmıştır. Ancak ortam koşullarının (sıcaklık, nem vb.) sabit tutulamaması ve deney düzeninde bazı değişiklikler yapma gereği duyulması nedeniyle, bu deneyler değerlendirmeye alınmamıştır. Bahsedilen deneyde elde edilen sonuçlar, sonraki deneylere temel alınarak bir deney programı yapılmıştır.

Programlı olarak 54 deney yapılmıştır. Bu deneylerin 2 tanesinde deney kabı su sızdırdığı için, so-

nuçları değerlendirmeye alınmamıştır. Kusursu: neylerin dağılımı tablo (3.2) de verilmiştir

3.6. Deneysel sonuçlar

3.6.1. Taze harç sonuçları

1 m³ taze harca giren malzeme miktarları ve t harç özellikleri tablo (3.3) de verilmiştir.

a) Ölçülen oturma miktarlarından oturma hızla ($\Delta h_v / \Delta t$ μ/dk) her deney grubu için ortalam olarak hesaplanmıştır (ek tablo 3.1 a,b,c). Top oturmalar, taze harç yüksekliğine oranlanarak turma kapasitesi ($\Delta h/h$) hesaplanmış ve her d grubu için ortalamalar alınmıştır (tablo 3.4)

b) R1 seviyesi için (şekil 3.4) ölçülen elekt sel dirençlerden, direncin zamana göre değiş hızı (ohm/dk) hesaplanmış ve her deney grubu ortalamalar alınmıştır (ek tablo 3.2 a,b,c). H harç grubu için 24 üncü saatteki dirençler, o lama alınarak verilmiştir (ek tablo 3.3 a,b,c

c) Drene edilen toplam su miktarının (ΔW), t karışımındaki su miktarına (W) oranı, her deney bu için şekil (3.6) da verilmiştir. Drene edile miktarlarının zamana göre değişimleri, ek şeki (3.1 a,b,c) de görülmektedir.

y ölü	Harcın niteliği ve uygulanan işlem	Uygulanan voltaj (V/cm)	Denev sayısı
	Katkısız harç, W/C=0,60, drenajsız şahit harç	-	3
	Katkısız harç, W/C=0,60, doğal drenaj, drenaj süresi 60 dk.	-	3
+1	Katkısız harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre. su dre. yapılan taraf anod, dre. süresi 60 dk.	1,0	3
-1	Katkısız harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre. su dre. yapılan taraf katod, dre. süresi 60 dk.	1,0	3
+0,5	Katkısız harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre. su dre. yapılan taraf anod, dre. süresi 60 dk.	0,5	3
-0,5	Katkısız harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre. su dre. yapılan taraf katod, dre. süresi 60 dk.	0,5	3
+1TD	Katkısız harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre. su dre. yapılan taraf anod, dre. süresi 90 dk.	1,0	2
	Ca(OH) ₂ katkılı harç, W/C=0,60, drenajsız şahit	-	3
	Ca(OH) ₂ katkılı harç, W/C=0,60, doğal drenaj, drenaj süresi 60 dk.	-	3
1	Ca(OH) ₂ katkılı harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre., su dre. yapılan taraf anod, dre. süresi 60 dk.	1,0	3
1	Ca(OH) ₂ katkılı harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre., su dre. yap. taraf katod, dre. süresi 60dk.	1,0	3
0,5	Ca(OH) ₂ katkılı harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre., dre. yap. taraf anod, dre. süresi 60 dk.	0,5	3
0,5	Ca(OH) ₂ katkılı harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre., dre. yap. taraf katod, dre. süresi 60 dk.	0,5	3
	Kalsiyum.linyosulfonat katkılı harç, W/C=0,54 şahit	-	2
	Kals. lin.sulfonat katkılı harç, W/C=0,54, doğal drenaj, drenaj süresi 60 dk.	-	2
+1	Kals. lin.sulf. katkılı harç, W/C=0,54, elektro-osmotik dre., dre. yapılan taraf anod, dre. süresi 60 dk.	1,0	2
-1	Kals. lin.sulf. katkılı harç, W/C=0,54, elektro-osmotik dre., dre. yapılan taraf katod, dre. süresi 60 dk.	1,0	2
*	Kals. lin.sulf. katkılı harç, W/C=0,60, doğal drenaj, drenaj süresi 60 dk.	-	2
+1*	Kals. lin.sulf. katkılı harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre., dre. yapılan taraf anod, dre. süresi 60 dk.	1,0	2
-1*	Kals. lin.sulf. katkılı harç, W/C=0,60, elektro-osmotik dre., dre. yapılan taraf katod, drenaj süresi 60 dk.	1,0	2

lo 3.2- Denevlerin dağılımı

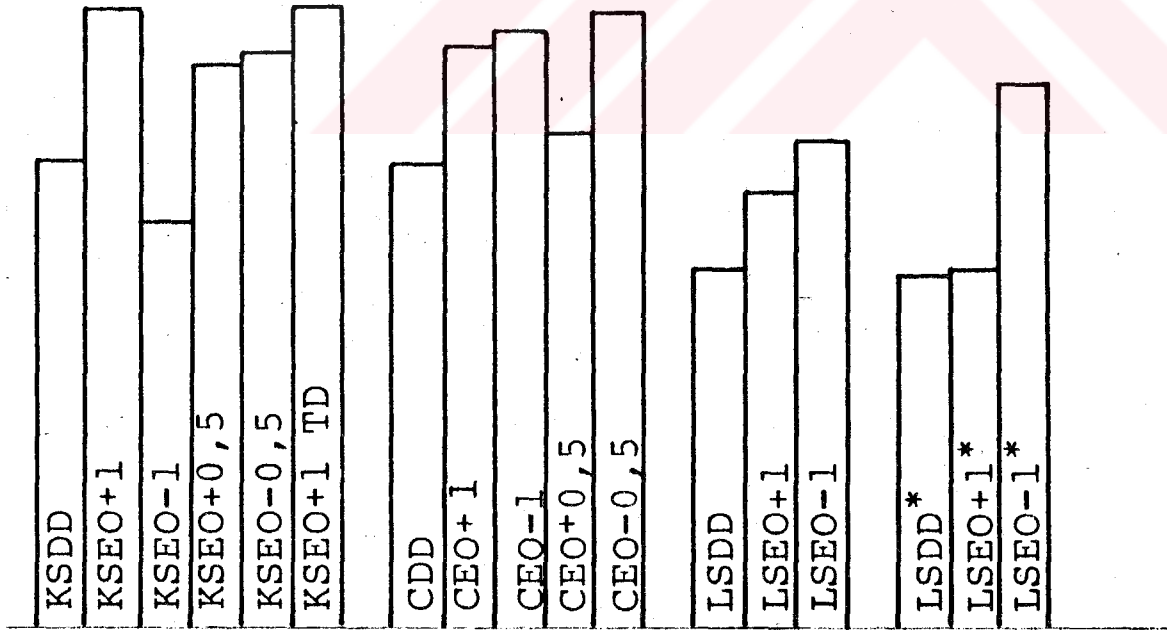
Harç türü	1 m ³ harca giren malzeme miktar. (Kg)			Taze harç özellikleri					
	Su	Çimen-to	Kum	Hava (%)	W/C (ilk)	(W+h/c) (ilk)	Birim ağırlık (Kg/lt)	Kompasite (m ³ /m ³)	Yayılma (%)
Katkısız	233	389	1556	3,53	0,60	2,093	2,178	0,731	28,5
Ca(OH) ₂ kat.	233	389	1556	3,56	0,60	2,096	2,178	0,731	27,7
B katkılı	212	354	1416	12,23	0,60	2,868	1,982	0,666	35,2
B katkılı	201	372	1486	10,06	0,54	2,450	2,059	0,699	27,2
A katkılı	210	382	1527	7,25	0,55	2,244	2,118	0,718	27,5

Tablo 3.3- Taze harç özellikleri

Deney nsi	Oturma kapa- sitesi (%)	Deney cinsi	Oturma kapa- sitesi (%)	Deney cinsi	Oturma kapa- sitesi (%)
CS	0,70	CS	0,74	LSS	0,70
DD	1,05	CDD	1,09	LSDD	1,02
CEO+1	0,99	CEO+1	0,94	LSEO+1	0,95
CEO-1	0,94	CEO-1	0,91	LSEO-1	0,90
CEO+0,5	1,08	CEO+0,5	1,01	LSDD*	1,53
CEO-0,5	1,04	CEO-0,5	1,03	LSEO+1*	1,65
CEO+1TD	0,97				

Tablo 3.4- Taze harçlarda oturma kapasiteleri

$\Delta W/W$

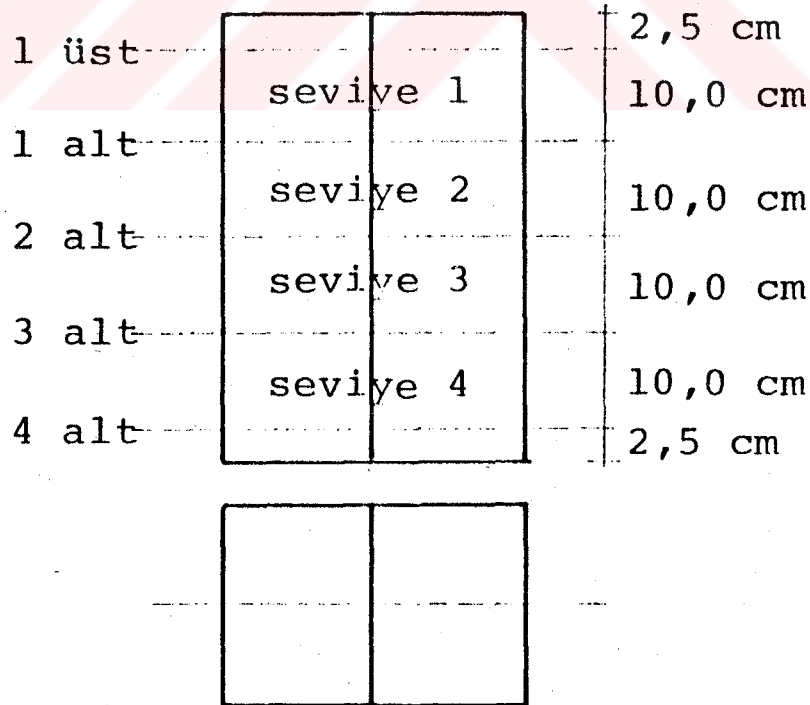


Şekil 3.6- Drenaj deneylerinde drene edilen toplam su miktarının, taze harç karışımındaki su miktarına oranı

3.6.2. Sertleşmiş harç özellikleri

Sertleşmiş harç deneylerinde her deney ait nümuneler, seviyelere göre numaralanmıştır (şekil 3.7

a) Basınç dayanımları iki şekilde değerlendirilmiştir. Katkısız ve Ca(OH)_2 katkılı harçlarda her deney grubunda üç deneyden (KSEO+LTD grubunda iki deney) $3 \times 16 = 48$ küp elde edilmiştir. Her deney için 16 küpü temsil eden ortalama basınç dayanımı ve standart sapma bulunmuş ve %95 güvenlikle min. basınç dayanımı hesaplanmıştır. 3 deneye ait %95 güvenlikli basınç dayanımlarının ortalaması alınarak deney gruplarını temsil eden basınç dayanımları hesaplanmıştır. Bu işlemler, kalsiyum linyosulfonat



Şekil 3.7- Sertleşmiş harçlarda nümune çıkarma planı

(B) katkılı harçlarda, her deney türünde 2 ayrı deney için yapılarak ortalama alınmıştır (ek tablo 3.4 , şekil 3.8).

Her deney ait prizmalardan, ayrı seviyeleri temsil eden 4 nümune elde edilmiştir. Katkısız ve Ca(OH)_2 katkılı harçlarda her deney grubu için ayrı seviyelere ait 12 adet, (B) katkılı harçlarda 3 adet basınç dayanımı değerinin ortalaması alınmış ve standart sapmaları bulunmuştur. Bu değerlerden her deney grubu için, 4 ayrı seviyeyi temsil eden %95 güvenli min. basınç dayanımları hesaplanmıştır (şekil 3.11 a,b,c).

b) Ultra-ses hızları : Basınç dayanımları için yapılan işlemler aynı şekilde iki farklı yöndeki ultra-ses hızları için yapılmıştır (şekil 3.9 a,b, şekil 3.12 a,b,c , şekil 3.13 a,b,c).

c) Kılcallık katsayıları için değerlendirme farklı yapılmıştır. Kılcallık katsayıları nümune seviyesine bağlı olarak önemli değişiklikler gösterdiği için, her deney grubunu temsil eden değerler hesaplanmamıştır. Basınç dayanımları için seviyelere göre yapılan hesap, kılcallık katsayıları için benzer biçimde yapılmıştır. Yalnız, seviyeleri temsil eden değerler %95 güvenli max. kılcallık katsayılarıdır (şekil 3.14 a,b,c).

Her deney grubunda her seviye için, katkısız ve

Ca(OH)₂ katkılı harçlarda 9 nümune, (B) katkılı harçlarda 6 nümune için %95 güvenlikle hesap yapılmıştır.

d) Sertleşmiş harç birim ağırlıkları için %95 güvenli min. değerler, basınç dayanımlarındakine benzer biçimde hesaplanmıştır (şekil 3.10).

%95 güvenli max. ve min. değerler Student t dağılımına göre hesaplanmıştır. Genel olarak hesap biçimi şu şekilde verilebilir:

$$\mu_{0,95} = \bar{X} - t_{0,95} \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (3.1)$$

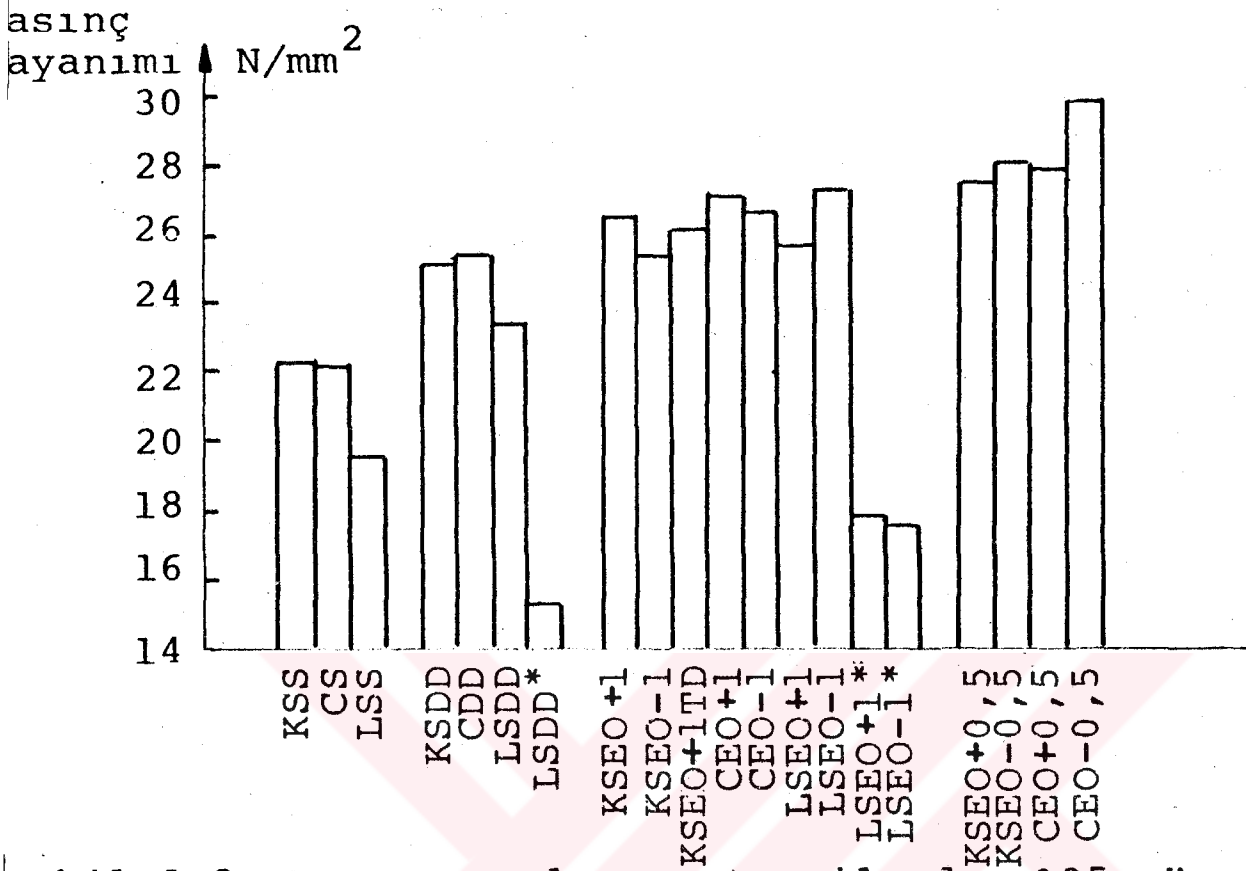
$\mu_{0,95}$: %95 güvenli değer

$\bar{X}$: Hesaplanan özeliğin ortalama değeri

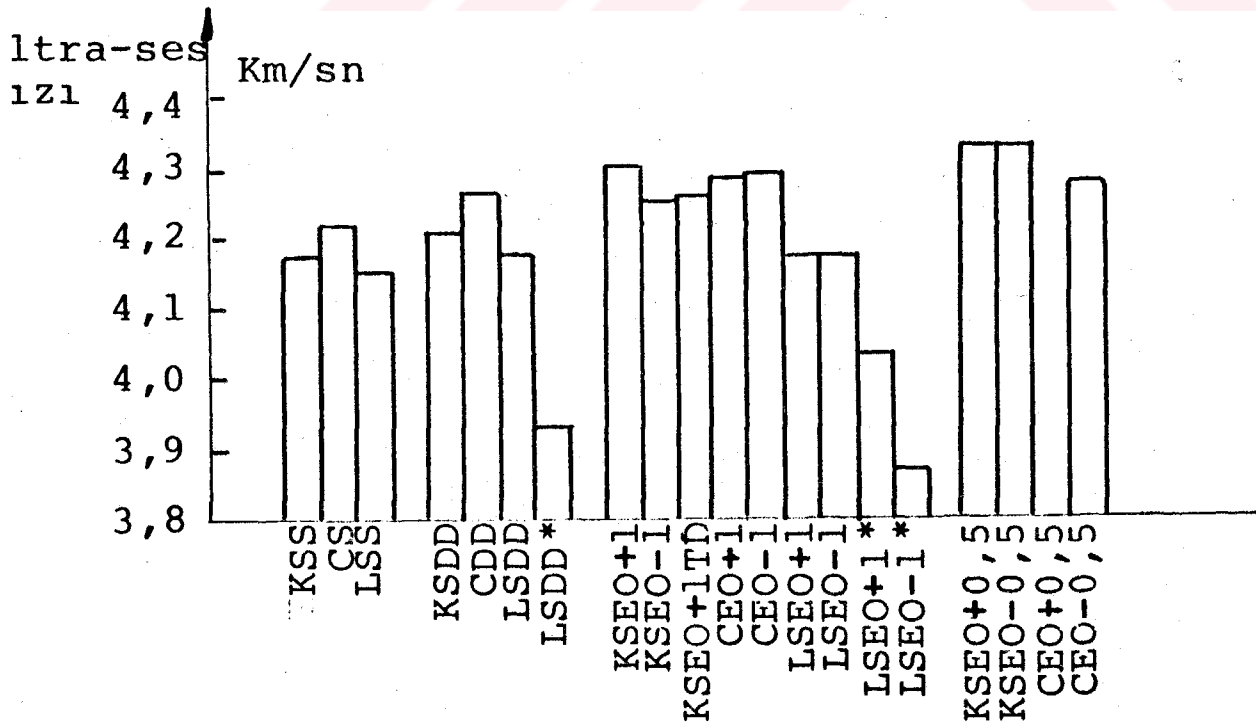
$t_{0,95}$: $v = n-1$ serbestlik derecesi ve %95 güvenli Student t değeri

n : Nümune sayısı

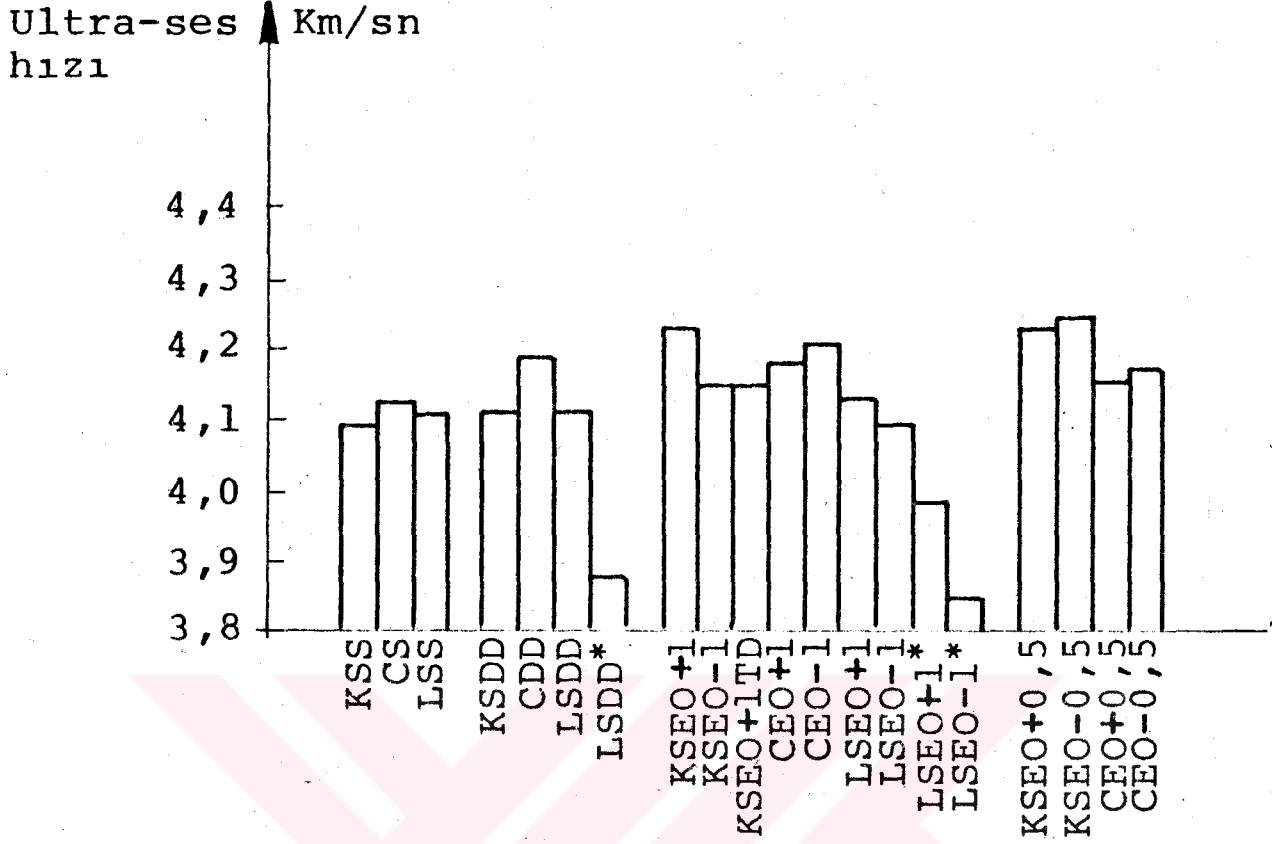
s : Standart sapma



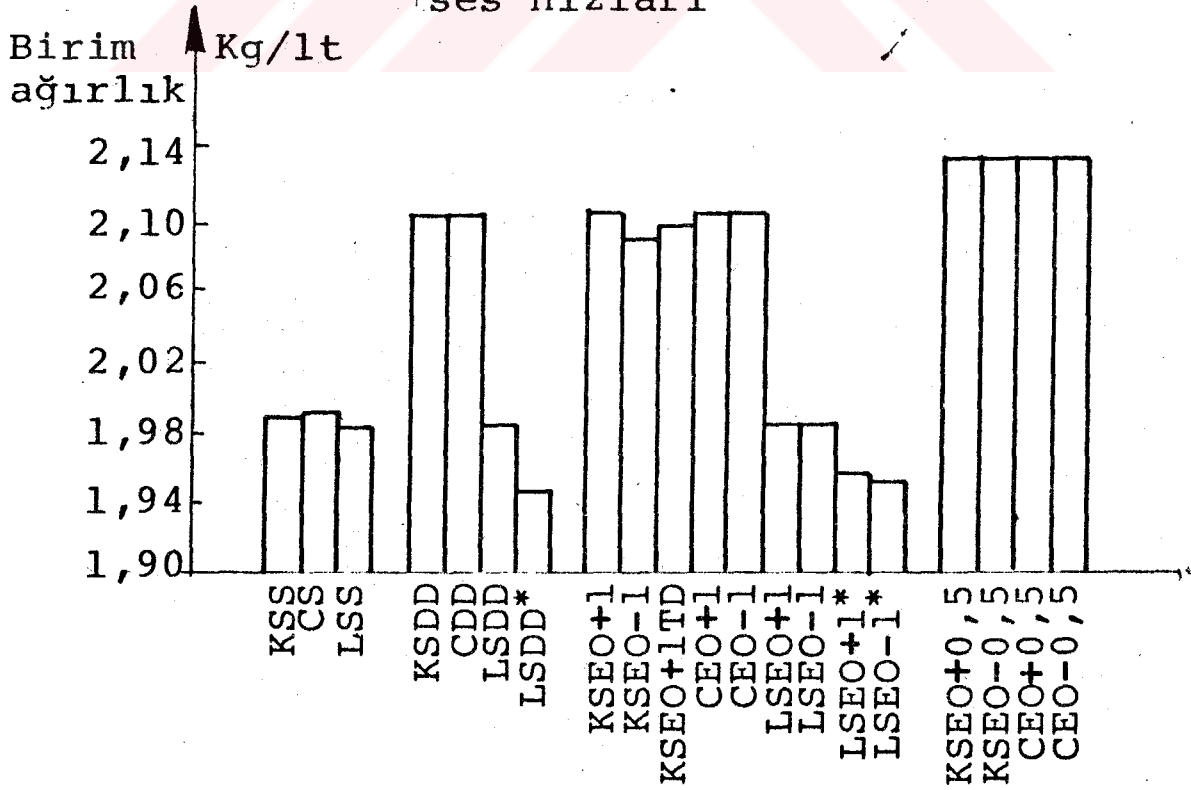
Şekil 3.8- Deney gruplarını temsil eden %95 güven-
likli, ortalama basınç dayanımları



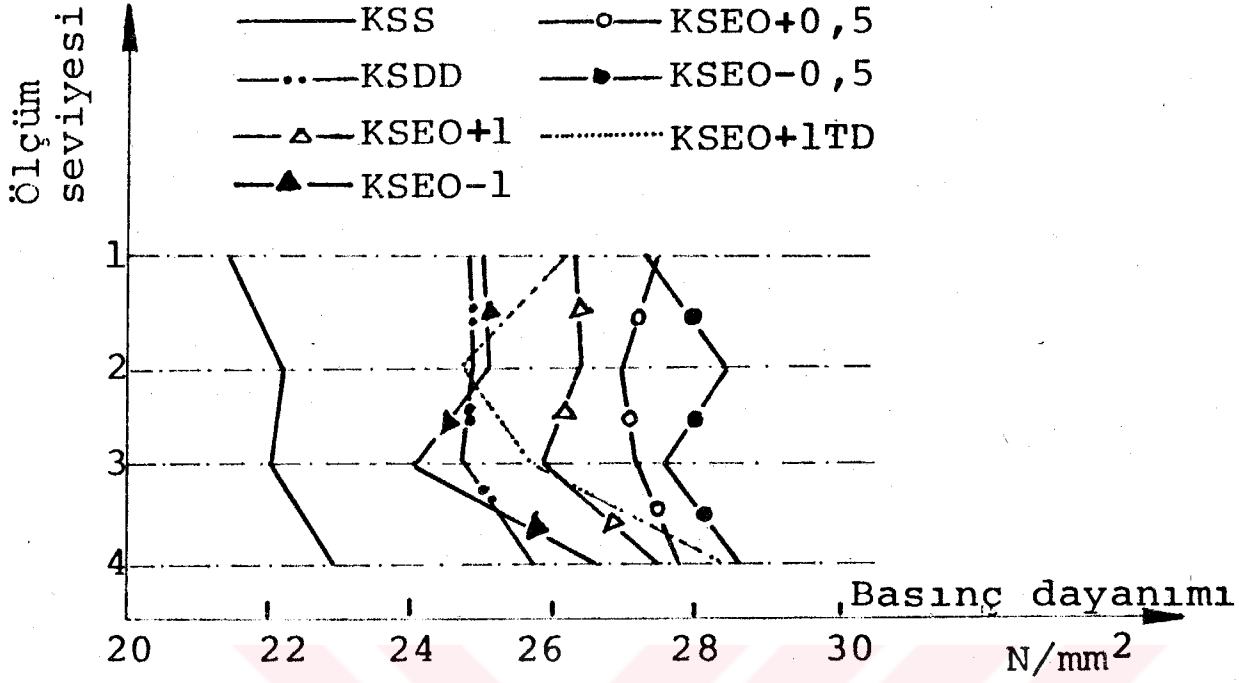
Şekil 3.9a- Deney gruplarını temsil eden %95 güven-
likli, düşey doğrultudaki ortalama ultra-
ses hızları



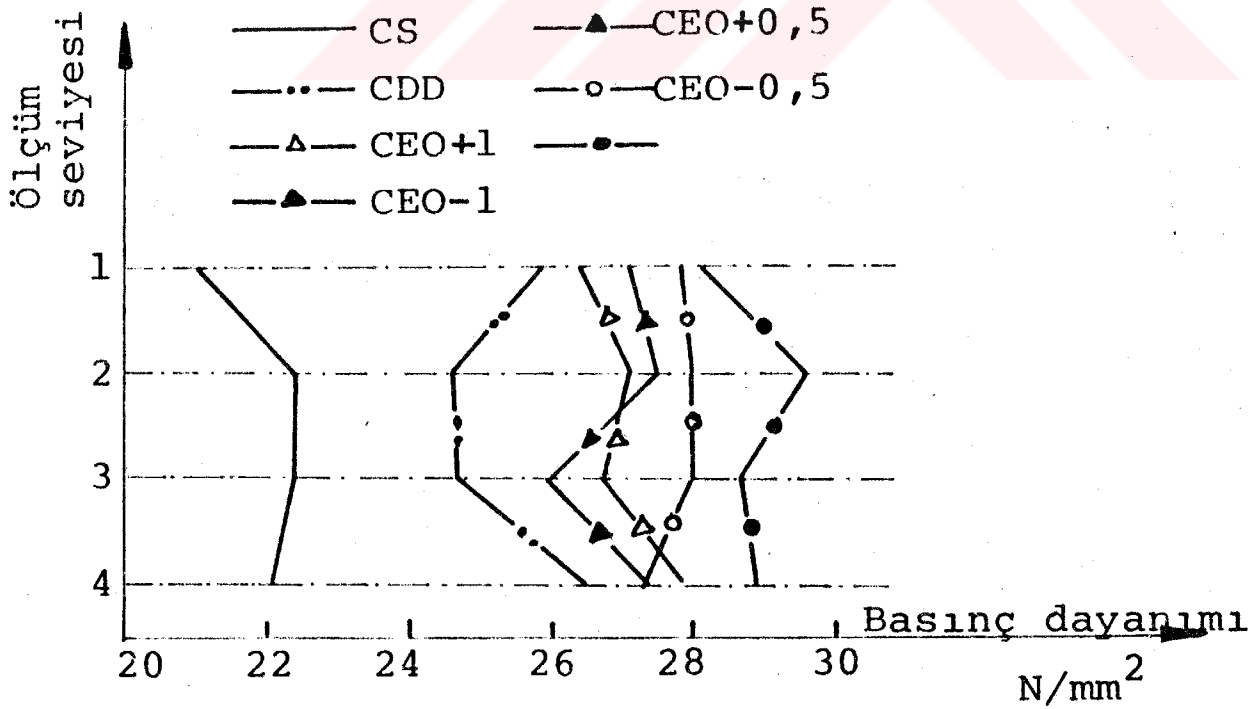
Şekil 3.9b- Deney gruplarını temsil eden, yatay doğrultudaki %95 güvenlikli, ortalama ultra-ses hızları



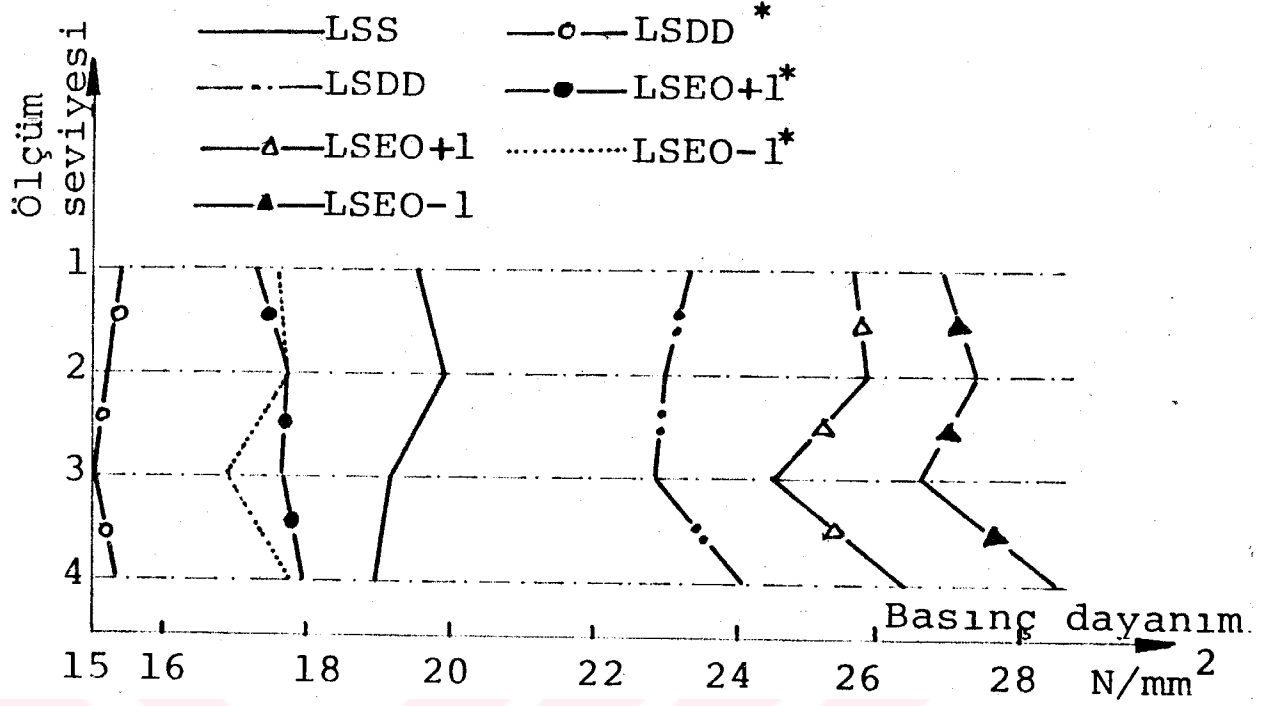
Şekil 3.10- Deney gruplarını temsil eden, %95 güvenlikli, ortalama sertleşmiş harç birim ağırlıkları



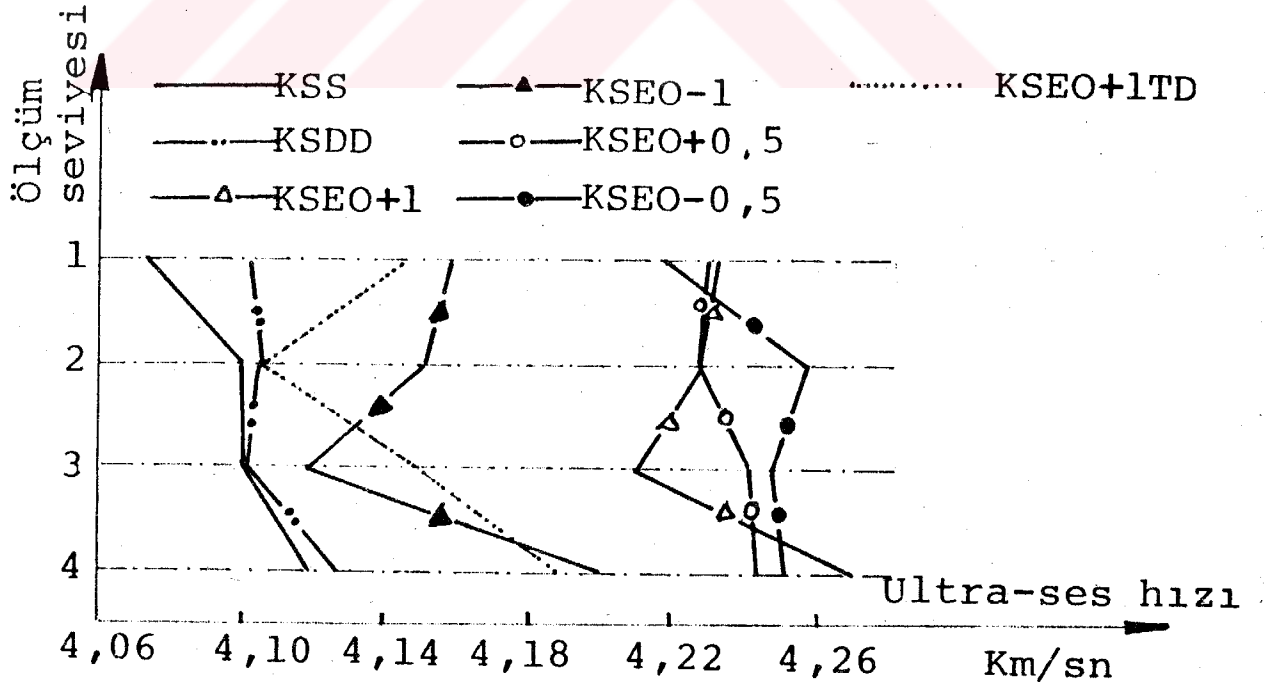
ekil 3.11a- Katkısız harçlarda, %95 güvenlikli basınç dayanımlarının seviyelere göre dağılımı



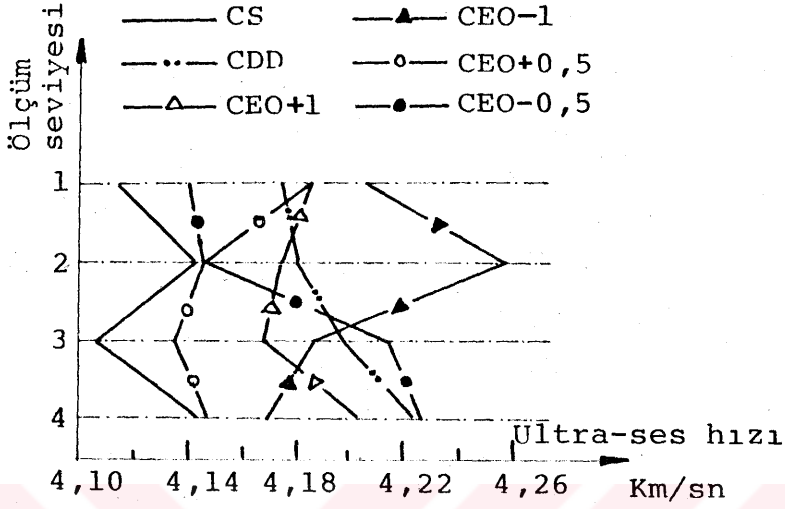
ekil 3.11b- Ca(OH)_2 katkılı harçlarda, %95 güvenlikli basınç dayanımlarının seviyelere göre dağılımı



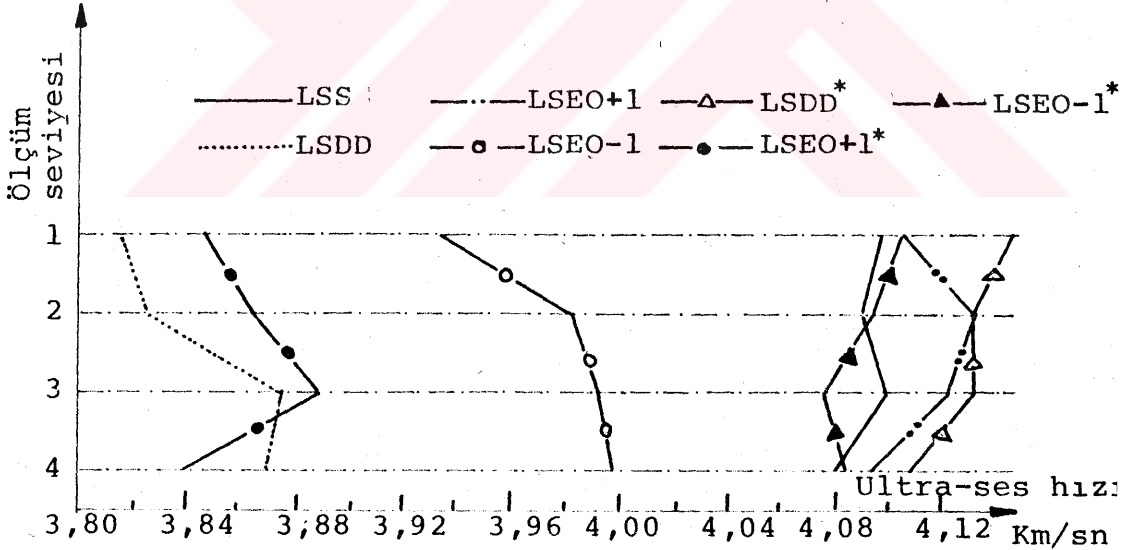
Şekil 3.11c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı hararlarda, %95 güvenli basınç dayanımlarının seviyelere göre dağılımı



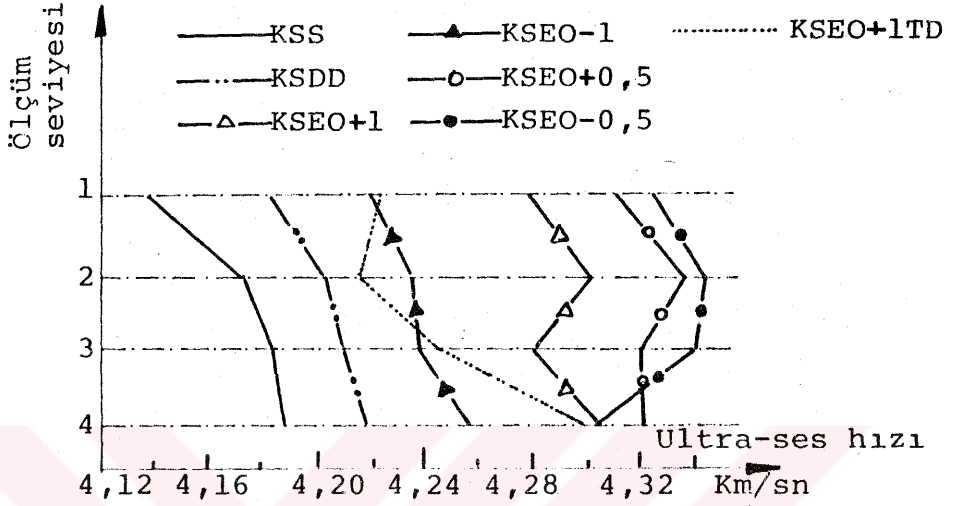
Şekil 3.12a- Katkısız hararlarda, %95 güvenli, yatay doğrultudaki ultra-ses hızlarının seviyelere göre dağılımı



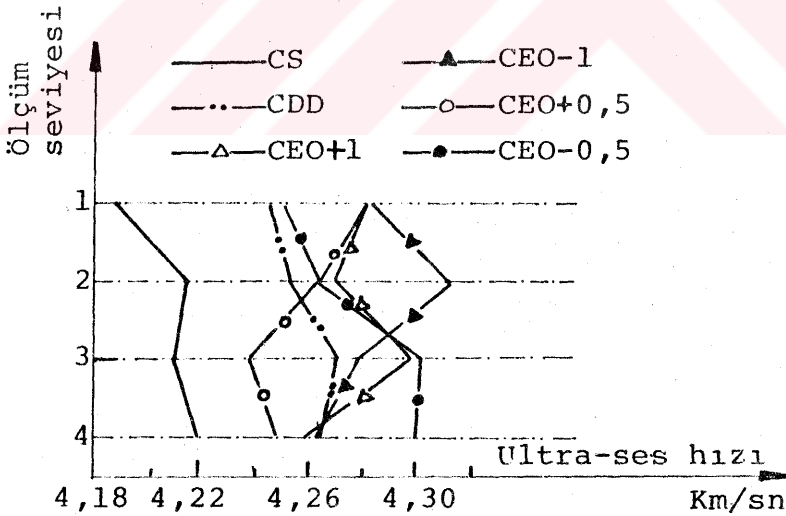
Şekil 3.12b- Ca(OH)₂ katkılı harçlarda %95 güvenlikli, yatay doğrultudaki ultra-ses hızlarının seviyelere göre dağılımı



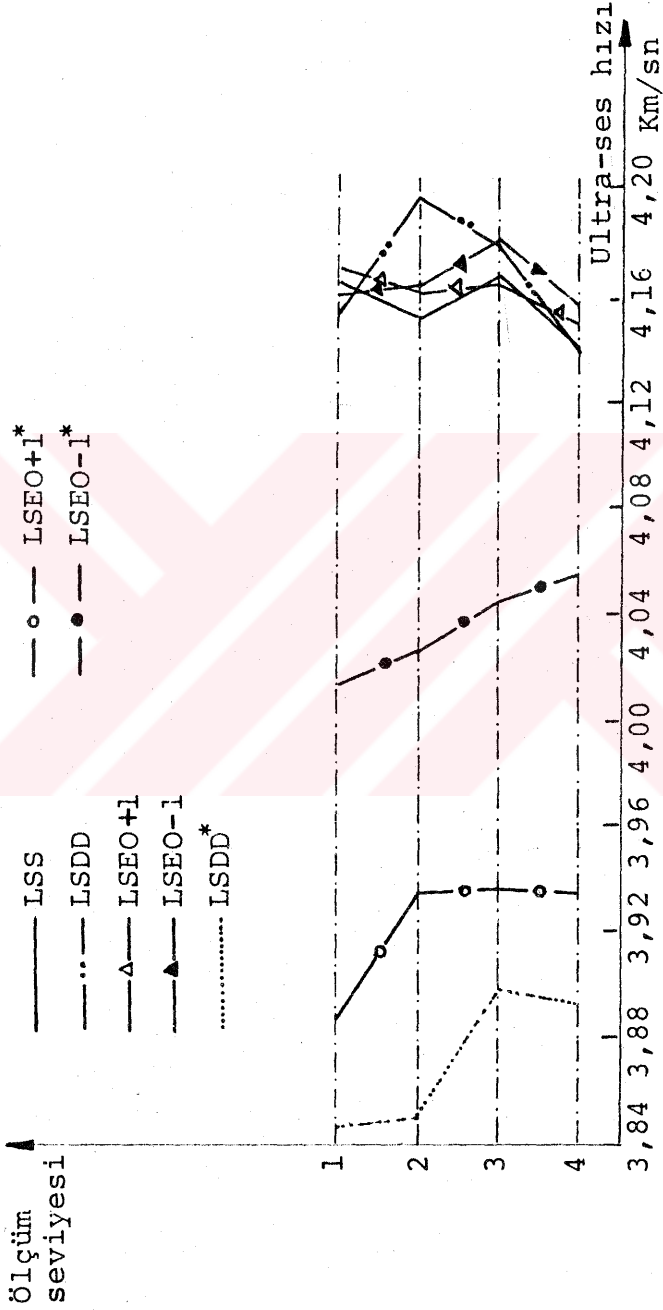
Şekil 3.12c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlarda, %95 güvenlikle, yatay doğrultudaki ultra-ses hızlarının seviyelere göre dağılımı



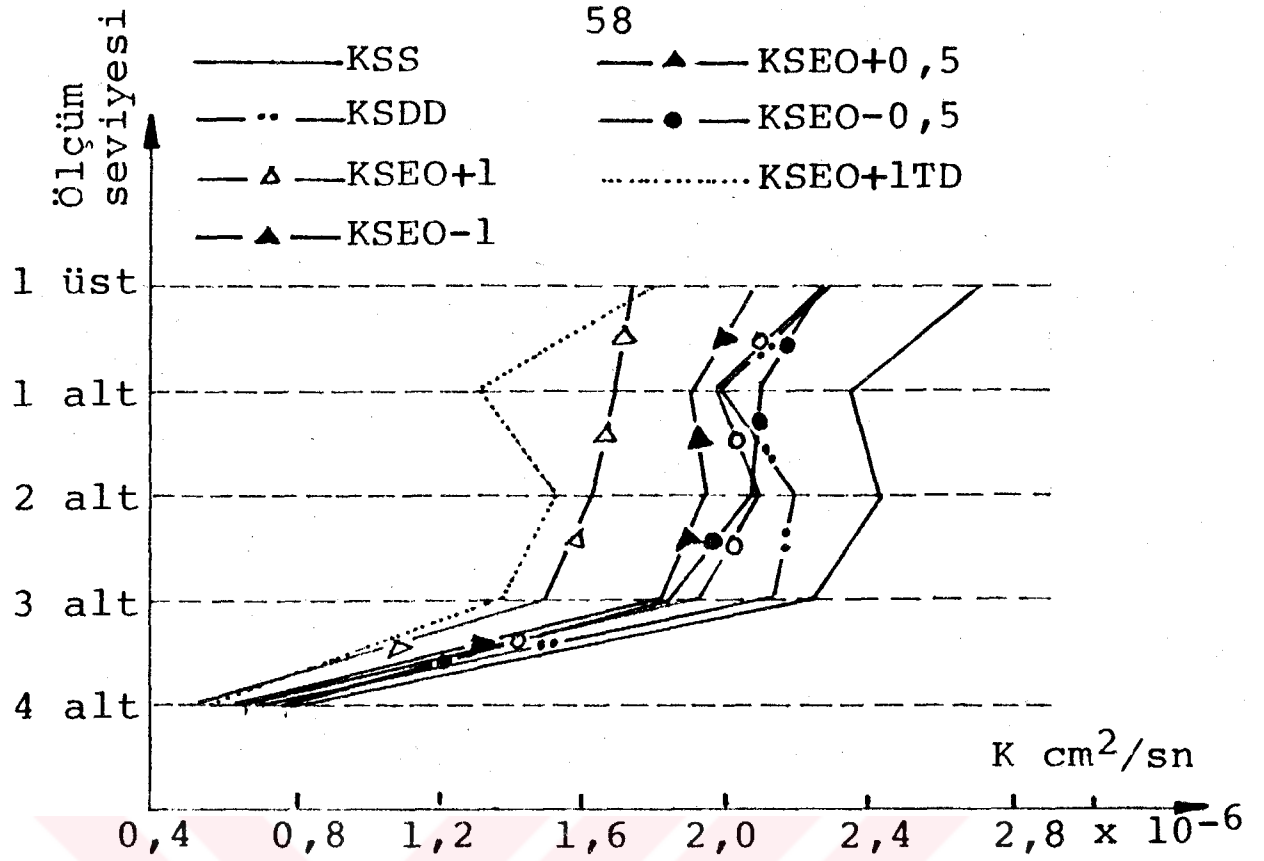
Şekil 3.13a- Katkisız harçlarda, %95 güvenli, düşey doğrultudaki ultra-ses hızlarının seviyelere göre dağılımı



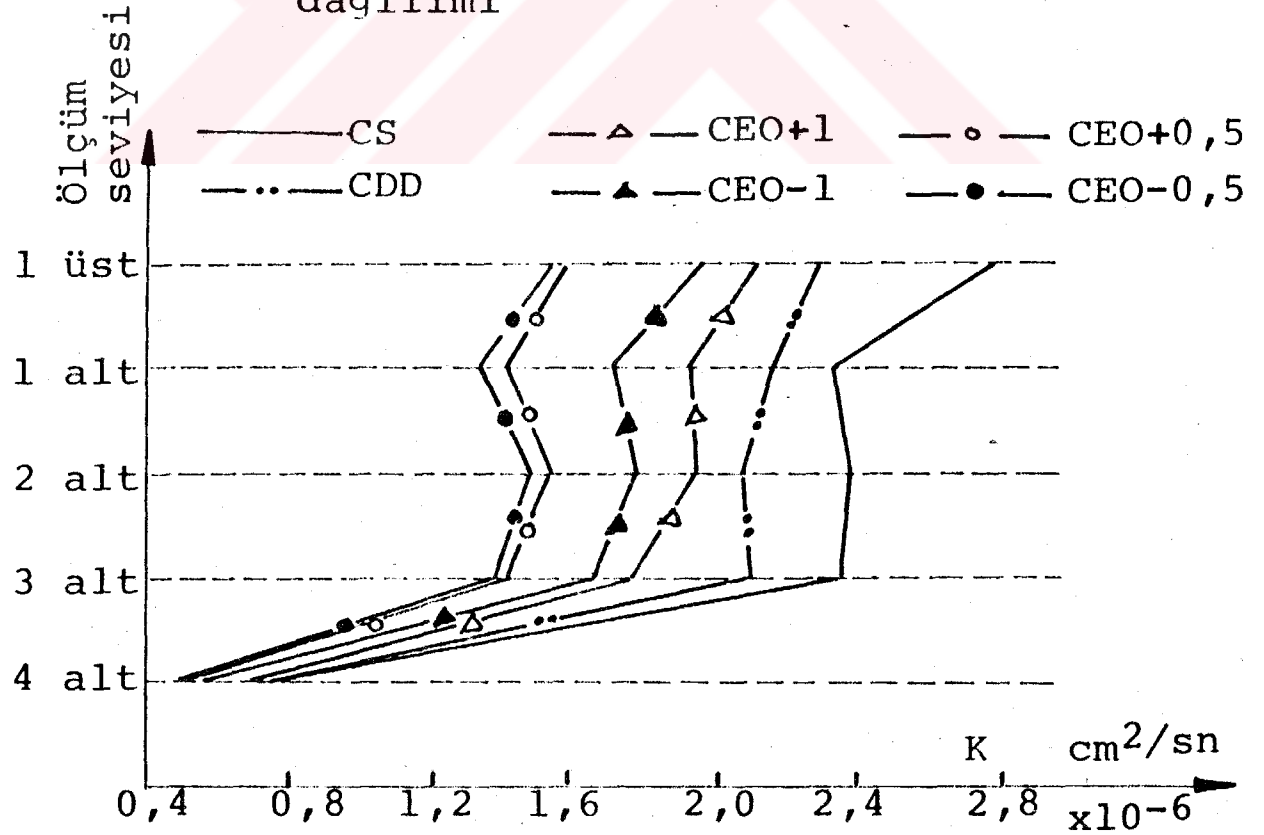
Şekil 3.13b- Ca(OH)_2 katkılı harçlarda, %95 güvenli, düşey doğrultudaki ultra-ses hızlarının seviyelere göre dağılımı



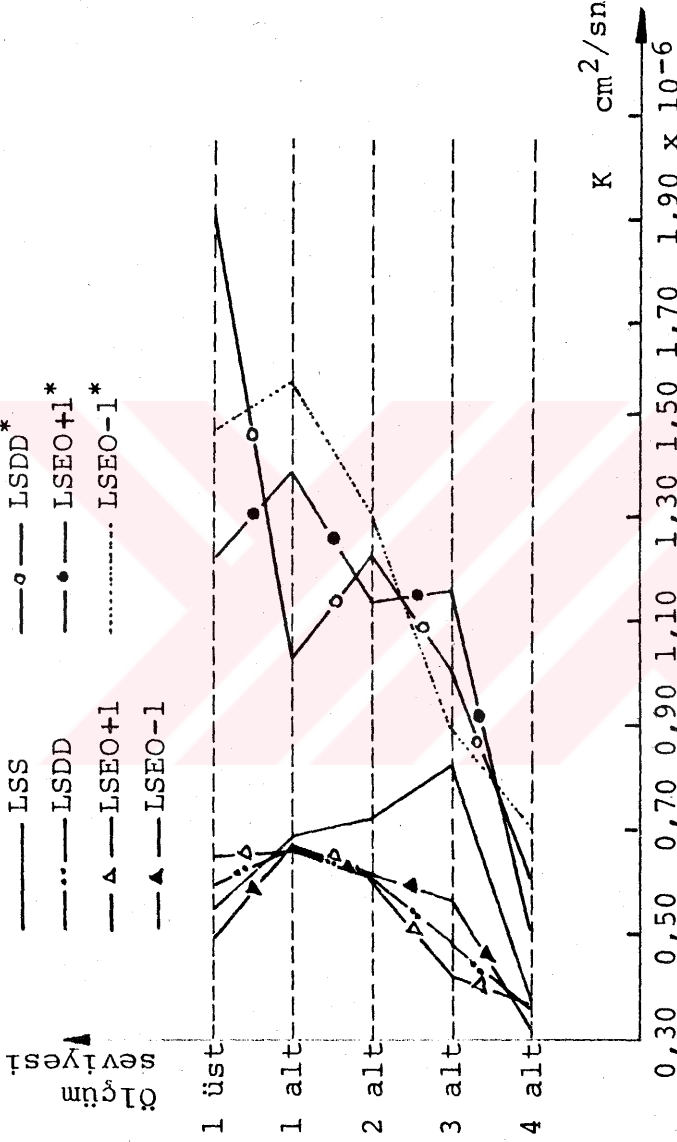
Şekil 3.13c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlarda, %95 güven-
likli, düşey doğrultudaki ultra-ses hızlarının seviyelere
göre dağılımı



Şekil 3.14a- Katkısız harçlarda, %95 güvenli kılcallık katsayılarının seviyelere göre dağılımı



Şekil 3.14b- Ca(OH)₂ katkılı harçlarda, %95 güvenli kılcallık katsayılarının, seviyelere göre dağılımı



Şekil 3.14c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlarda, kılcalılık katsayılarının seviyelere göre dağılımı

BÖLÜM IV

TAZE HARÇLARDA DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Bu çalışmada ana amaç, çimento ve harcın elektrokinetik özelliklerini incelemek olmamakla beraber, su drenajının sertleşmiş harç özellikleri üzerindeki etkilerini anlamak ve daha sonraki çalışmalara ışık tutmak için, taze harçlarla ilgili ölçüm sonuçlarına açıklama getirilmeğe çalışılacaktır.

4.1. Taze harçlarda drenaj hızları ve drenaj miktarları

Taze harçlarda drenaj hızlarının değerlendirilmesinin zamana göre ve su/çimento oranına göre olmak üzere iki farklı biçimde yapılması uygun görülmüştür. Zamana göre değerlendirme ek tablo () de verilmiştir. Sonuçlara göre drenaj hızı, su akışının başlamasından sonraki ilk birkaç dakika içinde ilk hızın $1/3-1/4$ 'ü mertebesine düşmektedir. Harçta drenajla alınan suyun $1/3$ 'ünden fazlası, 60 dakikalık uygulamanın ilk on dakikası içinde drene edilmektedir (tablo 4.1).

Değişik drenaj sonuçlarını karşılaştırmak için daha farklı bir değerlendirmeye gerek vardır. Killi zeminlerdeki elektro-osmoz deneyleri, elektro-osmotik su taşınımı ile su içeriği arasında bir i-

Zaman aralığı (dk)	$\Delta W' / \Delta W$ (%)									
	KSDD	KSEO+1	KSEO+0,5	CDD	CEO+1	CEO+0,5	LSDD	LSEO+1	LSDD*	LSEO+1*
22-32	44,6	38,8	37,6	45,4	40,8	36,0	41,0	36,5	34,4	32,6
32-42	20,2	16,9	19,6	19,5	19,8	19,8	18,7	22,2	18,9	22,7
42-52	14,5	13,2	13,7	15,1	14,4	14,8	12,9	12,5	15,2	17,3
52-62	9,7	11,9	12,4	8,9	11,7	13,3	9,8	10,4	13,9	12,9
62-72	6,1	10,5	9,2	5,9	7,6	9,3	9,8	10,4	10,4	10,0
72-82	4,9	8,7	7,6	5,1	6,0	6,8	7,0	8,0	7,2	4,5

Tablo 4.1- 10 dakikalık periyotlarda drene edilen su miktarının (ΔW),
drene edilen toplam su miktarına ($\Delta W'$) oranı

lişki olduğunu göstermektedir (14).

Drenaj işlemi sonucu harçta su içeriği her an azaldığına göre, su akış hızlarını su içeriğine göre değerlendirmek uygun olacaktır. Bu tür bir değerlendirme yapılırken, su hareketinin çoğunlukla hamur fazındaki kılcal boşluklar yoluyla olduğu düşünülerek, değişik su/çimento oranlarında drenaj hızları hesaplanmıştır (tablo 4.2 a,b,c). Ancak, su/çimento oranının düşük tutulduğu kalsiyum linyo-sulfonat katkılı harçlar için, diğer harç gruplarıyla karşılaştırma yapmak olanağı yoktur. Drenaj hızlarına su içeriğinden başka faktörler de etki etmektedir. Bu faktörlerin etkileri aşağıda incelenecektir.

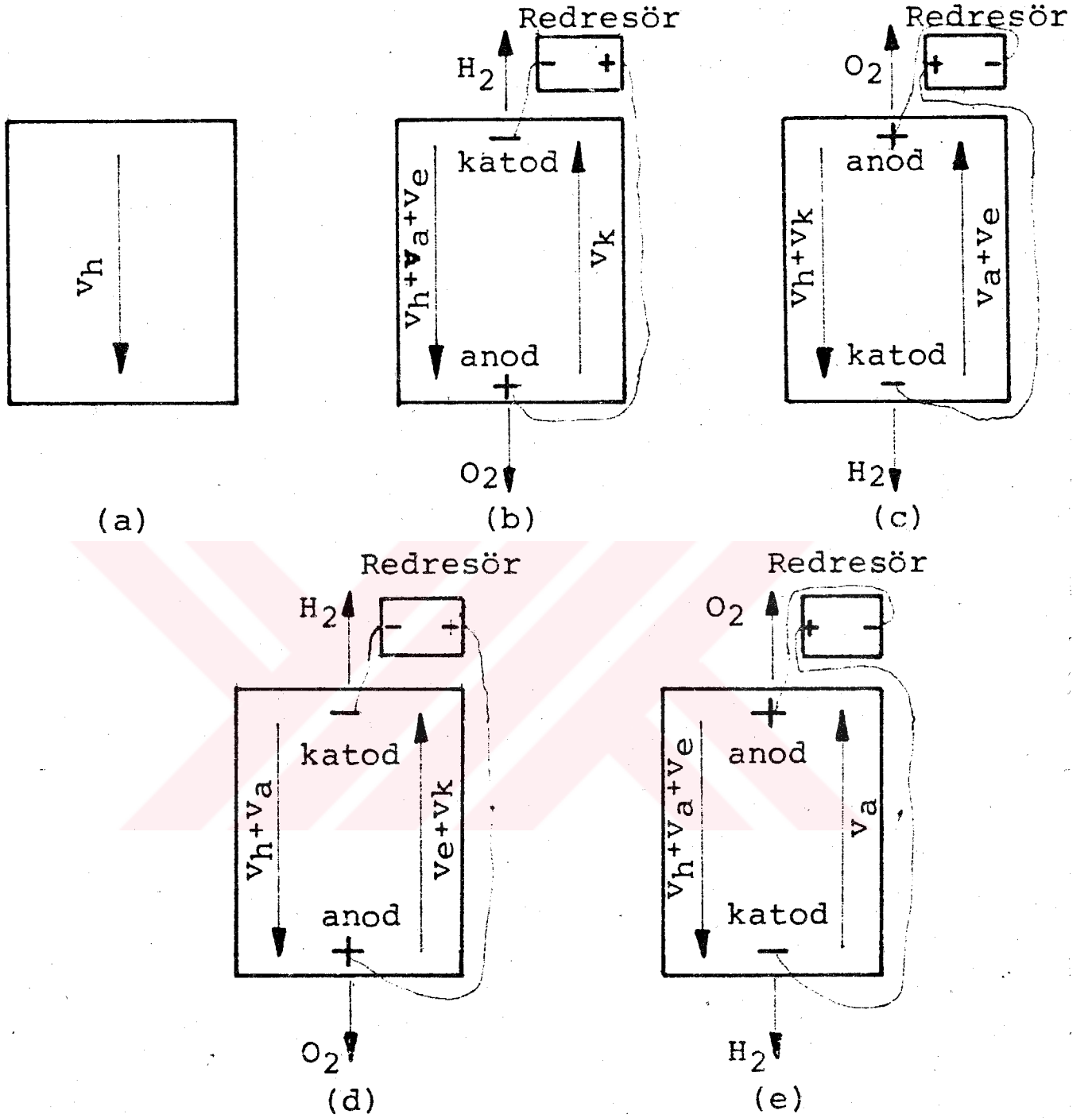
a) Elektrod konumunun drenaj hızlarına etkisi

Su alınan taraftaki elektrodun anod veya katod oluşu, drenaj hızını etkilemektedir. Her iki halde de drenaj hızları, genel olarak doğal drenaj uygulamalarından yüksektir. Bu, taze harçta uygulanan potansiyel farkı etkisi ile, birbirine ters yönde iki tür su akışının oluştuğunu göstermektedir.

Drenaj uygulaması sırasında, katkısız ve Ca(OH)_2 katkılı halde, çimento-su arayüzeyindeki zeta potansiyelinin pozitif olması gerekir. Çünkü çimento-su karışımları, C_3S -su karışımlarına göre Ca^{+2} i-

yonu yönünden daha zengindir.Çimento tanelerinin Ca^{+2} iyonu adsorbe ederek elektro-pozitif kalma olasılığı daha fazladır.Bu durumda elektro-osmotik su akışı, katı taneler tarafından adsorbe edilen Ca^{+2} iyonlarının karşısında yer alan ve elektriksel çift tabakanın sıvı fazdaki kanadını oluşturan anyonlar nedeni ile , anoda doğru gelişecektir.Ge-
 ne bu yönde, sıvı kütle içindeki anyonlar (SO_4^{-2} , H^{-1}) tarafından taşınan su hareketi vardır.Aynı anda katyonlar tarafından (Ca^{+2} , Na^{+1} , K^{+1}) katoda doğru bir su taşınımı olmaktadır.Genel olarak böyle bir durumda katyonlar, anyonlara oranla daha fazla assosiye (birleşmiş) halde su molekülü taşımaktadır (12).Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçlarda, çimento taneleri negatif yükleneceği için, negatif zeta potansiyeline sahip olurlar.Bu durumda, yukarıdakinden farklı olarak elektro-osmotik su akışı katoda doğru gelişir.Elektrodların farklı konumlarında elektrik akımı etkisiyle gelişen su hareketleri ve doğal drenaj deneylerindeki su akış durumu, şekil (4.1) de şematik olarak gösterilmiştir.

Elektro-osmoz uygulamalarında, su drenajı yapılan taraftaki elektrodun katod olması halinde drenaj hızı, diğer duruma göre yüksek olmaktadır.Ancak, drenaj sırasında meydana gelen elektroliz olayı su akışını etkilemektedir.Deneyler sırasındaki gözlem-



Şekil 4.1- Drenaj uygulamalarında su akış durumları

V_h : Hidrolik akış (debi veya hız olarak) , V_e : Elektro-osmotik akış (debi veya hız olarak) ,
 V_k : Katyonlar tarafından su taşınımı (debi veya hız olarak) , V_a : Anyonlar tarafından su taşınımı (debi veya hız olarak) , H_2 : Hidrojen gazı ,

O_2 : Oksijen gazı

- a) Doğal drenaj deneyleri,
- b) Katkısız ve $Ca(OH)_2$ katkılı harçlarda elektro-osmotik drenaj, su anod tarafından alınıyor,
- c) Katkısız ve $Ca(OH)_2$ katkılı harçlarda elektro-osmotik drenaj, su katod tarafından alınıyor,
- d) Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçlarda elektro-osmotik drenaj, su anod tarafından alınıyor,
- e) Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçlarda elektro-osmotik drenaj, su katod tarafından alınıyor.

ler, suyun elektrolizi sonucu oluşan hidrojen gazı kaçıışının, diğer elektroddaki oksijen kaçıışına oranla daha belirgin olduğunu göstermiştir. Bu durum, su drene edilen tarafın katod olması halinde, su alma borusundan gaz çıkışı şeklinde gözlenmektedir. Gaz çıkışıının su akışıını engellemesi, drenaj hızlarının ani düşmesi şeklinde kendini göstermektedir.

b) Uygulanan voltajın etkisi

Katkısız ve $Ca(OH)_2$ katkılı harçlarda, 1,0 V/cm ve 0,5 V/cm olmak üzere iki farklı voltaj değerinde elektro-osmoz uygulaması yapılmıştır. 1,0 V/cm lik elektro-osmoz uygulamalarında akış hızları doğal drenaj deneylerine oranla yüksektir (tablo 4.3 a, b, c). 0,5 V/cm lik uygulamalarda, drenaj hızları zaman zaman doğal drenaj deneylerindeki altına

W/C	Drenaj hızı (cm ³ /dk)				
	KSDD	KSEO+1	KSEO-1	KSEO+0,5	KSEO-0,5
0,600-0,598	35,2	45,2	54,0	35,0	37,1
0,598-0,597	30,9	41,0	54,0	28,7	32,6
0,597-0,596	23,5	38,3	44,6	25,1	22,6
0,596-0,594	19,7	23,2	27,0	19,1	18,2
0,594-0,592	16,7	19,8	21,0	16,0	16,5
0,592-0,590	13,4	16,3	18,0	14,3	14,5
0,590-0,588	12,1	12,2	16,5	12,6	13,4
0,588-0,586	9,4	11,4	16,0	10,4	13,0
0,586-0,584	8,5	10,1	15,2	9,3	12,3
0,584-0,582	7,6	9,5	14,1	8,9	12,1
0,582-0,580	6,9	8,4	9,3	8,2	10,3
0,580-0,578	6,1	7,2	4,6	8,1	10,2
0,578-0,574	5,1	6,2	3,8	7,3	9,3
0,574-0,570	4,4	5,5	2,2	5,5	8,0
0,570-0,566	3,2	5,1	1,7	4,3	7,8
0,566-0,562	1,9	4,4		4,7	7,5
0,562-0,558		4,2		4,3	7,0
0,558-0,554		4,0		3,3	4,0
0,554-0,552					1,5

Tablo 4.2a- Katkısız harçlarda drenaj deneylerinde, drenaj hızlarının su/çimento oranına göre değişimi

W/C	Drenaj hızı (cm ³ /dk)				
	CDD	CEO+1	CEO-1	CEO+0,5	CEO-0,5
0,600-0,598	36,6	40,1	43,8	41,3	42,7
0,598-0,597	36,6	30,6	43,8	38,0	42,0
0,597-0,596	27,2	26,5	40,6	25,5	26,7
0,596-0,594	22,5	21,1	39,7	17,1	22,5
0,594-0,592	19,7	17,0	31,2	12,3	19,2
0,592-0,590	14,9	13,6	31,2	7,2	15,5
0,590-0,588	11,7		24,5	7,3	13,9
0,588-0,586	9,6	12,3	23,1	7,0	12,8
0,586-0,584	8,6	10,6	21,0	6,6	11,9
0,584-0,582	7,7	9,7	18,1	6,7	10,8
0,582-0,580	7,1	8,8	14,3	5,6	10,2
0,580-0,578	6,4	7,8	14,4	5,7	10,2
0,578-0,576	5,6	6,9	6,4	5,4	9,7
0,576-0,572	5,1	6,4	6,8	4,2	8,9
0,570-0,568	4,5	5,5	6,3	4,1	7,8
0,568-0,564	2,7	4,5	4,8	3,9	7,5
0,564-0,560	2,0	4,4	4,0	2,6	6,8
0,560-0,556		3,5	3,1	1,4	5,0
0,556-0,552			2,3		2,3
0,552-0,548			1,8		1,2

Tablo 4.2b- Ca(OH)_2 katkılı harçlarda drenaj deneylerinde, drenaj hızının su/çimento oranına göre değişimi

W/C	Drenaj hızı (cm ³ /dk)			W/C	Drenaj hızı (cm ³ /dk)		
	LSDD	LSEO+1	LSEO-1		LSDD *	LSEO+1*	LSEC
0,540-0,539	27,3	24,4	16,0	0,600-0,599	12,5	22,4	29,
0,539-0,538		21,8	11,6	0,599-0,598	7,4	17,9	29,
0,538-0,537	13,0	15,5	13,0	0,598-0,597	7,7	10,5	20,
0,537-0,536	10,1	11,1	13,0	0,597-0,596	6,8	9,0	17,
0,536-0,534	8,0	7,2	12,4	0,596-0,594	5,6	6,8	17,
0,534-0,532	6,7	7,8	12,2	0,594-0,592	5,4	6,0	16,
0,532-0,530	5,1	6,6	11,3	0,592-0,590	5,2	5,2	15,
0,530-0,528	4,1	6,7	11,3	0,590-0,588	4,8	4,6	14,
0,528-0,526	3,7	7,5	11,5	0,588-0,586	4,3	4,2	14,
0,526-0,524	4,0	3,6	10,7	0,586-0,584	4,0	3,6	7,
0,524-0,522	2,4	5,0	8,2	0,584-0,582	3,8	3,5	7,
0,522-0,520	1,2	4,5	10,5	0,582-0,580	3,4	3,2	5,
0,520-0,518	1,8	3,1	8,6	0,580-0,578	3,0	3,2	6,
0,518-0,514	1,6	2,8	3,5	0,578-0,574	2,3	3,0	5,
0,514-0,510	1,2	2,4	2,2	0,574-0,570	1,5	2,2	4,
0,510-0,506		2,0	1,8	0,570-0,566		2,0	4,
0,506-0,502			1,6	0,566-0,562			3,
				0,562-0,558			2,
				0,558-0,554			2,

Tablo 4.2c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlarda drenaj neylerinde, drenaj hızlarının su/çimento oranına göre değişimi

W/C	KSDD deneyine göre drenaj hızı farkları							
	KSEO+1		KSEO-1		KSEO+0,5		KSEO-0,5	
	Sayı. fark cm ³ /dk	Oran. fark %	Sayı. fark cm ³ /dk	Oran. fark %	Sayı. fark cm ³ /dk	Oran. fark %	Sayı. fark cm ³ /dk	Oran. fark %
600-0,598	9,8	27,8	18,8	53,4	-0,2	-0,6	1,9	5,4
598-0,597	10,1	32,7	23,1	74,8	-2,2	-7,1	1,7	5,5
597-0,596	14,8	63,0	21,1	89,8	1,6	6,8	-0,9	-3,8
596-0,594	3,5	17,8	7,3	37,1	-0,6	-3,0	-1,5	-7,6
594-0,592	3,1	18,6	4,3	25,7	-0,7	-4,2	-0,2	-1,2
592-0,590	2,9	21,6	4,6	34,3	0,9	6,7	1,1	8,2
590-0,588	0,1	0,8	4,4	36,4	0,5	4,1	1,3	10,7
588-0,586	2,0	21,3	6,6	70,2	1,0	10,6	3,6	38,3
586-0,584	1,6	18,8	6,7	78,8	0,8	9,4	3,8	44,7
584-0,582	1,9	25,0	6,5	85,5	1,3	17,1	4,5	59,2
582-0,580	1,5	21,7	2,4	34,8	1,3	18,8	3,4	49,3
580-0,578	1,1	18,0	-1,5	-24,6	2,0	32,8	4,1	67,2
578-0,574	1,1	21,6	-1,3	-25,5	2,2	43,1	3,6	81,8
574-0,570	1,1	25,0	-2,2	-50,0	1,1	25,0	4,6	143,8
570-0,566	1,9	59,4	-1,5	-46,9	1,1	34,4	5,6	294,7
566-0,562	2,5	131,6			2,8	147,4		

Tablo 4.3a- Katkısız harçlarda, elektro-osmotik drenaj hızları ile doğal drenaj hızları arasındaki farklar

W/C	CDD deneyine göre drenaj hızı farkları							
	CEO+1		CEO-1		CEO+0,5		CEO-0,5	
	Sayı fark cm ³ /dk	Oran. fark %	Sayı. fark cm ³ /dk	Oran. fark %	Sayı. fark cm ³ /dk	Oran. fark %	Sayı. fark cm ³ /dk	Oran. fark %
0,600-0,598	3,6	9,8	7,2	19,7	4,7	12,8	6,1	16,
0,597-0,596	-6,0	-16,4	7,2	19,7	1,4	3,8	5,4	14,
0,597-0,596	-0,7	-2,6	13,4	49,3	-1,7	-6,3	-0,5	-1,
0,596-0,594	-1,4	-6,2	17,2	76,4	-5,4	-24,0	0,0	0,
0,594-0,592	-2,7	-13,7	11,5	58,4	-7,4	-37,6	-0,5	-2,
0,592-0,590	-0,7	-4,7	16,3	109,4	-7,7	-51,7	0,6	4,
0,590-0,588			12,8	109,4	-4,4	-37,6	2,2	18,
0,588-0,586	2,7	28,1	13,5	140,6	-2,6	-27,1	3,2	33,
0,586-0,584	2,0	23,3	12,4	144,2	-2,0	-23,3	3,3	38,
0,584-0,582	2,0	26,0	10,4	135,1	-1,0	-13,0	3,1	40,
0,582-0,580	1,7	23,9	7,2	101,4	-1,5	-21,1	3,1	43,
0,580-0,578	1,4	21,9	8,0	125,0	-0,7	-10,9	3,8	59,
0,578-0,576	1,3	23,2	0,8	14,3	-0,2	-3,6	4,1	73,
0,576-0,572	1,3	25,5	1,7	33,3	-0,9	-17,6	3,8	74,
0,572-0,568	1,0	22,2	1,8	40,0	-0,4	-8,8	3,3	73,
0,568-0,564	1,8	66,7	2,1	77,8	1,2	44,4	4,8	177,
0,564-0,560	2,4	120,0	2,0	100,0	0,6	30,0	4,8	240,

Tablo 4.3b- Ca(OH)₂ katkılı harçlarda, elektro-osmotik drenaj hızları ile doğal drenaj hızları arasındaki farklar

W/C	LSDD deneyine göre drenaj hızı farkları				W/C	LSDD*deneyine göre drenaj hızı farkları			
	LSEO+I		LSEO-I			LSEO+I*		LSEO-I*	
	Sayı fark	Oran. fark	Sayı. fark	Oran. fark		Sayı fark	Oran. fark	Sayı. fark	Oran. fark
	cm ³ /dk	%	cm ³ /dk	%		cm ³ /dk	%	cm ³ /dk	%
0,540-0,539	-2,9	-10,9	-11,3	-41,4	0,600-0,599	9,9	44,2	7,4	33,0
0,539-0,538					0,599-0,598	10,6	58,7	11,9	66,0
0,538-0,537	2,1	16,2	0,0	0,0	0,598-0,597	2,8	26,7	9,6	91,0
0,537-0,536	1,0	9,9	2,9	28,7	0,597-0,596	2,2	24,4	8,8	97,0
0,536-0,534	-0,8	-10,0	4,4	55,0	0,596-0,594	1,2	17,6	11,0	161,8
0,534-0,532	1,1	16,4	5,5	82,1	0,594-0,592	0,6	10,0	10,7	178,0
0,532-0,530	1,5	29,4	6,2	121,6	0,592-0,590	0,0	0,0	10,3	198,1
0,530-0,528	2,6	63,4	7,2	175,6	0,590-0,588	-0,2	-4,3	9,9	215,2
0,528-0,526	3,8	102,7	7,8	210,8	0,588-0,586	-0,1	-2,4	9,9	235,0
0,526-0,524	3,9	125,8	7,6	245,2	0,586-0,584	-0,4	11,1	4,3	119,0
0,524-0,522	2,6	108,3	5,8	241,7	0,584-0,582	-0,3	-8,6	3,6	102,0
0,522-0,520	3,3	275,0	9,3	775,0	0,582-0,580	-0,2	-6,3	2,7	84,0
0,520-0,518	1,3	72,2	6,8	377,8	0,580-0,578	0,2	6,3	2,9	90,0
0,518-0,514	1,2	75,0	1,9	118,8	0,578-0,574	0,7	30,4	2,7	117,4
0,514-0,510	1,2	100,0	1,0	83,3	0,574-0,570	0,7	46,7	3,0	200,0

Tablo 4.3c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlarda, elektro-osmotik drenaj hızları ile doğal drenaj hızları arasındaki farklar

düşmektedir (tablo 4.3 a,b,c).

Elektro-osmoz uygulamalarında diğer bir olay da, harcın elektrik akımı etkisiyle ısınmasıdır. 1,0 V/cm'lik uygulamalarda, harç sıcaklığı diğer uygulamalara göre kısa zamanda daha çok artmaktadır. Sıcaklığın yükselmesinin iki etkisi vardır: 1) Suyun viskozitesinin azalması, 2) ortamdaki iyonlarla assosiye haldeki su molekülü sayısının artması (12). İki olayın da su hareketini ve iyonlarla beraber taşınan su miktarını artırması doğaldır.

c) Harç niteliğinin drenaj hızlarına etkisi

Harcın katkılı veya katkısız oluşu, çimento tanelerinin su karşısındaki zeta potansiyelini ve herhangi bir anda karışımında iyon konsantrasyonlarını etkileyerek drenaj hızının değişmesine neden olmaktadır. Böylece katkı, elektro-osmotik su hareketini ve iyonlarla taşınan su miktarını etkilemektedir.

4.1.1. Katkısız harçlarda drenaj hızları

Tüm drenaj deneylerinde, su akışı başladıktan sonraki ilk birkaç dakika içinde akış hızı süratli bir düşme göstermektedir (tablo 4.2 a,b,c , ek tablo (4.1)).

1,0 V/cm'lik elektro-osmoz uygulamalarında drenaj

zları, doğal drenaj deneyine oranla drenaj süresince yüksektir (tablo 4.3 a). 0,5 V/cm'lik uygulamalarda ise, doğal drenaj deneyine göre hızın ilk anlarda düşük olduğu, sonra yüksek olduğu görülmektedir.

Ekstansiyon harçlarda doğal drenaj deneyine oranla hız farkları incelenirse (tablo 4.3a), 1 saatlik uygulamaların sonlarına doğru hız farklarının, elektro-osmoz lehine arttığı görülür. Drenaj sırasında zamanla harçta su içeriği azalmaktadır. Bu sırada bir miktar iyon da su ile beraber drene edilmiş olmaktadır. Ancak, drene edilen suyun yerine başka bir kaynaktan su gelmemesine karşılık, çimentonun kuruması devam ettiği için, zamanla mevcut su içinde iyon yoğunluğunun artması doğal olarak beklenmelidir. İyon yoğunluğunun artmasının doğal drenaj hızına etki yapması beklenemez. Oysa bu olay, elektro-osmotik drenajda iyonlarla taşınan su miktarını artırır.

Elektro-osmotik drenajın, drenaj işleminin sonunda daha etkin olduğu tablo (4.1) de görülmektedir. İlk 30 dakika içinde, onar dakikalık periyotlarda drene edilen su miktarının, drene edilen su miktarına oranı, doğal drenajda elektro-osmotik drenaja göre daha yüksektir. İkinci 30 dakikada ise durum tersine dönmektedir.

Deney cinsi	Korre. katsa.	$a_1 \times 10^3$	b_1	Ölçüm sayısı	Korre. katsa.	a_2	b_2	Ölçüm sayısı
KSDD	0,976	17,07	-2,20	22	0,987	$1,07 \times 10^{11}$	43,09	20
KSEO+1	0,903	2,65	-1,61	22	0,937	$2,31 \times 10^8$	31,17	23
KSEO+0,5	0,945	2,78	-1,63	22	0,966	$2,83 \times 10^7$	27,40	24
KSEO-0,5	0,905	1,82	-1,46	22	0,928	$7,67 \times 10^5$	20,32	25
CDD	0,965	11,26	-2,07	22	0,984	$3,89 \times 10^{10}$	41,10	21
CEO+1	0,957	5,64	-1,83	22	0,971	$1,38 \times 10^8$	30,26	22
CEO 0,5	0,836	1,40	-1,49	22	0,926	$3,31 \times 10^9$	36,77	23
CEO+0,5	0,915	5,90	-1,81	22	0,941	$0,88 \times 10^8$	29,08	27
LSDD	0,921	3,29	-1,86	22	0,952	$4,86 \times 10^{15}$	54,20	15
LSEO+1	0,932	1,61	-1,60	22	0,953	$7,24 \times 10^{10}$	36,08	19
LSDD*	0,914	0,49	-1,33	22	0,950	$1,29 \times 10^9$	36,69	17
LSEO-1*	0,904	0,60	-1,35	22	0,925	$1,10 \times 10^9$	35,93	19

Tablo 4.4- Drenaj deneylerinde drenaj hızı-zaman, drenaj hızı-su/çimento oranı için korrelasyon ve regresyon katsayıları

Drenaj deneylerinde, drenaj hızı-zaman ve drenaj hızı-su/çimento oranı arasında iyi korrelasyonlar bulunmuştur. Drenaj hızı-zaman arasındaki regresyon bağıntısı aşağıda verilmiştir:

$$Q_v = a_1 \cdot t^{b_1} \quad (4.1)$$

Drenaj hızı-su/çimento oranı arasındaki regresyon bağıntısı ise:

$$Q_v = a_2 \cdot w^{b_2} \quad (4.2)$$

Tüm deneylere ait korrelasyon ve regresyon katsayıları, tablo (4.4) de verilmiştir.

4.1.2. Ca(OH)_2 katkılı harçlarda drenaj hızları

Bu grupta da 1,0 V/cm'lik elektro-osmoz uygulamalarında drenaj hızları, genel olarak doğal drenaj deneyine oranla fazladır (tablo 4.3b). CEO-1 grubu deneylerde, su akış başlangıcından 7 dakika kadar sonra su alma borusundan gaz çıkışı başlamakta ve drenaj hızı düşmektedir. Bu düşüş, KSEO-1 deneylerindeki kadar azdır. Bu sonuç, Ca(OH)_2 katkılı harçlarda, katyonlar tarafından daha fazla su taşındığını ve gaz çıkışının drenaj hızına daha az etki yaptığını gösterir.

CEO-1 grubunda drenaj hızlarının KSEO-1 grubuna oranla genel olarak yüksek oluşu (tablo 4.5), ortamda Ca^{+2} iyon konsantrasyonunun yüksek oluşuyla açıklanabilir. Ayrıca Ca(OH)_2 ' in yoğurma suyunda başlangıçta doymun halde bulunması, harçtaki suyun daha uzun süre Ca^{+2} iyonlarına doymun kalmasını sağlar. Bu durum, katyonlar tarafından katoda doğru daha fazla su taşınmasına neden olur.

Ca(OH)_2 katılması, çimentonun zeta potansiyelini

pozitif yönde artırır (17). Bu da anoda doğru elektro-osmotik suakışını artırır. Anoda doğru bu şekildeki su akışındaki artışın pek önemli boyutta olmadığı, CEO+1 ve KSEO+1 grubu sonuçlarının karşılaştırılmasından görülmektedir (tablo 4.5).

CEO-1 deney grubu dışındaki elektro-osmoz deneylerinde, Ca(OH)_2 katkısının drenaj hızına açık bir etkisi görülmemektedir. Katkisız harç deneyleriyle karşılaştırıldığında, drenaj hızlarının düşük ve yüksek olduğu anlar görülmektedir. Çimentonun zeta potansiyelinin ve çimento-su karışımlarında iyon konsantrasyonlarının zamanla değişmesi, katkı ilavesi halinde de değişimlerin karmaşık oluşu, katkı etkisinin açık olarak görülmesine engel olmaktadır.

Ca(OH)_2 katkılı harçlar için de, drenaj hızı-zaman ve drenaj hızı-su/çimento oranı arasında bulunan korrelasyon ve regresyon katsayıları tablo (4.4) de verilmiştir.

4.1.3. Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlarda drenaj hızları

(B) katkılı harçlarda drenaj hızları, diğer harç gruplarına oranla düşüktür (tablo 4.2 a,b,c). Katkının önemli ölçüde hava sürüklemesi, kılcal boşlukların sürekliliğini azaltmaktadır. Ayrıca sü-

W/C	$Q_{vCEO+1} -$ $Q_{vKSEO+1}$ (cm ³ /dk)	$Q_{vCEO-1} -$ $Q_{vKSEO-1}$ (cm ³ /dk)	$Q_{vCEO+0,5} -$ $Q_{vKSEO+0,5}$ (cm ³ /dk)	$Q_{vCEO-0,5} -$ $Q_{vKSEO-0,5}$ (cm ³ /dk)
,600-0,598	-4,8	-10,2	6,3	5,6
,598-0,597	-10,4	-10,2	9,3	9,4
,597-0,596	-11,8	-4,0	0,4	4,1
,596-0,594	-2,1	12,7	-2,0	4,3
,594-0,592	-2,8	10,2	-3,7	2,7
,592-0,590	-2,7	13,2	-7,1	1,0
,590-0,588	-	8,0	-5,3	0,5
,588-0,586	0,9	7,1	-3,4	-0,2
,586-0,584	0,5	5,8	-3,3	-0,4
,584-0,582	0,2	4,0	-2,2	-1,3
,582-0,580	0,4	5,0	-2,6	-0,1
,580-0,578	0,6	9,8	-2,4	0,0
,578-0,574	0,5	3,0	-2,2	0,2
,574-0,570	0,6	3,7	-1,6	0,4
,570-0,566	-0,2	4,7	-0,8	-0,3
,566-0,562	0,0		-1,6	-0,3
,562-0,558	0,1		-2,1	-1,0
,558-0,554	-0,4			-0,6

Tablo 4.5- Katkısız ve Ca(OH)₂ katkılı taze harçlarda, benzer drenaj deneylerinde, drenaj hızı farkları

rüklenen hava habbeleri, harçta dolambaçlılık faktörünü artırmaktadır.

Dolambaçlılık faktörü, sıvının iki nokta arasında katettiği mesafenin, bu iki nokta arasındaki doğrusal uzaklığa oranıdır (40). Hava habbelerine bağlı olarak artan dolambaçlılık nedeni ile suyun akış yolu uzamakta, drenaj hızı düşmektedir.

Ca^{+2} katyonu içeren (B) katkısı, sıvı fazdaki Ca^{+2} iyon konsantrasyonunu yükseltmekte, çimentonun çözünmesini geciktirmektedir. Katkı, çimento tanelerinin negatif olarak yüklenmesine neden olduğu için (17), elektro-osmotik akış katoda doğru olmaktadır (şekil 4.1). Katyonlarla su taşınması da bu doğrultuda olduğu için, katoda doğru taşınan su miktarı fazla olmaktadır. Bu nedenle LSEO-1 grubunda, LSDD grubuna oranla hız farkları, oransal olarak diğer harç gruplarından yüksektir (tablo 4.3 a,b,c).

Öte yandan negatif yüklü büyük moleküllü linyosulfonat kökünün su taşınması beklenemez (12). Su drenajının yapıldığı taraftaki elektrodun anod olması halinde, bu doğrultuda hidrolik su hareketi ve anyonlar tarafından taşınan su hareketi olacaktır (şekil 4.1).

1) katkılı harçlarda da, su drenajının katod ve anod tarafından yapılması hallerinde, doğal drenaj deneyine oranla drenaj hızları ve drene edilen miktarları fazladır (tablo 4.3c , şekil 3.6).

tkının hava sürüklemesi nedeniyle, (B) katkılı harçlarda drene edilen toplam su miktarı, su/çimento oranı sabit tutulsa da, katkısız ve Ca(OH)_2 katkılı harçlara oranla az olmaktadır (şekil 3.6).

2) katkılı harçlarda da, drenaj hızı-zaman, drene su/çimento oranı arasındaki regresyon bağıntısı katsayıları ve korrelasyon katsayıları (tablo 4.4) de verilmiştir.

2. Taze harçlarda oturma hızları ve oturma kapasiteleri

İm şahit deneylerde, harçta katı yüzeyin oturma hızı (Δh_v), harç yüzeyinde seviye ölçümü yapıldıktan itibaren zamanla azalan bir değişim göstermektedir (şekil 4.2 , ek tablo 3.1 a,b,c). Ölçüm başlangıcından itibaren oturma miktarının (Δh_t) zamana göre doğrusal kısmının olmadığı, bu konuda literatüre karşın söylenebilir (17). Böylece oturma hızlarının zamana göre değişimi:

$$\Delta h_v = a_3 \cdot t^{b_3} \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilebilir. a_3 ve b_3 katsayıları,

Deney cinsi	Korrelasyon katsayısı	a_3	b_3	Ölçüm sayısı
KSS	0,979	$1,95 \cdot 10^6$	-2,85	23
CS	0,993	$5,71 \cdot 10^6$	-3,17	21
LSS	0,977	$2,35 \cdot 10^3$	-1,11	28

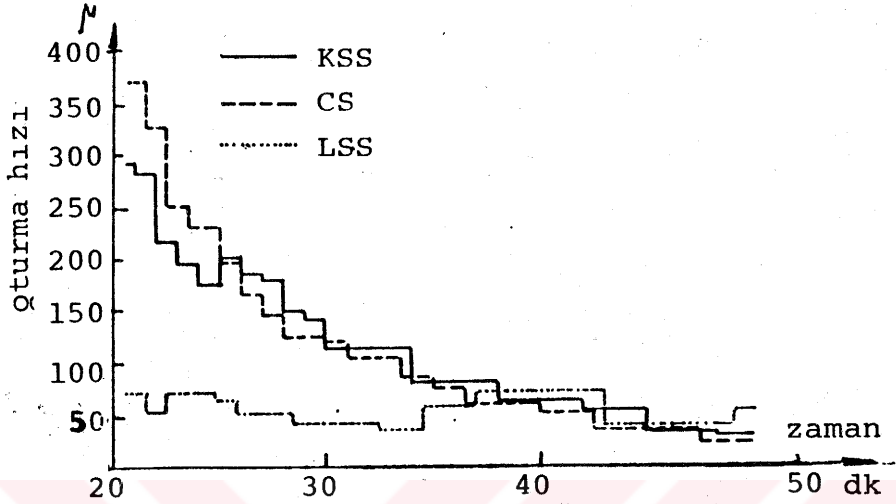
Tablo 4.6- Oturma hızı (Δh_v)-zaman ilişkilerinde şahit harç deneyleri için korrelasyon ve regresyon katsayıları

korrelasyon katsayıları, şahit harç grupları için tablo (4.6) da verilmiştir.

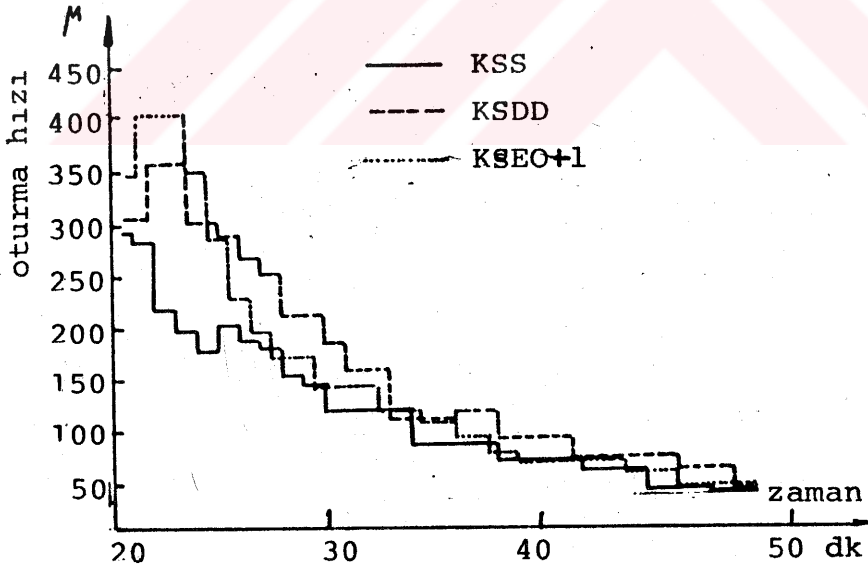
Katkısız ve Ca(OH)_2 katılı harçlarda oturmalar, yerleştirme bitiminden (16 ıncı dakika) 40-45 dakika sonra sona ermekte veya izlenemiyecek kadar azalmaktadır.(B) katkılı harçlarda ise oturma, 100-125 dakika kadar izlenebilmektedir.

Oturma kapasitesi, toplam oturma miktarının taze harç yüksekliğine oranı ($\Delta h/h$) biçiminde ifade edilirse, bu değer drenaj uygulanmış harçlarda yüksektir (tablo 3.4 , şekil 4.2).

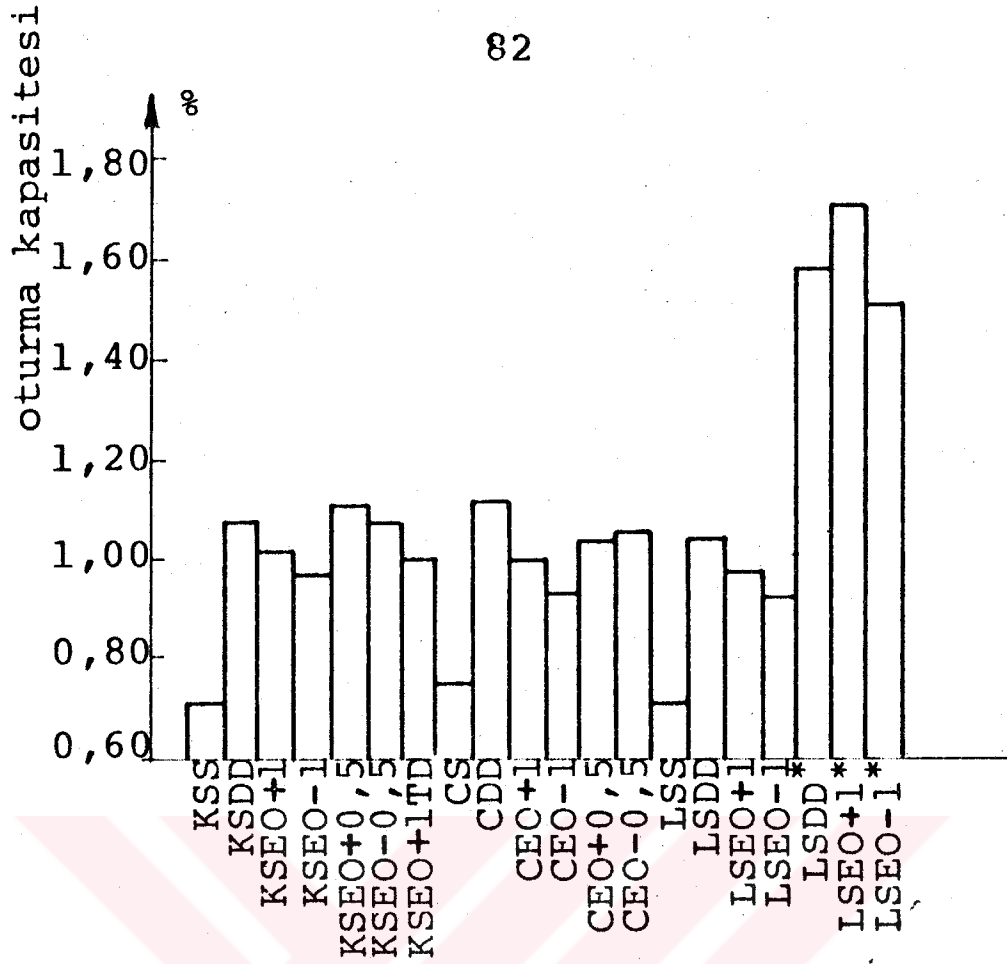
(B) katkılı $W/C=0,54$ grubunda oturma hızları, diğer harç gruplarına oranla yaklaşık 1/4 oranında düşüktür.Oturma kapasiteleri kısa sürede düşük olmakla birlikte (şekil 4.3), nihai değerleri, katkısız ve Ca(OH)_2 katkılı harçlarla aynı mertebededir.



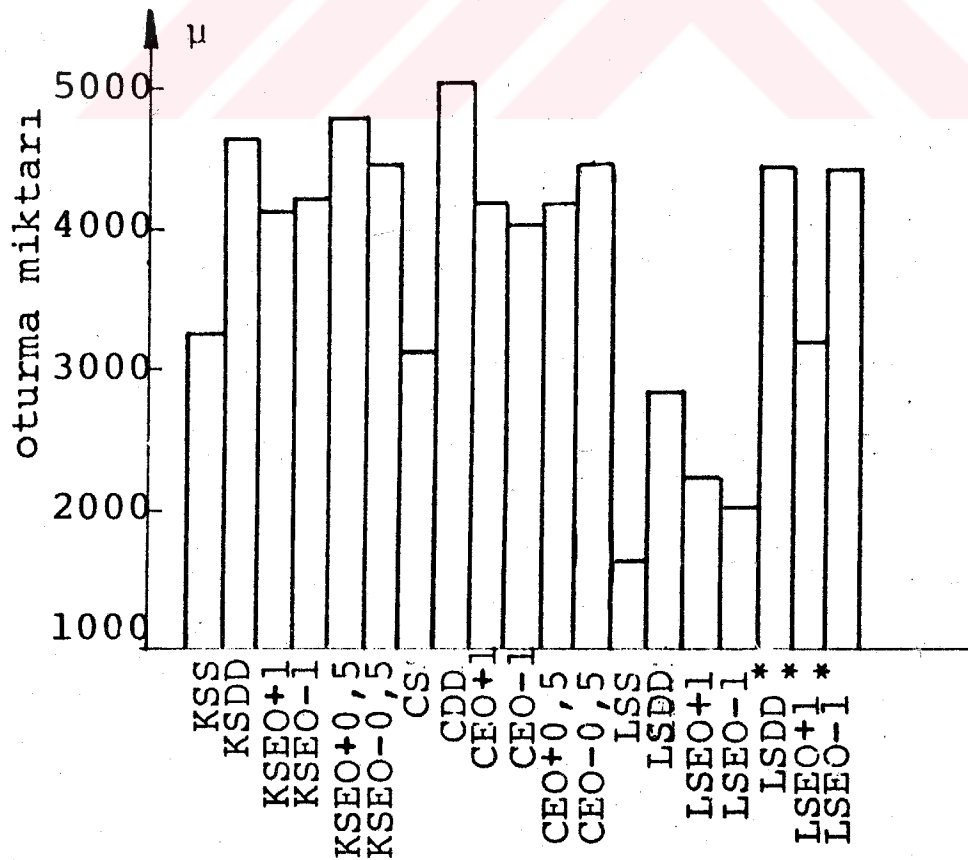
Şekil 4.2- Katkısız, Ca(OH)_2 katkılı ve (B) katkılı şahit harçlarda 20-50 inci dakikalar arasında, oturma hızlarının zamana göre değişimi



Şekil 4.3- KSS, KSDD, KSEO+1 grubu harçlarda, 20-50 inci dakikalar arasında, oturma hızlarının zamana göre değişimi



Şekil 4.4- Deney gruplarında ölçülen oturma kapasiteleri



Şekil 4.5- Taze harçlarda, katı yüzey seviyesinin ilk ölçüldüğü 20,5 uncu dakikadan, 52 inci dakikaya kadar ölçülen toplam oturma miktarı

(şekil 4.2).Tüm drenaj deneylerinde, su drenajı ilk anlarda oturma hızını yükseltmekte, hız bir max. dan geçtikten sonra düşmektedir.Örnek olarak çizilen KSS,KSDD, ve KSEO+1 gruplarına ait oturma hızı-zaman grafiklerinde bu durum görülmektedir (şekil 4.4).Diğer harç gruplarında da aynı durum vardır (ek tablo 3.1 a,b,c).Bu durum, drenaj etkisiyle şahit harçlara oranla, daha kısa sürede daha yoğun bir harç yapısı oluştuğunu göstermektedir. (B) katkısının, W/C=0,54 grubunda, oturma hızına olan etkisi şekil (4.5) de görülmektedir.

4.3 Elektriksel direnç ölçüm sonuçları

4.3.1. Harç ve betonda elektriğin iletilmesi

Harç ve betonda elektriğin iletimi üç yolla olur:

1) Agregataneleri ve çimento hamuru ile (iki faz seri bağlı dirençler olarak düşünülebilir), 2) birbiri ile temasta olan agregataneleri ile, 3) Çimento hamuru ile.Agregatanelerinin elektriksel dirençleri çok yüksek (çimento hamurunun yaklaşık 40 katı) olduğu için, elektriğin agregataneleri ile iletimi çok zayıftır.Hatta agregatanelerinin yoğun olduğu bölgelerde hamur konsantrasyonu düşük olduğundan, toplam iletkenlik artmaz aksine azalır (41).

Çimento hamurunda elektriğin iletimi, hidrate ve hidrate olmamış haldeki çimento tanelerinin teması

ile ve sudaki iyonlar yoluyla olur. İletkenlikte en önemli rolü su fazı oynar. Erken yaşlarda iyon konsantrasyonu değişimleri, su fazındaki iletkenliği önemli ölçüde etkiler. Daha sonraki yaşlarda tane teması ile iletkenlik önem kazanır. Hidratasyonun gelişmesi, bu tür iletkenliği etkiler.

4.3.2. Taze harçlarda elektriksel direnç ölçüm sonuçlarının irdelenmesi

Taze harçlarda direnç ölçüm sonuçları direncin, harcın niteliği (katkı durumu, W/C oranı), zaman, sıcaklık, direncin ölçüldüğü harç yüksekliği faktörlerine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Katkısız ve Ca(OH)_2 katkılı harçların, yerleştirmeden sonra ilk ölçülen dirençlerinde belirgin fark yoktur (tablo 4.7). Buna karşılık, kalsiyum linyosulfonat (B) katılmasının, elektriksel direnci etkilediği anlaşılmaktadır. Bu katkı çözünme geciktirici ve hava sürükleyici etkisi nedeniyle, elektriksel direnci artırmaktadır. (B) katkılı W/C=0,54 grubunda ilk dirençler, diğer harçlara göre yüksektir. (B) katkılı W/C=0,60 grubunda daha da yüksek dirençler ölçülmüştür. Bu grupta W/C oranının artması ile, W/C=0,54 grubuna oranla sudaki iyon konsantrasyonunun azalması ve daha çok hava sürüklenmesi, elektriksel direnci artırmıştır.

harç sıcak. (°C)	Elektriksel direnç (ohm)			
	Katkısız harçlar	Ca(OH) ₂ katkılı harçlar	(B) katkılı harçlar W/C=0,54	(B) katkılı harçlar W/C=0,60
19,4	28,5	26,8		
20,0	26,4			34,5
21,1	25,3	26,0	31,5	34,9
21,7	27,9	27,5	31,7	35,2
22,2	27,5	27,3		
22,8		24,8	31,0	

Tablo 4.7_ Taze harçlarda, yerleştirmeden hemen sonra ve işlemden hemen önce ölçülen R3 seviyesindeki elektriksel dirençler

Katkısız ve Ca(OH)₂ katkılı harçlarda, yerleştirmeden sonra yapılan ilk ölçümlere göre, harç yüzeyinden itibaren ilk 4 seviyede dirençler birbirine yakındır. En alttaki R5 seviyesinde direnç yüksektir. Zira elektriksel ölçümlerin başladığı ana kadar harç nisbeten oturmakta, altta iri agrega taneleri çoğalmaktadır. Bu durumun elektriksel direnci artırdığı daha önce belirtilmişti.

Harç direnci harcın niteliğine, sıcaklık değişimine, uygulanan drenaj işlemine bağlı olarak zamanla değişmektedir. Bu değişimleri, her harç grubu için ayrı ayrı incelemek yararlı olacaktır.

dolayısıyla priz geciktirici etkisine bağlanabilir.

b) Drenajlı harçlar

Doğal drenaj deneylerinde ilk anlardaki direnç düşmeleri, şahit harçlara göre yavaştır (ek tablo 3.2 a,b,c). 1,0 V/cm'lik elektro-osmoz uygulamalarında ortama elektrik akımı verilince, elektriksel dirençte ani bir düşme olmaktadır (ek tablo 3.2 a, b,c). Bu olay 18,5-22,5 uncu dakikalar arasında hızlı bir direnç düşüşü olarak görülmektedir. Bu sırada ortama elektrik akımı verildiğine dikkat etmek gerekir. Elektrik akımının kesildiği anı içeren aralıkta ise, dirençte hızlı bir yükselme olmaktadır.

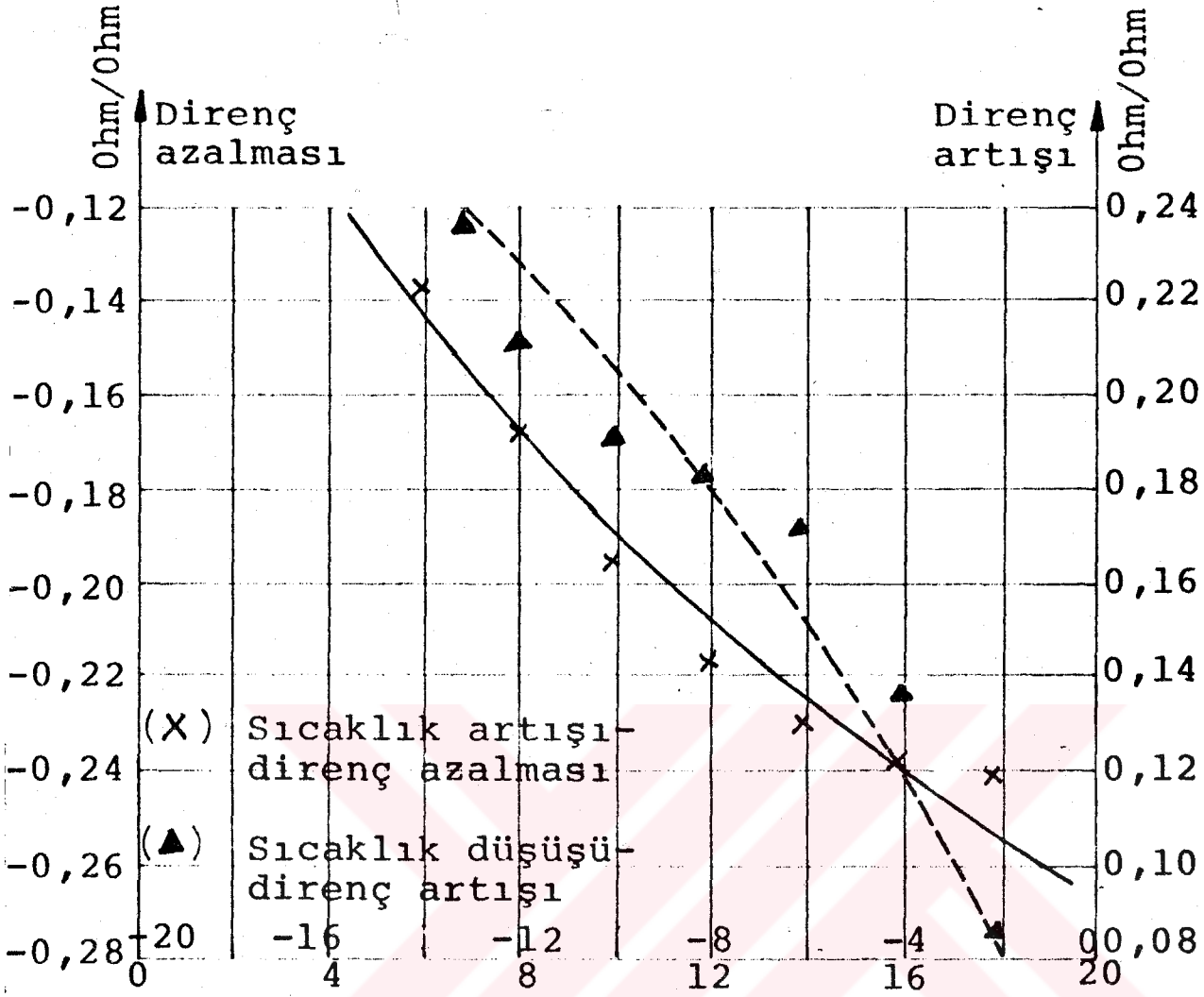
Elektrik akımı verildiği andaki hızlı direnç düşmesi, ancak sıvı fazda bir iletkenlik artışıyla açıklanabilir. Titkov ve arkadaşlarının çalışmalarında, doğru akım verilen killi zeminlerde, kil taneleri ile su arasındaki elektriksel çift tabakanın difüz tarafının bozularak dağıldığı belirtilmektedir (28). Böyle bir olayın çimento taneleri civarında meydana gelmesi, difüz tabakadaki iyonların da elektrik iletimine katkıda bulunmalarını sağlamış olabilir. Elektrik akımı kesilince, tanenin etrafında tekrar difüz tabaka oluşması, elektriksel direncin tekrar yükselmesine neden olacaktır.

0,5 V/cm'lik elektro-osmoz uygulamalarında, elektrik akımı nedeniyle ani düşme ve yükselmeler çok azdır. Bu durum voltajın, difüz tabakayı dağıtmak için yetersiz kalmasıyla açıklanabilir.

Elektro-osmoz uygulamalarında, özellikle 1,0 V/cm'lik voltajda harç sıcaklığı, elektrik akımı verilince hızla artmaktadır. Sıcaklık artışı da çimento hamuru, harç ve betonda elektriksel direnci düşürür (41). Bu durumu sinamak için deneylerde kullanılan katkısız karışım, küçük boyutta bir kaba (6x14x20 cm) yerleştirilerek direnç ölçümleri yapılmıştır. Aynı türden karışımın bulunduğu kap, bir deneyde sıcak su banyosuna oturtularak, sıcaklık ve dirençler ölçülmüştür (şekil 4.6). Sonuçlara göre, sıcaklık artışıyla harçta hızlı bir direnç düşüşü olmaktadır. Deney kabı sıcak su banyosundan çıkarılınca harç sıcaklığı düşmekte, direnç yükselmektedir. Sıcaklık değişimi ile elektriksel direnç değişimi arasında iyi bir korrelasyon vardır. İyi bir korrelasyon katsayısı ile aradaki bağıntı:

$$\Delta R/R = a_4 \cdot \Delta T^{b_4} \quad (4.4)$$

$\Delta R/R$: Elektriksel direnç değişimi (ohm/ohm) ,
 ΔT : Sıcaklık değişimi ($^{\circ}\text{C}$) , a_4 ve b_4 sabitlerdir. Sıcaklık artışında $a_4=0,531$, $b_4=1,491$, sıcaklık düşüşünde, $a_4=0,598$, $b_4=1,353$ bulunmuştur.



Şekil 4.6- Taze harçlarda sıcaklık değişimi- elektriksel direnç değişim ilişkisi

Elektro-osmoz uygulamalarında sıcaklık ilk anlarda hızla yükseldiği halde, yukarıda belirtilenle aynı mertebede direnç düşüşleri olmamaktadır. Bu durum üç faktöre bağlanabilir: 1) Elektriksel direnç, uygulanan doğru akım doğrultusuna dik yönde ölçülmektedir. Doğru akım ise, iyonların ölçüm yönündeki hareketini zorlaştırmaktadır, 2) doğru akım kimyasal reaksiyonları hızlandırarak iyon yoğunluğunu azaltmaktadır, 3) suyun elektrolizi ile oluşan gaz, iletkenliği azaltmaktadır. Hangi olayın ne derecede

etkili olduğunu bilmemizi sağlayacak ölçümler bu aşamada yapılmamıştır.

Elektro-osmoz uygulamalarında (B) katkılı harçlar dışında, ilk direnç artışları doğal drenajlı ve şahit harçlardakinden geç başlamakta, fakat daha çabuk hızlanmaktadır (ek tablo 3.2 a,b,c).

4.3.3. Harcın karılmasını izleyen ilk 24 üncü saatteki elektriksel dirençler

Karıştırma bitiminden 24 saat sonra kalıp alınırken elektriksel dirençler ölçülmüştür. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak şekil (4.7 a,b,c)'de verilmiştir.

(B) katkılı $W/C=0,54$ grubu harçlarda, su/çimento oranının düşük olması ve katkının hava sürüklemesi nedeniyle, 24 üncü saatteki elektriksel dirençlerin, katkısız ve $Ca(OH)_2$ katkılı harçlara göre yüksek olduğu görülmektedir (ek tablo 3.3 a,b,c).

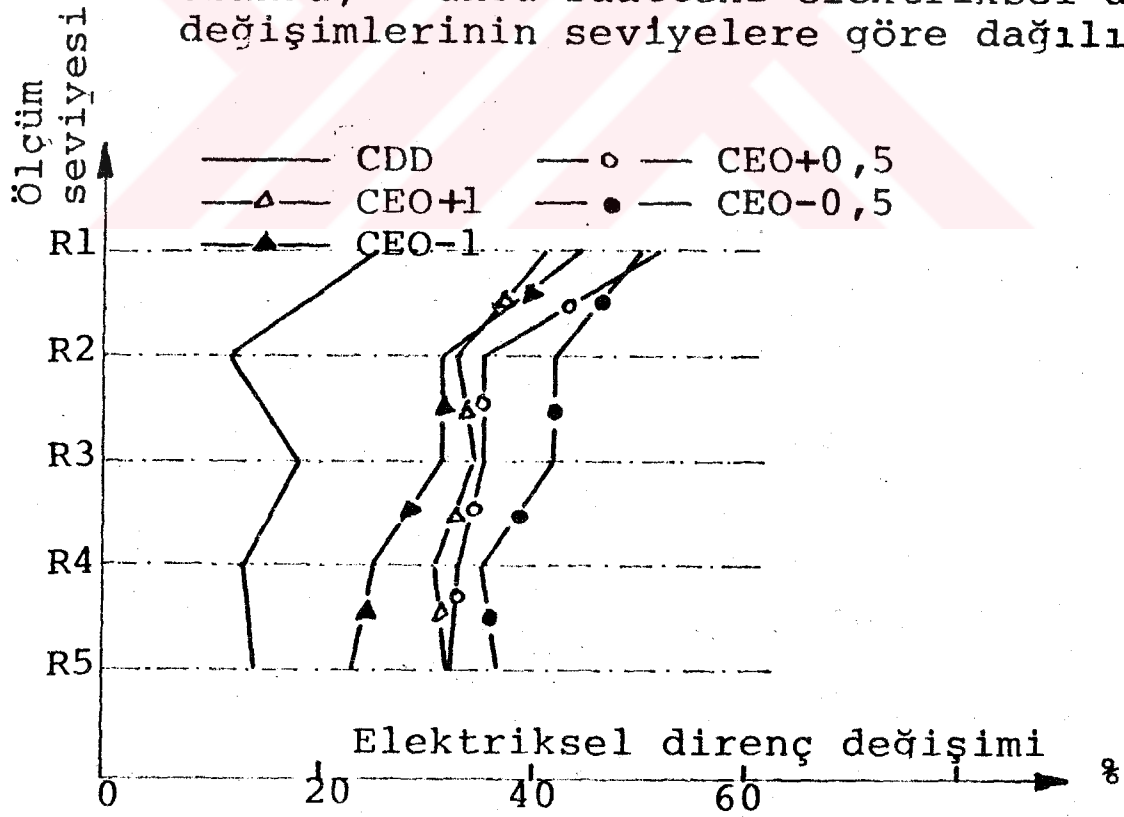
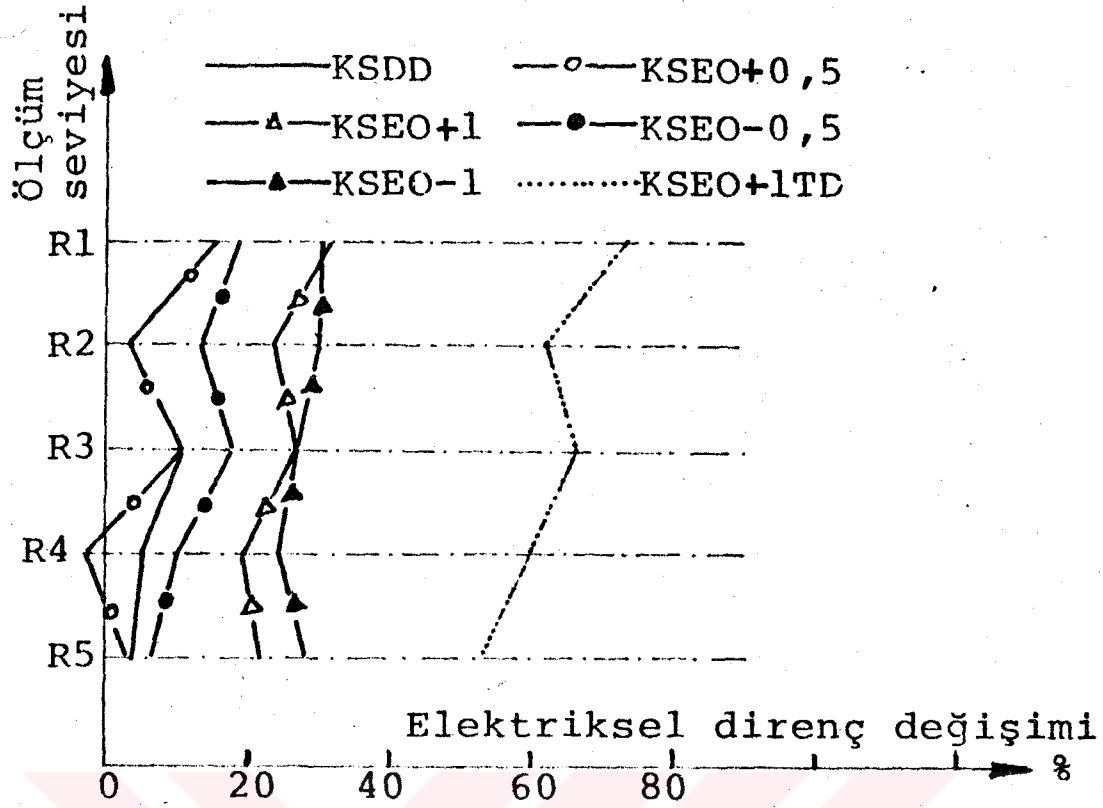
(B) katkılı $W/C=0,60$ grubunda, 24 üncü saatteki dirençler, katkısız harçlarla aynı seviyededir. Bu grupta taze harçta elektriksel dirençlerin yüksek olmasına karşın, hidratasyonların gecikmesi nedeniyle dirençler fazla artmamaktadır.

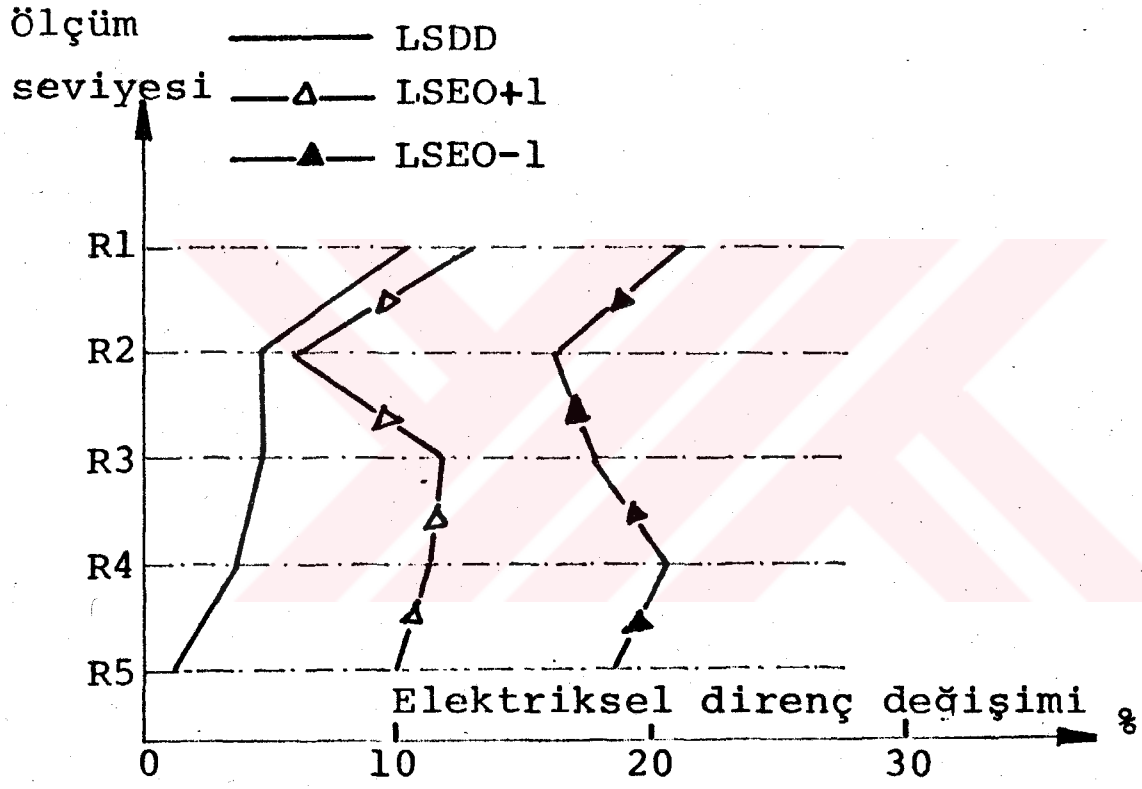
.3.4. Elektriksel direnç ölçümleriyle ilgili düşünceler

İmimento hamuru, harç ve betonlarda elektriksel direnç değişimleri izlenerek çözünme, sıcaklık değişimi, priz süreleri, ortamın iyon yoğunluğu gibi özellikler hakkında bilgi edinmek olanağı vardır.

Deneylerimizde elektro-osmoz uygulaması sırasında yapılan direnç ölçümleri, çift tabaka ile ilgili karmaşık elektro-kimyasal değişimler olduğunu göstermektedir.

Direnç ölçümleri ileri yaşlarda yapılmadığı için, erken yaşlarda yapılan bu ölçmelerden, sertleşmiş harç özellikleri ile ilgili sonuçlar çıkarmak yanıltıcıdır.





Şekil 4.7c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı drenajlı harçlarda, (B) katkılı şahite oranla, 24 üncü saatteki elektriksel direnç değişimlerinin seviyelere göre dağılımı

BÖLÜM V

SERTLEŞMİŞ HARÇLARDA DENEY
SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Gerek doğal drenajla, gerekse elektro-osmotik drenajla, harçtaki suyun bir kısmının geri alınması, sertleşmiş harç özelliklerine olumlu etki yapmaktadır. Öte yandan deneysel sonuçlar, özelliklerdeki iyileşmenin yalnızca drene edilen su miktarına bağlı olmadığını göstermektedir.

Drenaj işlemleri sırasında, katı yüzeyin oturmasının hızlandığı ve toplam oturma miktarının şahit deneylere göre fazla olduğu belirtilmişti. Oturmanın fazla olması, daha yoğun bir harç yapısının oluşması demektir. Ancak bu yoğunlaşmanın, sertleşmiş harç özelliklerine önemli etki yapması beklenebilir. Çünkü, drenaj sonucu toplam oturma nedeniyle boşluk hacmindeki azalma, max. halde %1,5 gibi anlamlı olmayan bir değere ulaşabilmektedir. Oturmayla indirgenen boşluk miktarı, drenajla alınan su miktarının %70'i mertebesinde dir. Bu sonuca göre işleri sürülecek, oturmanın sadece drene edilen suyla ilgili olduğu varsayımı ise tartışılabilir bir husustur. Zira, oturmanın bir oranda havanın kaçmasına da bağlı olduğu unutulmamalıdır.

oşluktaki azalmanın çok küçük kaldığı düşünülür-
e, toplam boşluk hacmindeki azalmadan çok, boş-
uk yapısındaki değişimin sertleşmiş harç özellik-
erini etkilediği öne sürülebilir.

ertleşmiş harç ve betonda şu boşluklar bulunur:

1) Taze halde yoğurma suyunun bulunduğu ve hidra-
asyonla tamamen kapanamayan boşluklar, 2) karış-
ırma sırasında bir katkı maddesi ilavesi ile veya
endiliğinden sürüklenen küresel boşluklar, 3) çİ-
entonun hidratasyonu sonucu ortaya çıkan ve hid-
atasyon geliştikçe miktarı artan jel boşlukları,
4) agrega yığnında bulunan ve çimento hamuru ta-
afından doldurulamayan makroskopik boşluklar (48).

eville'e göre, beton basınç dayanımı tüm boşluk-
ardan etkilenmekle beraber, boşluk biçimi de önem-
idir (3). Bazı araştırmacılar ise, boşluk biçimi-
in dayanım üzerinde etkili olmadığını öne sürmek-
edirler (4).Oktar'a göre fazla miktarda hava sü-
üklenmemiş betonlarda, dayanıma en olumsuz etkiyi
ılcal boşluklar yapmakta, küçük küresel boşluklar
se dayanımı fazla etkilememektedir.Ancak, hava i-
eriği %5'i aştıktan sonra sürüklenen hava dayanım
zerinde etkili olmaya başlamaktadır (48).

ktar çalışmasında, beton kalıplarının su sızdır-
ası sonucu dayanım artışı gözlemiştir.Su sızıntı-

sının, aynı zamanda yer çekimi etkisiyle oturma yapan taze betonda, hamur yapısının daha dolu olmasına yol açtığını ve böylece hamur yapısına duyarlı olan beton basınç dayanımının artabileceğini öne sürmüştür.

Nitekim deneylerimizde, katkısız ve Ca(OH)_2 katkılı harçlarda, drenaj sonucu meydana gelen dayanım artışları ile kılcallık katsayıları arasında iyi bir korrelasyon bulunması, varsayımların doğruluğunu kanıtlamaktadır. Ancak farklı ilişkiler veren durumlar da yok değildir. Bunları aşağıda açıklayacağız.

Yukarıda söylenen farklı ilişkilerin, elektro-osmoz uygulanmış harçlarda görülmesi, sertleşmiş harç özelliklerine iki faktörün etki ettiğini göstermektedir: 1) Drenaj sonucu boşluk yapısındaki fiziksel değişmeler, 2) elektrik akımı etkisiyle meydana gelen elektro-kimyasal değişmeler.

Boşluk yapısındaki fiziksel değişmeleri açıklamaya yarayan 3 grup veri vardır: 1) Kılcallık katsayıları, 2) ultra-ses hızları, 3) sertleşmiş harç birim ağırlıkları. Bu verilerdeki değişmeler, drenaj sırasında taze harçta ve daha sonraki sertleşmiş harçtaki yapısal değişiklikleri açıklayıcı niteliktedir. İnceleme yapılırken önce, katkısız ve katkı-

lı harçlar için, yukarıdaki paragrafta belirtilen birinci grup faktörler incelenecektir. Sonra 2 inci grup faktörler tüm harçlar için ayrı bir bölümde ele alınacaktır.

5.1. Katkısız harç grubu

5.1.1. Kılcallık katsayıları (K)

Drenaj uygulanmış katkısız harçlarda kılcallık katsayıları (K), katkısız şahit harçlara göre önemli ölçüde düşüktür (şekil 5.1a). Kılcallık katsayılarındaki bu düşüşün, kısmen kılcal boşluk miktarındaki azalmadan kaynaklandığı söylenebilir.

Drenaj sonucu kılcal boşluk miktarındaki azalmanın, drenaj sırasındaki su hareketi ile ilgili olduğu açıktır. Doğal drenajlı harçlarda da (K) değerinin azalması bu görüşü doğrulamaktadır. Katı tanelerin çökmesine bağlı olarak, tabandan yukarıya doğru gelişen su hareketinin (terleme) kılcallığı artırıcı etki yaptığı bilinmektedir. Terlemenin aksi yönünde gelişen su hareketinin ise, kılcal boşlukları azaltıcı etki yaptığı anlaşılmaktadır.

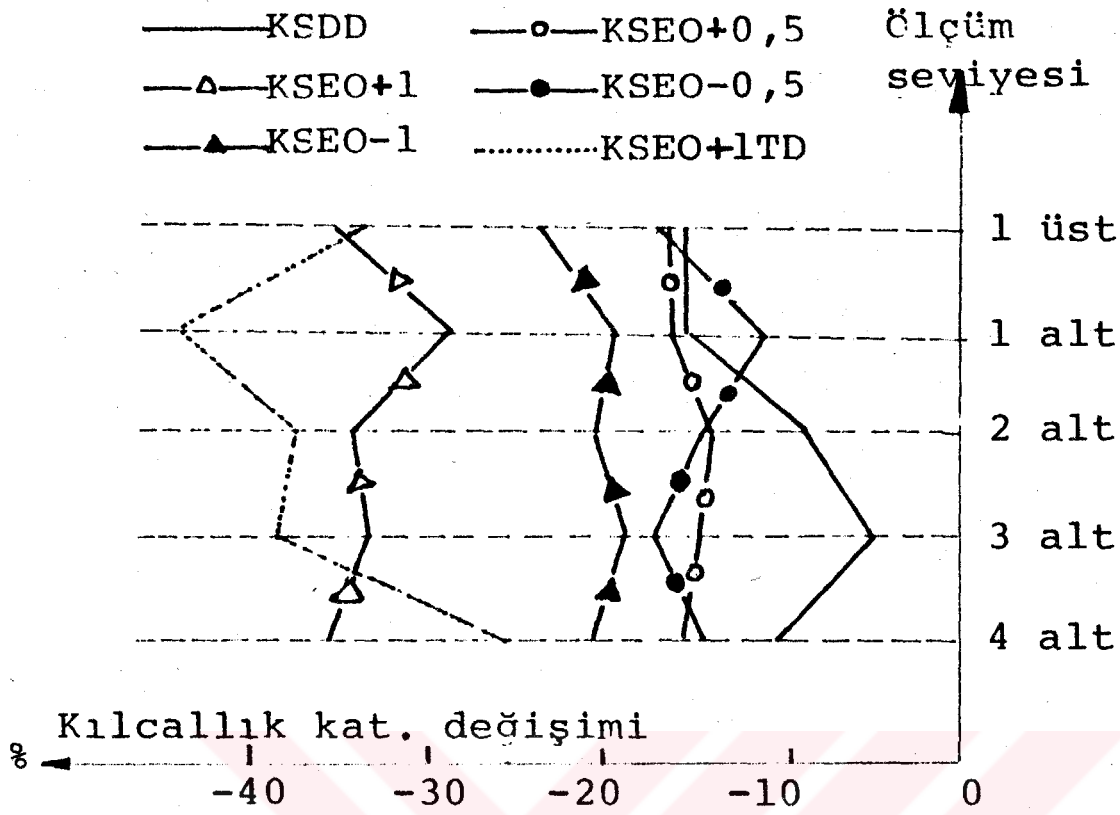
Kılcal boşlukların çoğunlukla harcın hamur fazında bulunması, bu fazda gelişen drenaj hareketinin, oturmalarına yansımayan bir kılcal boşluk azaltma etkisi oluşturduğunu düşündürmektedir (48).

Elektro-osmoz uygulama süreleri farklı olan KSEO+1TD ve KSEO+1 nümunelerinde, drene edilen toplam su miktarları fark etmediği halde, daha uzun süre elektro-osmoz uygulanan birinci grup nümunelerde, (K) değerleri çok küçük bulunmuştur. Bu bulgu kılcal boşluklardaki kapanmanın, drenajdan ötede elektro-kimyasal etkilere de bağlı olduğunu kanıtlamaktadır. Bu konuya da ileride değinilecektir.

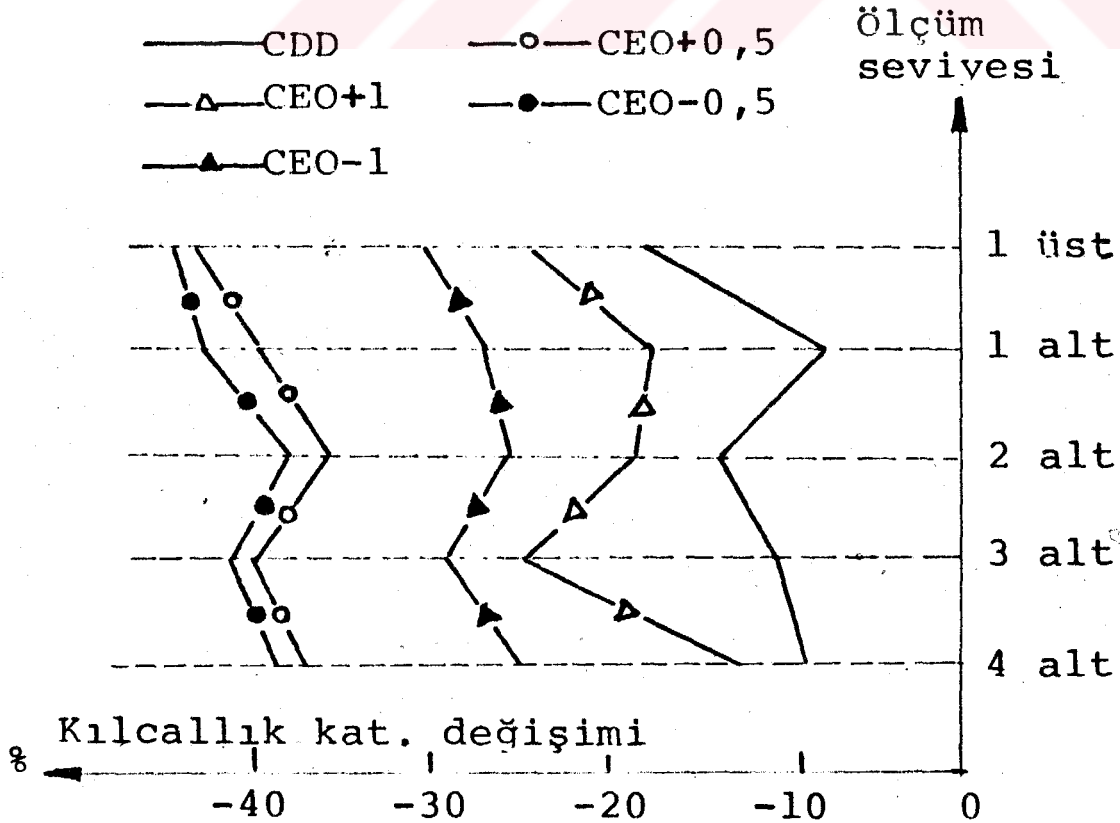
Drenaj sonucu (K) değerlerindeki azalma, büyük ölçüde boşluk yapısındaki değişimleri yansıtmaktadır. Ancak bu azalmanın, toplam kılcal boşluk miktarındaki azalmayı tam olarak yansıtmadığını göz önünde bulundurmak gerekir. Taze harcın kılcal boşluk çaplarındaki küçülme, ileride kılcallık deneyinin yapıldığı tarihte kılcal su emmeyi artırabilir. Bu da kılcallık katsayılarının beklenilenden daha yüksek çıkmasına neden olacaktır.

5.1.2. Ultra-ses hızları

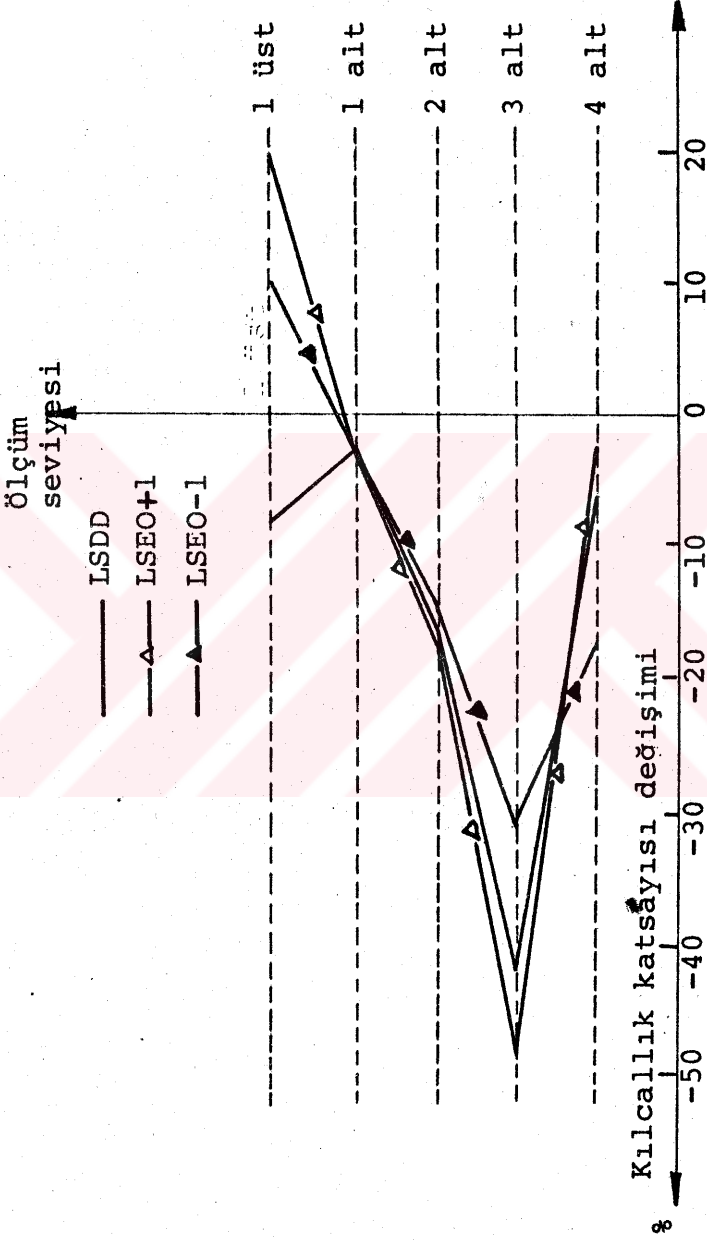
Katkısız harçlarda drenaj işlemi sonucu, sertleşmiş harçlarda iki yönde ölçülen ultra-ses hızlarının arttığı görülmektedir (şekil 5.2a , 5.3a). Bu artışlar, kılcallık katsayılarındaki değişimler gibi büyük değerlere ulaşmamaktadır.



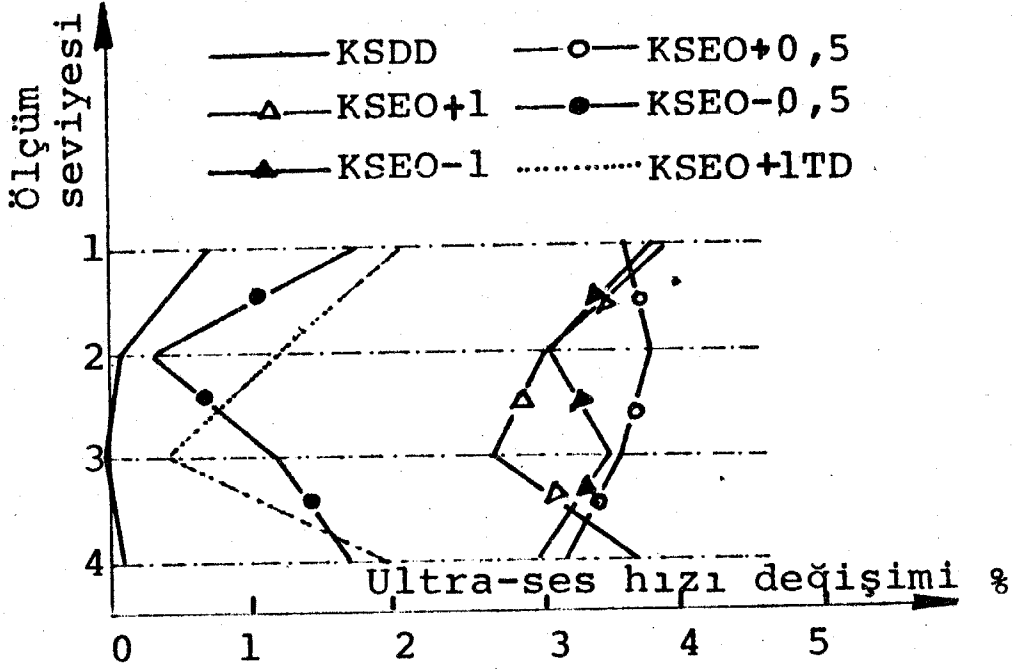
Şekil 5.1a- Katkısız drenajlı harçlarda, katkısız şahite oranla kılcalılık katsayısı değişimlerinin seviyelere göre dağılımı



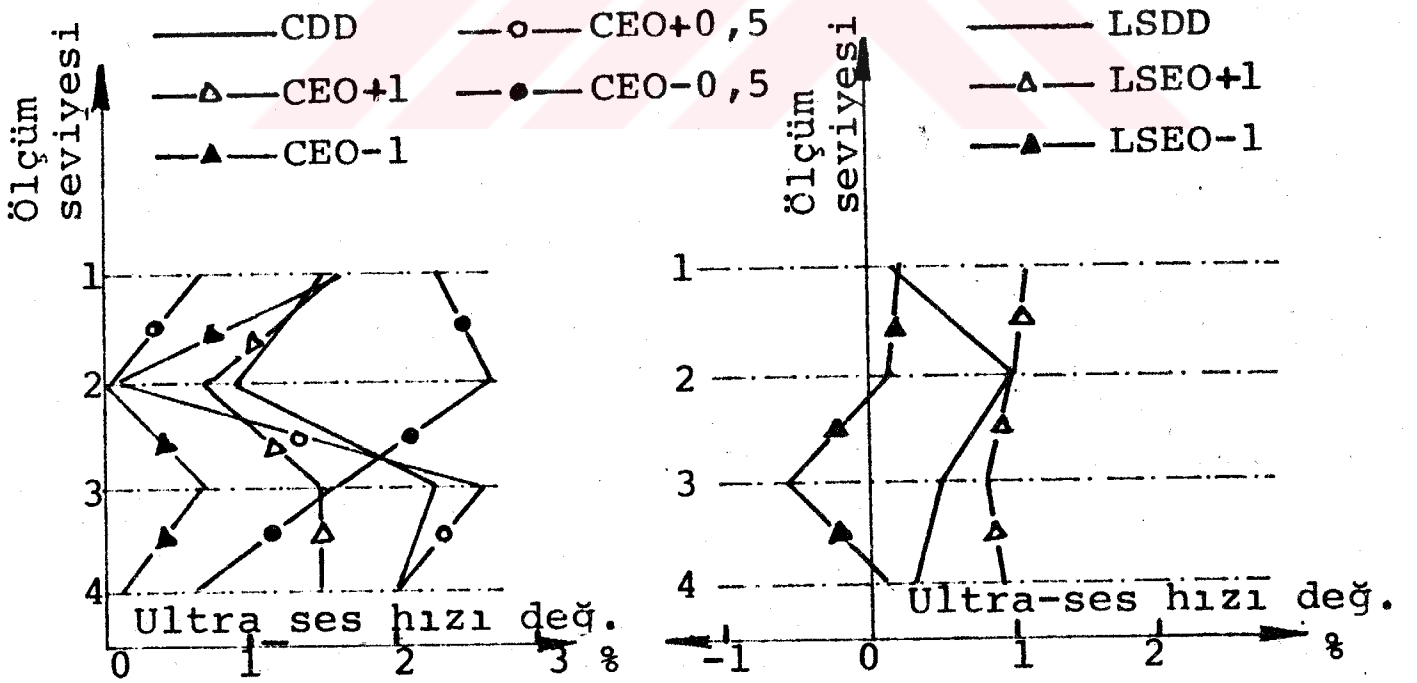
Şekil 5.1b- Ca(OH)_2 katkılı drenajlı harçlarda, Ca(OH)_2 katkılı şahite oranla, kılcalılık katsayısı değişimlerinin seviyelere göre dağılımı



Şekil 5.1c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı drenajlı harçlarda, (B) katkılı şahite oranla kılcallık katsayısı değişimlerinin seviyelere göre dağılımı

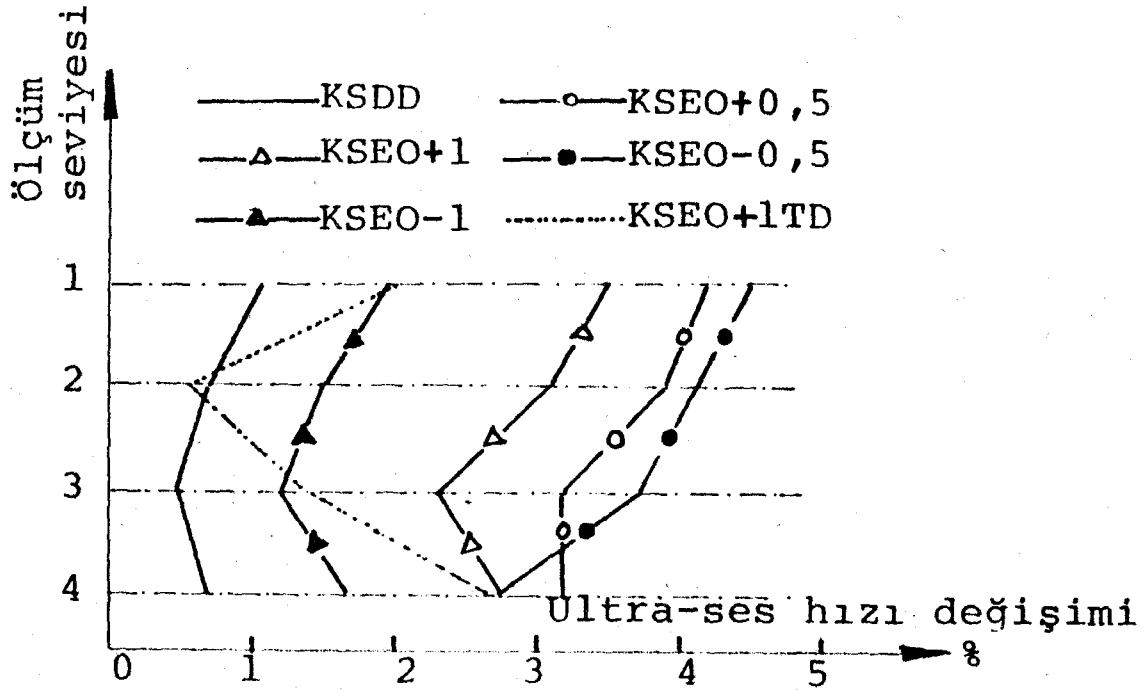


Şekil 5.2a- Katkısız drenajlı harçlarda, katkısız şahite oranla, yatay doğrultudaki ultra-ses hızı değişimlerinin seviyelere göre dağılımı

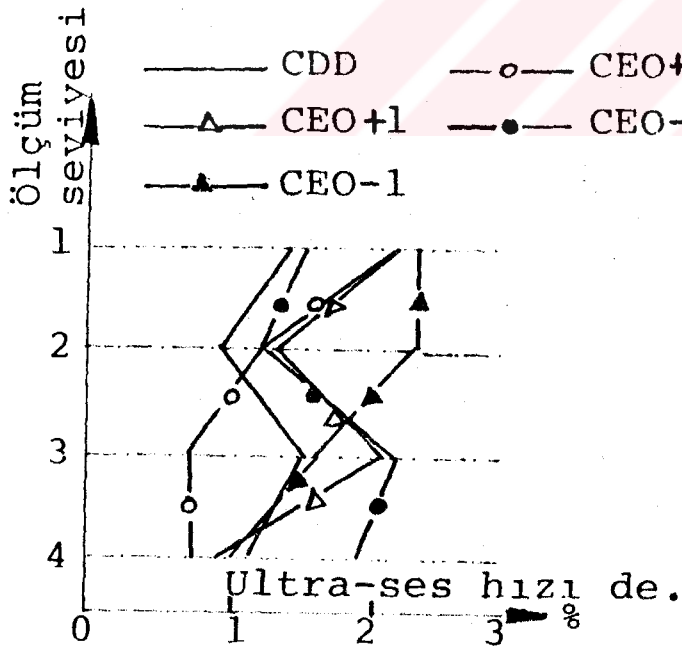


Şekil 5.2b- Ca(OH)₂ katkılı drenajlı harçlarda, Ca(OH)₂ katkılı şahite oranla, yatay doğrultudaki ultra-ses hızı değişimlerinin seviyelere göre dağılımı

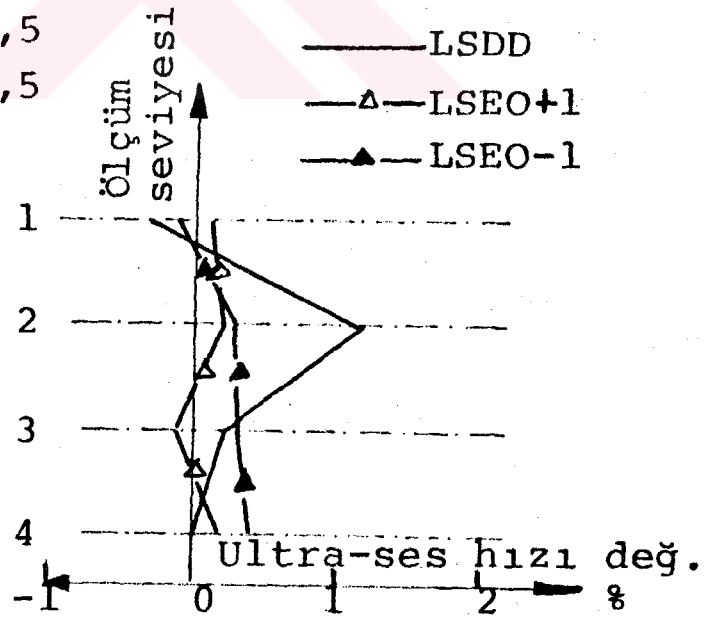
Şekil 5.2c- Kalsiyum linyo-sulfonat (B) katkılı drenajlı harçlarda, (B) katkılı şahite oranla, yatay doğrultudaki ultra-ses hızı değişimlerinin seviyelere göre dağılımı



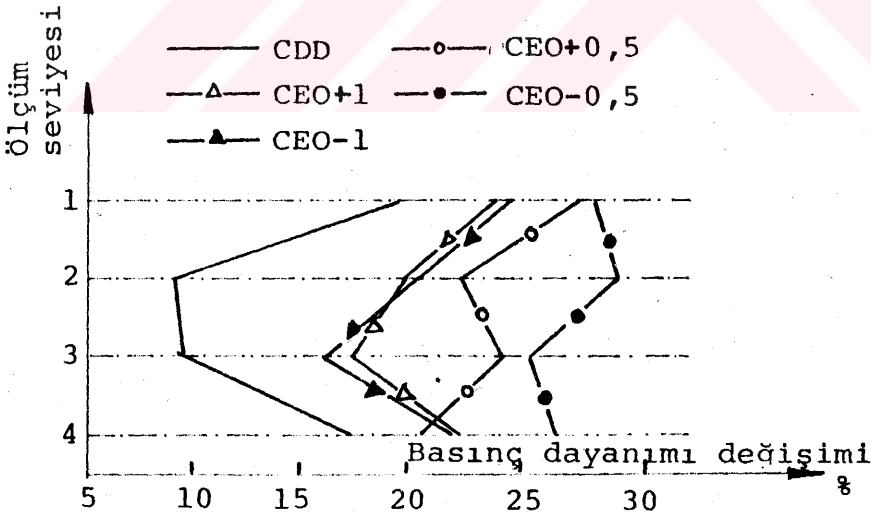
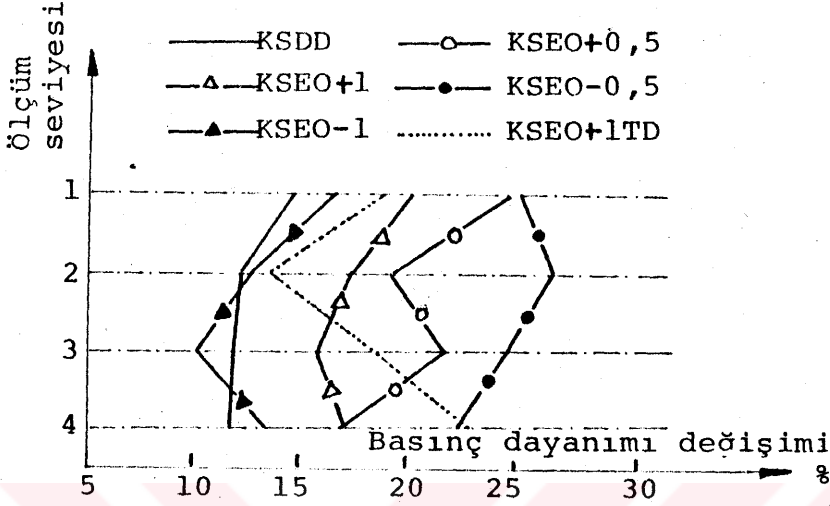
Şekil 5.3a- Katkısız drenajlı harçlarda, katkısız şahite oranla, düşey doğrultudaki ultra-ses hızı değişimlerinin seviyelere göre dağılımı

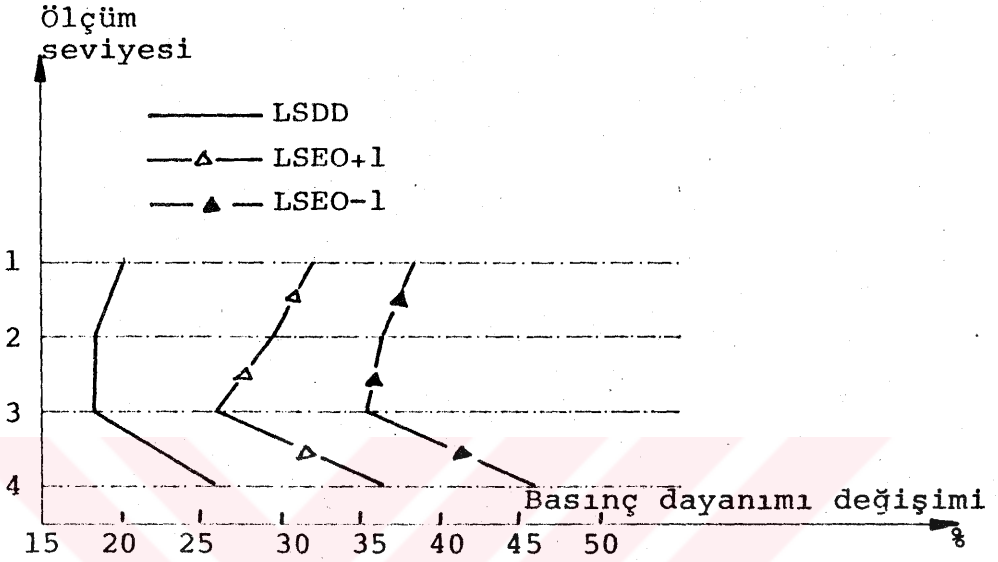


Şekil 5.3b- Ca(OH)_2 katkılı drenajlı harçlarda, Ca(OH)_2 katkılı şahit harçlara oranla, düşey doğrultudaki ultra-ses hızı değişimlerinin seviyelere göre dağılımı



Şekil 5.3c- Kalsiyum linyo-sulfonat (B) katkılı drenajlı harçlarda, (B) katkılı şahite oranla, düşey doğrultudaki ultra-ses hızı değişimlerinin seviyelere göre dağılımı





Şekil 5.4c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı drenajlı harç gruplarında, (B) katkılı şahite oranla basınç dayanımı değişimleri

a) Ölçüm doğrultusuna bağlı değişimler

Tüm deney gruplarında terleme doğrultusundaki ses hızları (düşey doğrultu), terlemeye dik doğrultudaki (yatay doğrultu) ses hızlarından sürekli olarak yüksektir. Bu olgu, kılcal boşlukların ses hızına olan etkisiyle açıklanabilir.

Terleme doğrultusuna dik doğrultuda kılcallık ölçümleri yapılmadığı için, iki doğrultudaki kılcal boşluk miktarını karşılaştırmaya olanak yoktur. Ancak terleme olayının terleme doğrultusundaki kıl-

al boşlukları artırıcı etki yapması doğaldır. Bu öğrultuda artan boşluklar ise, boşluklara dik doğrultudaki ses hızlarını azaltıcı etki yapacaktır.

uraya kadar söylenenlerden şu önemli sonuç çıkarılabilir: Kılcal boşluklar ultra-ses hızını belirgin biçimde etkilemektedir.

) Drenaj işlemine bağlı değişimler

SDD grubunda, şahite göre ses hızları az da olsa artmıştır (şekil 5.2a , 5.3a). Bu artışın, kılcal boşluklardaki azalmadan kaynaklanması gerekir.

lektro-osmotik drenajla ses hızları daha belirgin biçimde artmıştır (şekil 5.2a), Ultra-ses hızı değişimleri ile kılcallık katsayısı değişimleri karşılaştırılırsa, (K) değeri yüksek olan bazı deney gruplarında, bu değer düşük olduğu gruplara göre ses hızları yüksek olabilmektedir. (K) değerlerindeki azalma her zaman beklenildiği kadar ses hızını artırıcı etki yapmamaktadır. Bu çelişkili durumlar iki farklı olguyla açıklanabilir: 1) Bazı elektro-kimyasal olayların harcın boşluk yapısını farklı uygulamalarda farklı biçimde etkilemesi, 2) daha önce belirtildiği gibi, drenajla kılcal boşluk miktarındaki değişimlerin, kılcallık katsayılarına tam olarak yansıyamaması.

5.1.3. Birim ağırlıklar

Birim ağırlıklardaki değişimler çok sınırlı olmak la beraber, drenaj uygulanmış harçlarda drenajsız şahite göre sürekli yüksektir (şekil 3.10). Bu olgu drenaj işlemine bağlı olarak, taze harcın daha fazla oturma yapmasının sonucudur. Birim ağırlıklardaki değişimlerin çok küçük olması, sonuçlara ihtiyatlı yaklaşmayı gerektirmektedir.

5.1.4. Basınç dayanımları

Deney sonuçları, drenaj işleminin katkısız harçlarda basınç dayanımlarında önemli artışlar sağladığını göstermektedir (şekil 5.4a , ek tablo 5.3a) (K) değerleri, ses hızları ve birim ağırlıklarda meydana gelen değişimler, drenaj işlemi sonucunda harcın boşluk yapısında, basınç dayanımlarını olumlu yönde etkileyecek değişimler olduğunu gösterir niteliktedir.

Su drenajının, taze betondaki toplam boşluk (su + hava) ve ileride kılcal boşluğa dönüşen su miktarından hangisini etkilediği ve böylece basınç dayanımlarında olumlu gelişme sağladığını anlayabilmek için Feret ve Graf dayanım bağıntılarından yararlanılmıştır. Bilindiği gibi beton basınç dayanımı, Feret bağıntısında toplam boşluk oranına (su + hava/çimento = $\frac{W + h}{C}$) , Graf bağıntısında kılcal boşlukları simgeleyen su/çimento = W/C oranına bağ

lı olarak hesaplanmaktadır. Drene edilen su miktarları her iki bağıntıda da W değerinden düşülerek, $(W + h/c)$ ve (W/C) oranları bulunmuştur (tablo 5.1).

Bağıntılar aşağıda verilmiştir:

Graf bağıntısı:

$$f_c = \frac{f_{ct}}{K_G \cdot (W/C)^2} \quad (5.1)$$

Feret bağıntısı:

$$f_c = K_F \left\{ \frac{1}{1 + (W + h/c)} \right\}^2 \quad (5.2)$$

f_c : Beton basınç dayanımı , f_{ct} : Çimento standart dayanımı, W : 1 m^3 beton karışımındaki su miktarı, C : 1 m^3 beton karışımında ağırlık olarak çimento miktarı, c : 1 m^3 beton karışımında hacim olarak çimento miktarı, h : 1 m^3 beton karışımında hava miktarı, K_G ve K_F sabitlerdir.

Katkısız harçlarla ilgili sonuçlar, Graf bağıntısının deneysel dayanımlara daha yakın değerler verdiğini göstermektedir (tablo 5.2 , şekil 5.5). Katkısız harçlarda hava içeriğinin %5'in altında olduğu anımsanırsa (tablo 3.3), bu sonucun Oktar'ın savına uygun olduğu söylenebilir (48).

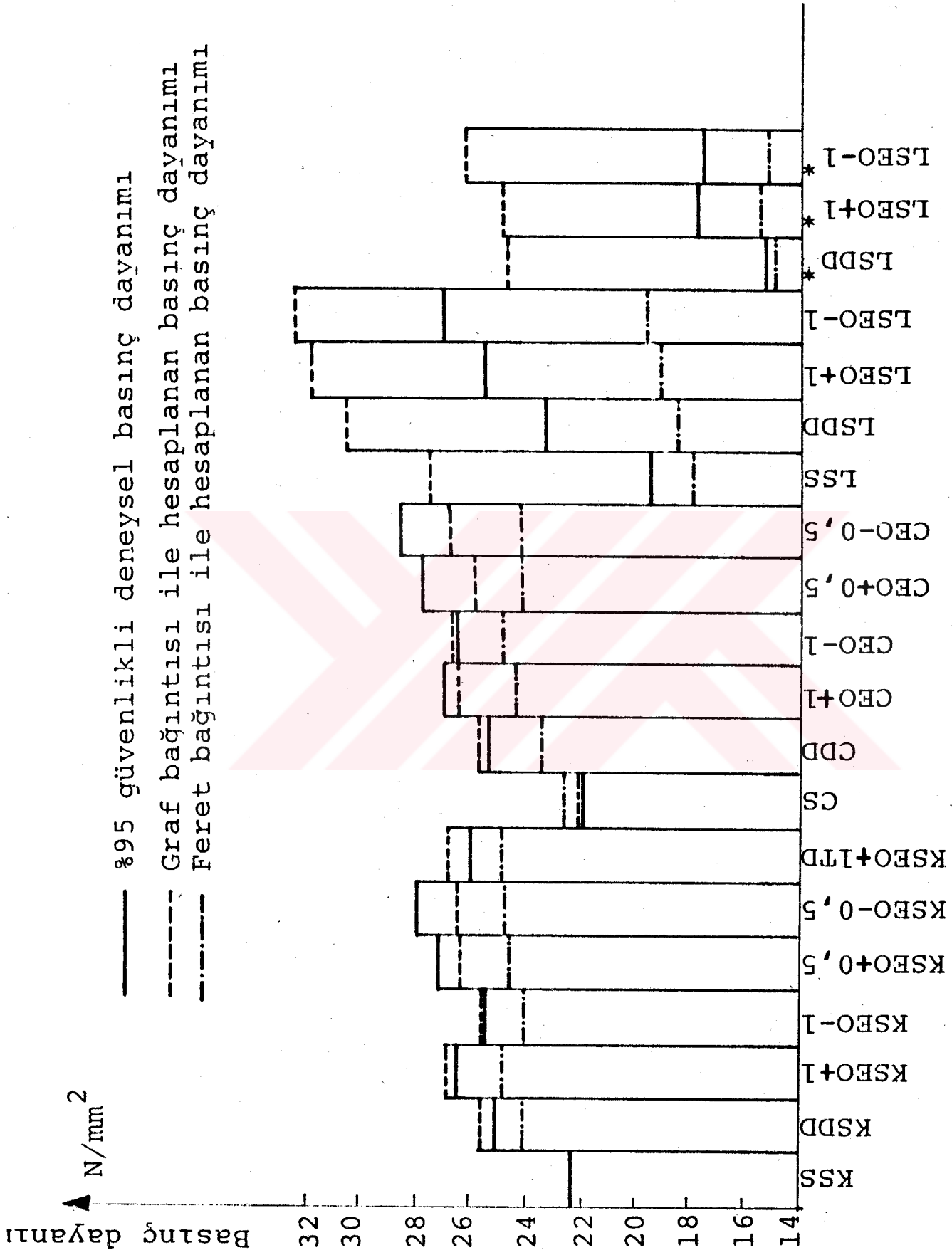
Vakumla su drenajı yapılan betonlarda da Malinowski-Wenander'e göre, kılcal boşluk yapısında değişiklikler olmaktadır (49). Bu araştırmacılara göre, va-

Harç türü	Deney cinsi	W/C (ilk)	Drene edilen su oranı ($\Delta W/W$) (%)	W/C (son) = W/C (ilk) - $\Delta W/C$	(W+h/c) (son)
KATKISIZ	KSS	0,60	-	0,600	2,095
	KSDD	0,60	6,6	0,560	1,975
	KSEO+1	0,60	8,8	0,547	1,935
	KSEO-1	0,60	6,0	0,564	1,986
	KSEO+0,5	0,60	8,0	0,552	1,949
	KSEO-0,5	0,60	8,2	0,551	1,946
	KSEO+1TD	0,60	8,9	0,547	1,931
(CaOH) ₂ KATKILI	CS	0,60	-	0,600	2,098
	CDD	0,60	6,6	0,560	2,013
	CEO+1	0,60	8,3	0,550	1,965
	CEO-1	0,60	8,5	0,549	1,936
	CEO+0,5	0,60	7,1	0,557	2,004
	CEO-0,5	0,60	8,7	0,548	1,976
KAL.LİN.KALS, LİN. SULFONAT (B) KATKILI W/C=0,54	LSS	0,54	-	0,540	2,459
	LSDD	0,54	5,1	0,512	2,403
	LSEO+1	0,54	6,2	0,507	2,359
	LSEO-1	0,54	6,9	0,503	2,318
KAL.LİN. SULFONAT (B) KAT. W/C=0,60	LSDD*	0,60	5,0	0,570	2,791
	LSEO+1*	0,60	5,2	0,569	2,733
	LSEO-1*	0,60	7,7	0,554	2,753

Tablo 5.1- Taze harçlarda oransal olarak drenaj miktarları, drenaj öncesi ve sonrası W/C , (W+h/c) oranları

Deney. cinsi	Deneysel dayanım (f_d) (N/mm ²)	Graf bağıntısına göre dayanım (N/mm ²)	Feret bağıntısına göre dayanım (N/mm ²)	$\frac{f_F - f_d}{f_d}$ (%)	$\frac{f_F - f_d}{f_d}$ (%)
KSS	22,3	-	-	-	-
KSDD	25,2	25,6	24,1	1,6	-4,4
KSEO+1	26,5	26,8	24,8	1,1	-6,4
KSEO-1	25,3	25,3	24,0	0,0	-5,1
KSEO+0,5	27,3	26,4	24,6	-3,3	-9,9
KSEO-0,5	28,0	26,5	24,7	-5,4	-11,8
KSEO+1TD	26,1	26,8	24,9	2,7	-4,6
CS	22,1	22,3	22,3	0,9	0,9
CDD	25,4	25,6	23,4	0,8	-7,9
CEO+1	27,0	26,6	24,4	-1,5	-9,6
CEO-1	26,6	26,7	24,8	0,4	-6,8
CEO+0,5	27,8	25,9	24,2	-6,5	-12,6
CEO-0,5	28,7	26,8	24,2	-6,6	-15,7
LSS	19,4	27,5	17,9	41,8	-7,7
LSDD	23,3	30,6	18,5	31,3	-20,6
LSEO+1	25,5	31,3	19,0	22,7	-25,5
LSEO-1	27,2	31,8	19,4	16,9	-28,7
LSDD*	15,2	24,7	14,9	62,5	-2,0
LSEO+1*	17,7	24,8	15,4	40,1	-13,0
LSEO-1*	17,5	26,2	15,2	49,7	-13,1

Tablo 5.2- Sertleşmiş harçların deneysel dayanımları ile Feret ve Graf bağıntıları ile hesaplanan dayanımların karşılaştırılması



Şekil 5.5- Deney gruplarına ait 95 güvenlikli baskı dayanımları, Graf ve Feret bağıntılarına göre hesaplanan baskı dayanımı değerleri

ala su drenajı sonucu alınan suyun yeri dolmamak-
 hava boşluğu artmaktadır.Araştırmacılar,
 h/c) oranı içeren dayanım bağıntılarının, bu
 betonlarda daha iyi sonuçlar verdiğini öne sür-
 tedirler.Bizim deneysel sonuçlarımız bu görüşü
 doğrulamamaktadır.Drene edilen suyun bıraktığı boş-
 , sürüklenen hava boşluğundan farklı olarak kıl-
 niteliktedir.Feret bağıntısındaki h faktörü i-
 sürüklenen havayı, yani küresel biçimdeki ha-
 yı simgelemektedir.Akyüz'de boşluk biçiminin da-
 ım üzerinde etkili olduğunu belirtmektedir.Ak-
 'e göre kılcal boşluklar, küresel boşluklara gö-
 basınç dayanımına daha olumsuz etki yapmaktadır
 1).

anım bağıntılarıyla yapılan hesap sonuçları, yu-
 rıda söylenenlerle uyum sağlamayan farklı durum-
 ın varlığını da göstermektedir.0,5 V/cm'lik e-
 tro-osmoz uygulanmış harçlarda, 1,0 V/cm'lik
 elektro-osmoz uygulaması yapılmış harçlara göre kıl-
 lık katsayıları belirgin biçimde yüksektir.Bu-
 karşılık en yüksek basınç dayanımları bu grup
 çlarda elde edilmiştir.Kılcallık katsayıları ve
 hızları ile ilgili bölümde bahsedilen, kılcal
 luk miktarındaki değişme ve elektro-kimyasal fak-
 ıların bu farklı durumlara neden olduğu söylene-
 ir.

Katkısız harçlarda, drenaj uygulaması sonucu şahite göre ses hızlarında meydana gelen değişmelerle, basınç dayanımı değişimleri arasında iyi bir korrelasyon bulunmuştur (şekil 5.6). Buna karşılık kılcallık katsayısı değişimleri ile basınç dayanımı değişimleri arasında, (muhtemelen farklı durumlar nedeni ile) iyi bir korrelasyon bulunamamıştır. Öte yandan, 0,5 V/cm'lik elektro-osmoz uygulanmış harçlarla ilgili sonuçlar istisna edilirse, kılcallık katsayısı değişimleri ile dayanım değişimleri arasında iyi bir korrelasyon vardır (şekil 5.7).

5.2. Ca(OH)_2 katkılı harçlar

5.2.1. Kılcallık katsayıları (K)

Bu grupta katkısız harçlara göre en büyük farklılık, 0,5 V/cm'lik elektro-osmoz uygulanmış harçlarda görülmektedir. Katkısız harçlardakinin tersine, en düşük kılcallık katsayıları CEO+0,5 ve CEO-0,5 grubu harçlarda elde edilmektedir (şekil 3.1 a,b,c). Bu farklı durumun dışında, drenaj sonucu (K) değerlerindeki değişimler, katkısız harçlardaki değişimlere benzemektedir (ek tablo 5.1b şekil 5.1b).

5.2.2. Ultra-ses hızları

Ca(OH)_2 katkılı şahit harçlarda ses hızları KSS

- 1) (Δ) Düşey doğrultuda ultra-ses hızı değişimi-basınç dayanımı değişimine ait noktalar

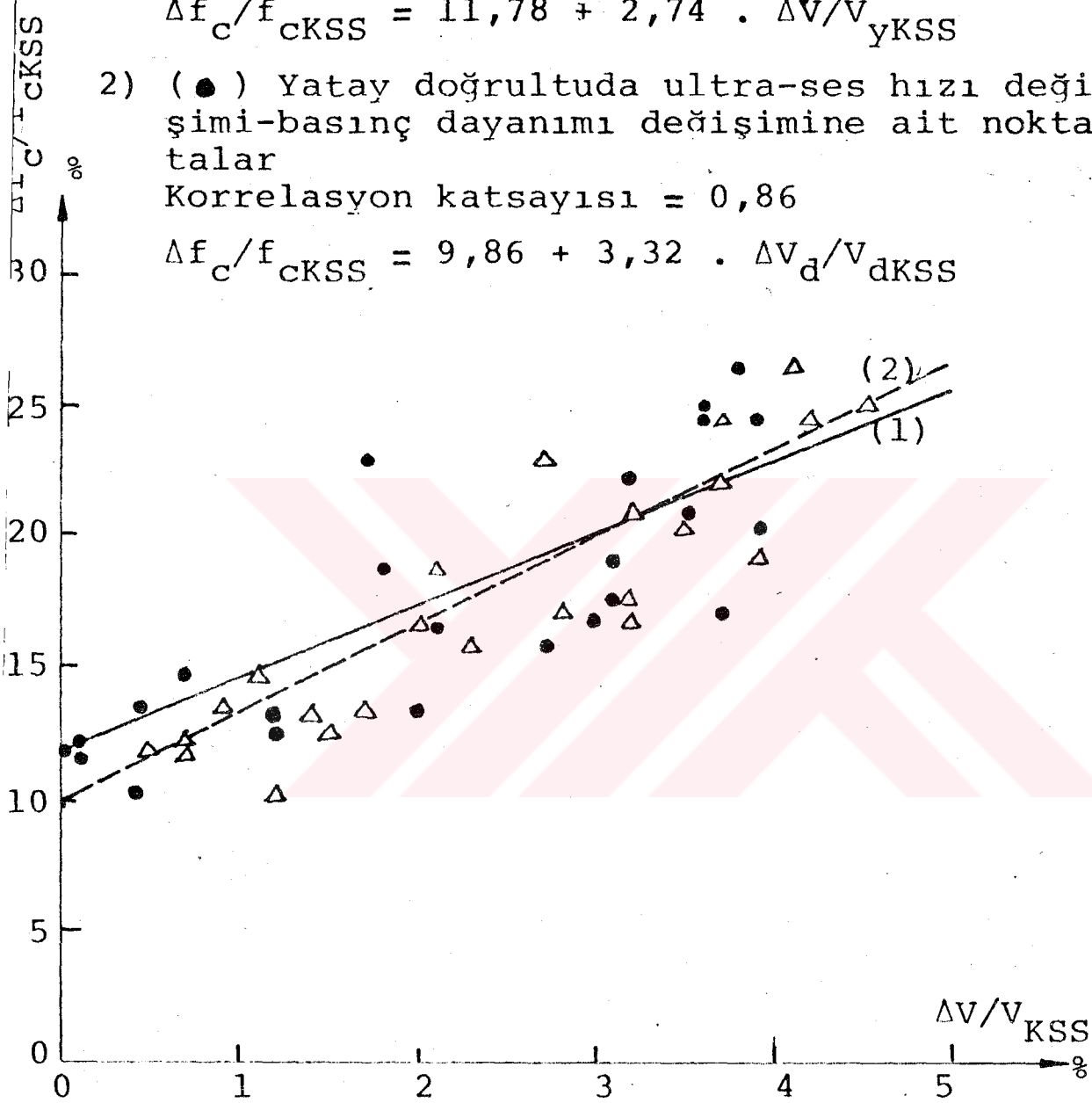
Korrelasyon katsayısı = 0,80

$$\Delta f_c / f_{cKSS} = 11,78 + 2,74 \cdot \Delta V / V_{yKSS}$$

- 2) ($\bullet$) Yatay doğrultuda ultra-ses hızı değişimi-basınç dayanımı değişimine ait noktalar

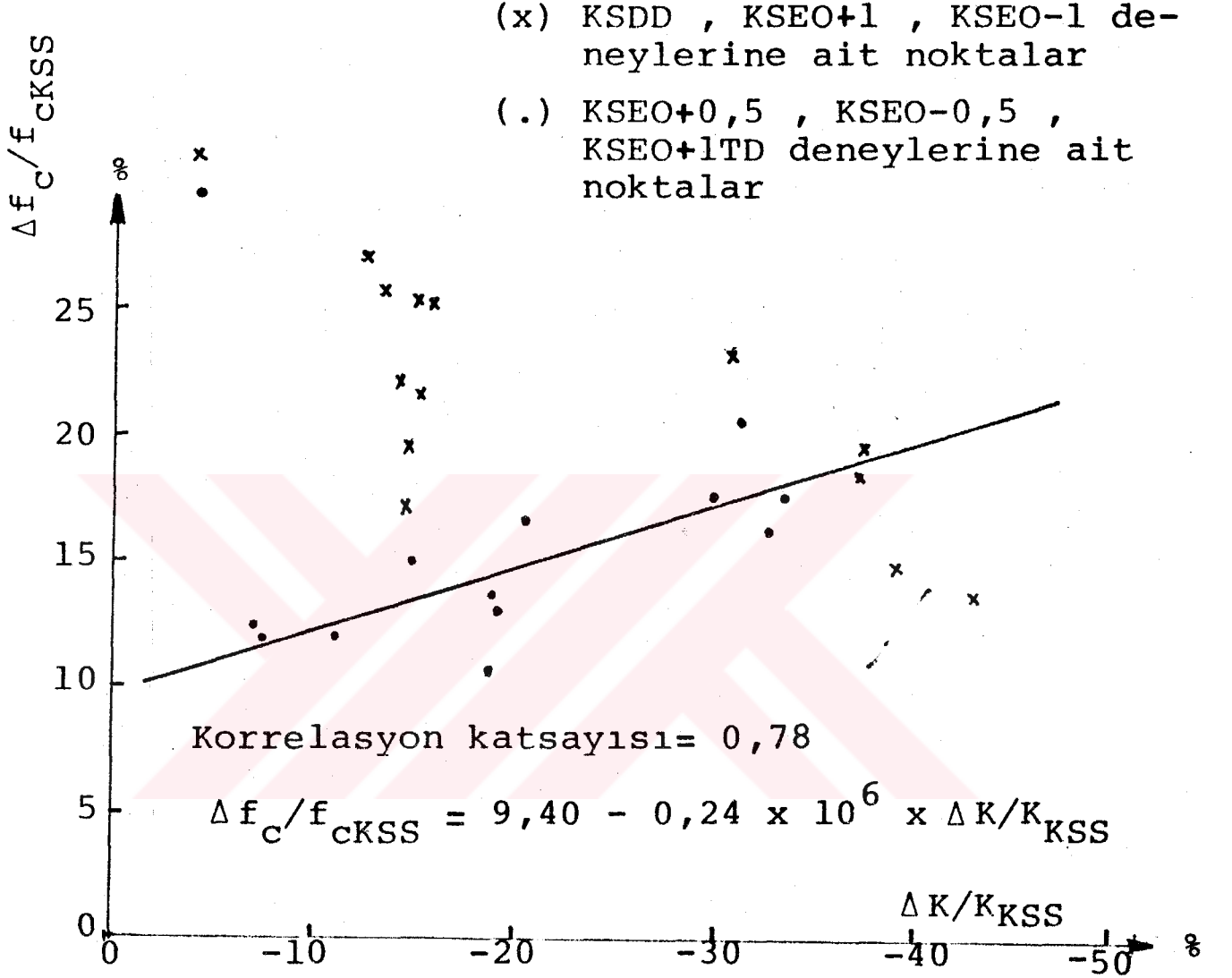
Korrelasyon katsayısı = 0,86

$$\Delta f_c / f_{cKSS} = 9,86 + 3,32 \cdot \Delta V_d / V_{dKSS}$$



Şekil 5.6- Katkısız drenajlı harçlarda, katkısız şahite oranla, yatay ve düşey doğrultudaki ultra-ses hızı değişimleri ($\Delta V / V_{KSS}$), basınç dayanımı değişimleri ($\Delta f_c / f_{cKSS}$) arasındaki ilişkiler

Not : Bağıntılardaki (y) indisi yatay doğrultuyu, (d) indisi düşey doğrultuyu göstermektedir.



Şekil 5.7- Katkısız drenajlı harçlarda, katkısız şa-
hite oranla, kılcallık katsayısı değişimi
($\Delta K/K_{KSS}$) - basınç dayanımı değişimi
($\Delta f_c/f_{ckSS}$) ilişkisi

Not: Korrelasyon bağıntısı elde edilirken, (x) ile gösterilen, KSEO+0,5 , KSEO-0,5 ve KSEO+1TD deneylerine ait noktalar kullanılmamıştır.

grubuna göre yüksektir. Aynı durum CDD grubu harçlarda, KSDD grubu harçlara göre de geçerlidir (şekil 3.9 a,b). Ca(OH)_2 katkılı harçlarda da, drenaj sonucu şahite göre ses hızlarında artış olduğu gözlenmektedir (şekil 5.2a).

Elektro-osmotik drenaj uygulanmış Ca(OH)_2 katkılı harçlarda genellikle (CEO-1 grubu dışında), benzer işlem uygulanmış katkısız harçlara göre ses hızları düşüktür (şekil 3.9a,b). En belirgin farklılık, CEO+0,5 ve CEO-0,5 gruplarında görülmektedir. Bu gruplarda kılcallık katsayıları, diğer Ca(OH)_2 katkılı harç gruplarında, KSEO+0,5 ve KSEO-0,5 gruplarına göre önemli ölçüde düşük olmasına karşın, ses hızları yüksek değildir.

5.2.3. Birim ağırlıklar

Birim ağırlıklarda, katkısız harçlara göre önemli bir fark görülmemektedir. Yine drenaj uygulanmış harçlarda, şahite oranla birim ağırlıklar bir miktar yüksektir (şekil 3.10).

5.2.4. Basınç dayanımları

a) Katkısız harçlarla karşılaştırma

Ca(OH)_2 katkısının, şahit ve doğal drenajlı grupta basınç dayanımlarına önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir (şekil 3.8). Elektro-osmotik drenaj uy-

gulanmış Ca(OH)_2 katkılı harçlarda ise, katkısız harçlara oranla dayanımlar az da olsa yüksektir.

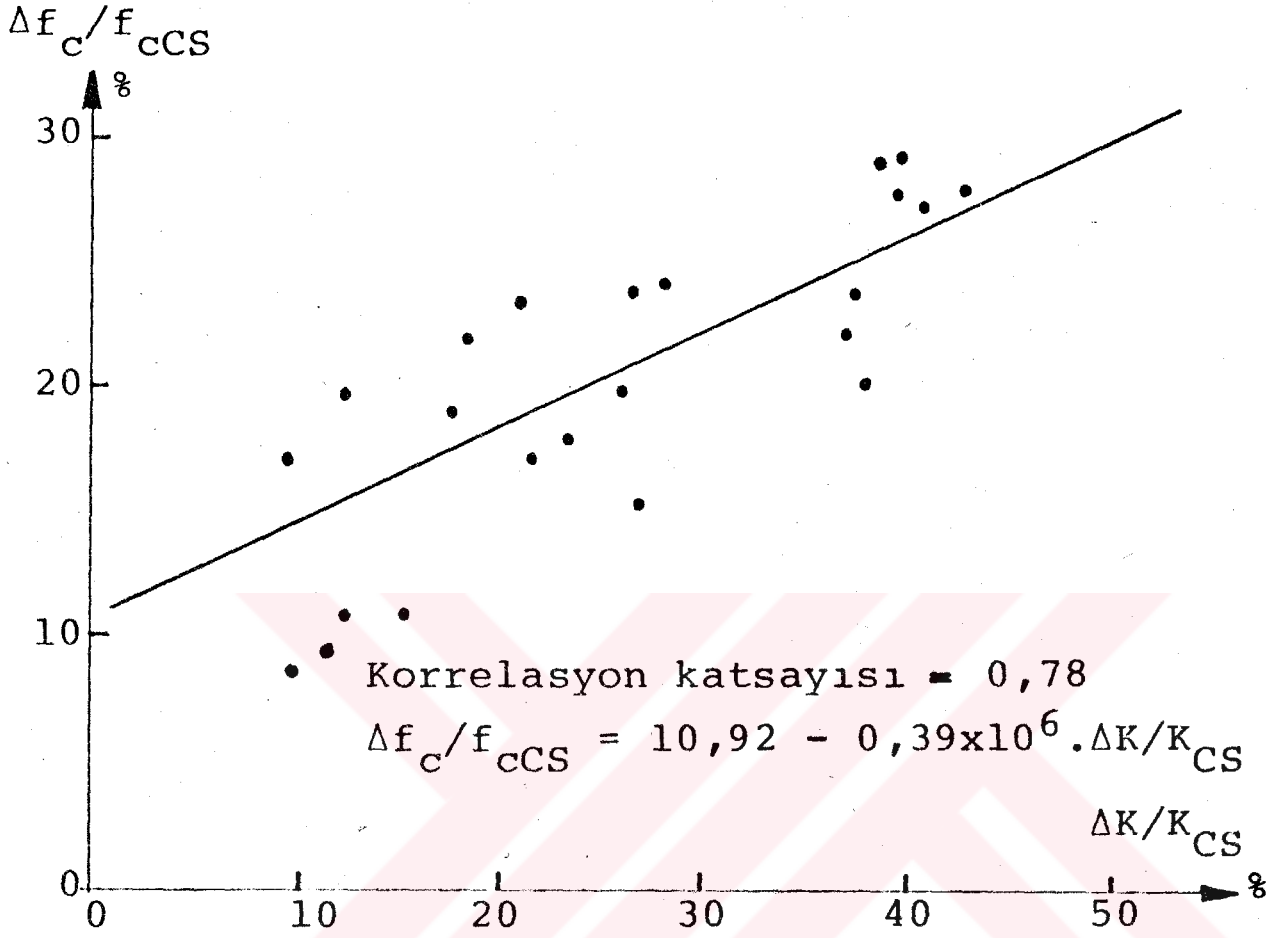
Ca(OH)_2 katkılı harçlarda, drenaj sonucu dayanım değişimleri (ek tablo 5.3b) ile kılcallık değişimleri (ek tablo 5.1b) arasında iyi bir korrelasyon vardır (şekil 5.8). Ses hızı değişimleri ile dayanım değişimleri arasında ise, katkısız harçlardakinin aksine iyi bir korrelasyon bulunamamıştır.

Basınç dayanımı, kılcallık katsayısı, ses hızları arasında katkısız harçlara göre görülen farklı ilişkilerin, Ca(OH)_2 ilavesi ve bu katkının elektro-kimyasal faktörleri değiştirmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

b) Boşluk yapısındaki değişmelerin etkisi

Ca(OH)_2 katkılı harçlarda da Graf bağıntısı, Feret bağıntısına oranla deneysel değerlere daha yakın dayanım değerleri vermektedir (tablo 5.2 , şekil 5.5). Bu sonuç, basınç dayanımlarına en önemli etkiyi, W/C oranındaki azalmanın yaptığını göstermektedir.

Katkısız harçlarda olduğu gibi, 0,5 V/cm'lik uygulamalarda, 1,0 V/cm'lik uygulamalara göre, drene edilen toplam su miktarı düşüktür (tablo 5.1). Bu



Şekil 5.8- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ katkılı harçlarda şahit gruba oranla, kılcallık azalması-dayanım artış ilişkisi

duruma karşılık, 0,5 V/cm'lik elektro-osmoz uygulanmış harçların basınç dayanımları, 1,0 V/cm'lik elektro-osmoz uygulanmış harçlara oranla yüksektir. Tüm bu sonuçlar, dayanımlar üzerinde bazı elektro-kimyasal etkilerin varlığını bir kez daha doğrular niteliktedir.

5.3. Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlar

5.3.1. Kılcallık katsayıları (K)

a) Diğer harç gruplarıyla karşılaştırma

(B) katkılı harçlarda (K) değerleri, katkısız ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ katkılı harçlara oranla önemli ölçüde düşüktür. Katkı ile sürüklenen hava bu duruma neden olmaktadır.

(B) katkılı harçlarda, diğer harç gruplarına göre en önemli farklılık, drenaj sonucu (K) değerlerinde şahite oranla belirgin değişimler olmamasıdır. Drenaj sonucu (K) değerlerinde en büyük düşüşler, harç kütlelerinin orta seviyesinden alınan nümunelerde görülmektedir (şekil 5.1c). Diğer harç gruplarından farklı olarak, (B) katkılı harçlarda en büyük (K) değerleri üst seviyelerde değil, orta seviyelerdeki nümunelerde elde edilmektedir (şekil 3.14c).

Katkısız ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ katkılı harçlardakinden farklı olan bu sonuçların iki nedeni olabilir: 1) Drenaj hızı yavaş olduğu için kılcal boşlukların kapanmasında etkili olamamıştır, 2) drenaj sırasında (B) katkılı harçlarda, diğer harç gruplarına oranla daha fazla miktarda hava habbesi kaçmıştır.

b) Hava habbesi kaçıışı

Oturma ve terleme yapan taze harçlarda bir miktar

hava habbesi kaçıışı da olmaktadır. Büyük çaplı ve harç yüzeyine yakın olan habbelerin kaçma olasılığı daha fazladır. Hava sürükleyici etkisi olan (B) katkısı bulunan harçlarda, yerleştirme sırasında vibrasyon yapılmaması nedeni ile çok miktarda büyük çaplı hava habbesi harçta kalabilme şansına sahiptir. (B) katkılı harç deneylerinde ölçülen oturma miktarları, harçtan önemli ölçüde hava kaçıışı olduğunu gösterir niteliktedir.

Linyosulfonat türü katkıları, terleme hızı ve kapasitesini önemli ölçüde düşürmektedirler (51,52). Buna bağlı olarak oturma hızı ve oturma kapasitelerinin de düşük olması gerekir.

Deneylerimizde (B) katkısının önemli ölçüde hava sürüklemesine karşın, oturma kapasitesini düşürücü etkisi olmadığı görülmektedir (tablo 3.4 , şekil 4.2). Hatta (B) katkılı $W/C=0,60$ grubu harçlarda, oturma kapasiteleri ve oturma hızları diğer harç gruplarına göre yüksektir. Diğer araştırmacıların bulgularıyla çelişen bu sonuçlar ancak, oturma yapan taze harçta önemli ölçüde hava kaçıışıyla açıklanabilir.

c) Habbe kaçıışının kılcallığa etkisi

(B) katkılı harçlarda diğer harç gruplarının aksine, max. (K) değerinin, harç kütlesinin orta sevi-

yelerinde olması, üst seviyede hava habbelerinin birikmesine bağlanabilir.

Hava sürükleyici katkı maddesi katılmış suda, küçük çaplı hava habbelerinin üstte oluşan köpük tabakası etkisiyle kaçamadıkları bilinmektedir (17). (B) katkılı harçlarda , alt seviyelerden gelen hava habbelerinin dışarıya kaçamayan kısmı, yukarıdaki ile benzer etkiyi yaparak kılcallık katsayısını düşürücü etki yapacaktır.

Drenaj olayının kılcallığı azaltıcı etkisinden da- önce bahsedilmişti.Öte yandan, drenajın hava kaçışını artırması ise, kılcallık katsayılarını ters yönde artırıcı etki yapar.Zira toplam kılcal boşluk miktarı ve boşluk çaplarında değişiklik olmasa dahi hava habbesi kaçışı, harcın kılcal su emmesinin artmasına yol açar.Bu durumda, (B) katkılı harçlarda drenaj sonucu (K) değerlerindeki değişimleri, hava habbesi kaçışını da göz önünde bulundurarak değerlendirmek gerekir.

(B) katkılı harçlarda kılcallık katsayılarını,sürüklenen hava habbeleri etkilediği için, (K) değerlerine dayanılarak yapılacak boşluk miktarı tahmininin yanıltıcı olacağı söylenebilir.

5.3.2. Ultra-ses hızları

Şahit harçlar arasında bir karşılaştırma yapılırsa, LSS grubunda, KSS ve CS grubu harçlara göre ultra-ses hızlarında anlamlı bir farklılık görülmemektedir (şekil 3.9a , 3.9b).

Diğer harç gruplarından farklı olarak, (B) katkılı $W/C=0,54$ grubunda, drenaj uygulanmış harçlarda ses hızları anlamlı bir artış göstermemektedir (ek tablo 5.2c , şekil 5.2c , şekil 5.3c). Benzer biçimde kılcallık katsayılarının da drenaj sonucu önemli bir değişme göstermemesi, diğer harç gruplarında ses hızlarının drenaj ile artmasının önemli ölçüde, kılcal boşluklardaki azalmadan ileri geldiğini kanıtlamaktadır. (B) katkılı harçlarda, daha önce belirtilen hava habbesi kaçışının ses hızlarını etkilemediği anlaşılmaktadır. (B) katkılı $W/C=0,60$ grubu harçlarda ses hızları belirgin biçimde düşüktür. Bu grupta ses hızlarının, harç kompasitesinin düşük olması ve W/C oranının da $W/C=0,54$ grubuna göre yüksek olması nedeniyle, kılcal boşlukların artmasından etkilendiği söylenebilir. Bu sonuçlar da, ses hızlarının hava habbelerinden çok, kılcal boşluklardan etkilendiği savının desteklemektedir.

5.3.3. Birim ağırlıklar

(B) katkılı sertleşmiş harçlarda birim ağırlıklar,

W/C=0,54 grubunda diğer harç gruplarına göre %3-4, W/C=0,60 grubunda %6-8,5 civarında düşüktür (şekil 3.10).

W/C=0,54 grubunda, üst ve alt seviyelerden alınan numunelerde birim ağırlıklar, orta seviyelere göre düşüktür. Drenaj işlemi bu farklılaşmayı azaltıcı yönde etki yapmıştır.

Üst ile orta seviye arasında, diğer harç gruplarına göre daha fazla fark olması, özellikle LSS grubunda üst seviyede hava habbesi birikimine, en alt seviyede ise, iri agrega tanelerinin perdeleme etkisine bağlanabilir.

(B) katkılı W/C=0,60 grubunda ise, yukarıdan aşağıya doğru birim ağırlıklar artmaktadır. En alt seviyede ise en üst seviyeye oranla birim ağırlıklar %2 civarında yüksektir. Bu kadar fark diğer harç gruplarında görülmemektedir. Bu grupta oturma kapasitesinin yüksek olması, belirgin biçimde aşağı bölgede daha dolu harç kütlelerinin oluşmasına yol açmıştır. Öte yandan su içeriğinin W/C=0,54 grubuna göre yüksek oluşu, yaratılan sıvı ortam sayesinde, drenajla havanın alt seviyelerden kaçışını kolaylaştırmıştır. Ancak alt seviyelerden kaçan havanın önemli bir kısmının üst yüzeye yakın bölgelerde birikmesi ve terleme hızının da yüksek olması,

üst seviyedeki harç kütlesinin boşluklu olmasına neden olmuştur.

5.3.4. Basınç dayanımları

a) Diğer harç gruplarıyla karşılaştırma

(B) katkılı $W/C=0,54$ grubu şahit harçta dayanımlar, diğer şahit harçlara oranla düşüktür (şekil 3.7). En yüksek dayanım en alt seviyede değildir. $W/C=0,60$ grubu harçlarda dayanımlar diğer harç gruplarına oranla önemli ölçüde düşüktür. Drenaj işleminin, (B) katkılı harçlarda diğer harç gruplarına oranla, basınç dayanımlarına daha olumlu etki yaptığı görülmektedir (şekil 5.4c).

b) Boşluk yapısının etkisi

(B) katkılı harçlarda sertleşmiş harç birim ağırlıklarının, diğer harç gruplarına oranla düşük olması, daha boşluklu bir harç yapısının oluştuğunu göstermektedir.

Bu harçlar üzerinde yapılan hesaplar, $W/C=0,54$ grubu için Feret dayanım bağıntısının, deneysel dayanımlara daha yakın değerler verdiğini göstermektedir (şekil 5.5). Graf bağıntısı ise çok yüksek değerler vermektedir. Sürüklenen hava bu grupta basınç dayanımında önemli rol oynamaktadır. Bu grup harçlarda hava içeriğinin %5'in çok üstünde %10,5 gi-

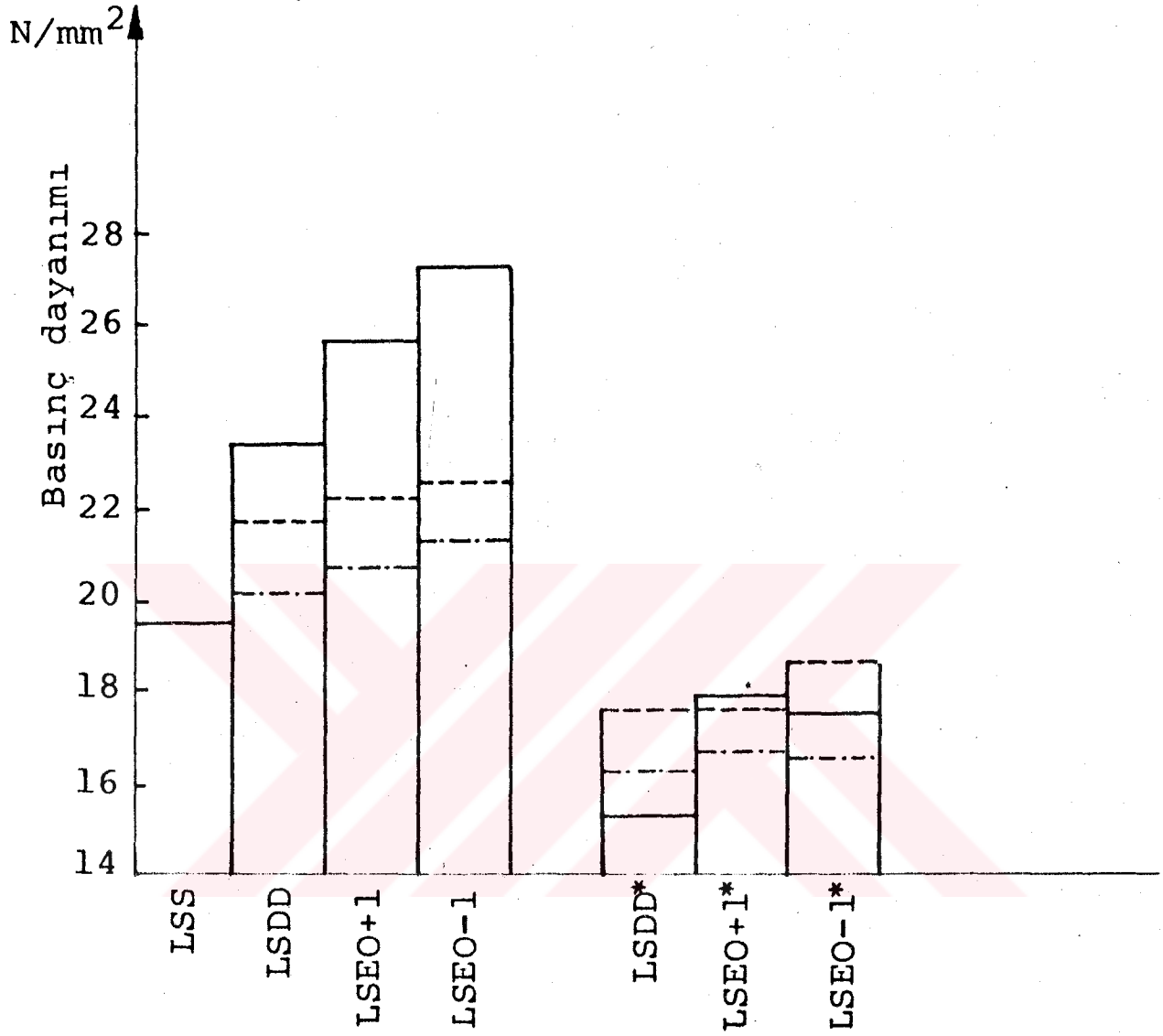
bi değ erlere ulaştığı anımsanırsa (tablo 3.3), daha önce sürüklenen havanın etkisi ile ilgili olarak söylenenler bir kez daha doğrulanmış olur.

Feret bağıntısı ile LSS grubu için hesaplanan dayanım, deneysel değ erin bir miktar altında kalmaktadır.Katkının harcı daha dispers hale getirerek,  imento tanelerinin katkısız hale göre kısa zamanda ve daha homojen hidrasyon yapmalarını sağladığı göz önünde bulundurulmalıdır (21).Malzeme ile ilgili özelikleri simgeleyen K_F katsayısı katkısız harçlara göre hesaplanmıştı.Bu değ erin, yukarıda söylenen katkı etkisini içermediği açıktır.Bu nedenle K_F katsayısı LSS grubuna göre yeniden hesaplandığında daha yüksek bir değ er elde edilmektedir Aynı nedenle Graf bağıntısındaki K_G katsayısı da yeniden hesaplanmıştır.Yeni katsayılarla göre, (B) katkılı drenajlı harçlar için dayanımlar bulunmuştur (ek tablo 5.4 , şekil 5.9).Bu şekilde yapılan hesaplar, drenajlı harçlarda gene Graf bağıntısının deneysel dayanımlara daha yakın değ erler verdiğini göstermektedir.Yani drenaj nedeniyle dayanım artışı bir oranda su azalmasından kaynaklanmaktadır.Bu hesaplarda ger i Feret bağıntısındaki h parametresinde, hava habbeleri kaçışı alınmamıştır.Zira drenaj uygulanmış (B) katkılı harçların sertleşmiş haldeki birim ağırlıklarında şahite oranla artışlar en çok %1 değ erindedir.Bu artışla-

ının kısmen hava kaçıışıyla meydana geldiği düşünülse bile, h parametresindeki düşüşler pek anlamlı olmayan değerlerde kalmakta, giderek boşluk azalmaları basınç dayanımlarına önemli etki yapmamaktadır.

(B) katkılı $W/C=0,60$ grubu harçlarda deneysel dayanımlar, Feret ve Graf bağıntıları ile hesaplanan değerlerden sistemli olmayan farklılıklar göstermektedir. Bu harçlarda toplam boşluk oranının yüksek değerler alması nedeniyle, su drenajı ve elektro-kimyasal olayların basınç dayanımları üzerindeki etkileri çok sınırlıdır. Drenajlı harçların basınç dayanımları, $W/C=0,54$ grubundaki şahit harç dayanımına dahi ulaşamamıştır.

$W/C=0,54$ grubunda, şahit harçlar için hesaplanan K_G ve K_F katsayıları yardımı ile hesaplanan dayanımların, elektro-osmotik drenaj uygulanmış harçlarda deneysel değerlerin önemli ölçüde altında kaldığı görülmektedir (şekil 5.9). Deneysel değerlere göre farklar, katkısız ve $Ca(OH)_2$ katkılı harçlarda görülen farklardan daha yüksektir. Buna göre (B) katkılı harçlarda drenaj sonucu boşluk yapısı değişmelerinin dışındaki elektro-kimyasal etkilerin, basınç dayanımlarına önemli ölçüde etki yaptığı söylenebilir.



Şekil 5.9- (B) katkılı harçlarda, %95 güvenlikli deneysel dayanımlar, (B) katkılı şahite göre hesaplanan sabitlerle Feret ve Graf şintıları ile bulunan dayanımlar

5.4. Elektro-kimyasal olaylar

Deneylerimizde sertleşmiş harçlar üzerinde yalnız mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Taze harçlarda ise elektro-kimyasal değişiklikleri yansıtabilecek ölçümler, elektriksel direnç ölçümleri-

dir.Bunun dışında, taze harçtan drene edilen su örneklerinde Ca^{+2} iyon tayini yapılmıştır (tablo 5.3).Ancak bu su örneklerinin yalnızca harçtan drene edilen su olmadığını, drenaj sırasında harç kütlesinin altına konulan kum filtreden geçtiğini göz önünde bulundurmak gerekir.

Elektriksel dirençlerin de, elektrik akımı dışında harçtaki kimyasal reaksiyonlar, sıcaklık değişimleri ve su içeriğindeki değişimlerden etkileneceği unutulmamalıdır.

Katı-sıvı karışımlarında, elektrik akımı etkisiyle meydana gelebilecek elektro-kimyasal değişimler üzerinde elimizde sınırlı bilgiler vardır.Özellikle, killi zeminlerdeki elektro-osmotik ve elektro-kimyasal stabilizasyon deney ve uygulamaları bu hususta yaklaşık bilgiler verebilir.

5.4.1. Killi zeminlerde elektro-kimyasal değişimler

Bu alandaki ilk çalışmalar Endell ve Hofmann'a aittir (27).Bu araştırmacılar, elektrik akımı verilen killi zeminlerdeki iyon değişimi sonucu, bazı tersinmez bileşikler oluştuğunu ileri sürmektedirler.Bu konuda en geniş bilgiyi Titkov ve arkadaşları vermektedir (28).

Titkov ve arkadaşlarına göre, elektrik akımı veri-

len killi zeminlerde şu elektro-kimyasal olaylar meydana gelmektedir: 1) Suyun elektrolizi, 2) süregelen kimyasal reaksiyonların hızlanması, 3) ortamdaki kolloidal taneciklerin koagülasyonu, 4) iyon değişiminin kolaylaşması, 5) kristal oluşumunun hızlanması, 6) elektrik akımı etkisiyle bazı yeni bileşikler oluşması, 7) karışımın pH derecesinin zamana göre değişmesi ve kil-su karışımının çeşitli bölgelerinde farklılaşması.

Suyun elektrolizi:

Kil-su karışımlarında, doğru akım etkisiyle su ayrılmaktadır. Katodda biriken hidrojen ve anodda biriken oksijen gazları, oksidasyon ve redüksiyon olaylarına neden olmaktadır.

Süregelen kimyasal reaksiyonların hızlanması:

Suyun elektrolizi sonucu ortamda bol miktarda OH^{-1} iyonu bulunmaktadır. Doğru akım etkisiyle özellikle katod civarında Ca^{+2} , Na^{+1} gibi iyonların birikmesi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve $\text{Na}(\text{OH})$ gibi hidroksitlerin oluşumunu hızlandırmaktadır. Araştırmacılara göre, karbonatlar ve jips gibi bileşiklerin doğru akım etkisiyle çözünmesi sonucu, sıvı fazda iyon yoğunluğunun artması, kimyasal reaksiyonları hızlandırmaktadır. Elektrik akımı etkisiyle ortamda sıcaklık yükselmesi de reaksiyonları hızlandırıcı etki yapmaktadır.

Deney cinsi	Drenaj suyunda Ca ⁺² iyonu miktarı (mg/lt)	Deney cinsi	Drenaj suyunda Ca ⁺² iyonu miktarı (mg/lt)	Deney cinsi	Drenaj suyun. Ca ⁺² iyonu mikta. (mg/lt)
SDD	516	CDD	473	LSDD	385
SEO+1	334	CEO+1	383	LSEO+1	322
SEO-1	400	CEO-1	474	LSEO-1	278
SEO+0,5	423	CEO+0,5	455	LSDD*	353
SEO-0,5	482	CEO-0,5	503	LSEO+1*	345
				LSEO-1*	362

Tablo 5.3- Taze harçlarda drene edilen su örneklerinde Ca⁺² iyon miktarları

kolloidal taneciklerin koagülasyonu:

Kolloidal tanecikler, elektrik yüküne sahip katı taneciklerdir. Su içinde bu taneciklerin çevresine bir elektriksel çift tabaka oluşur. Titkov ve arkadaşları, doğru akım etkisiyle bu çift tabakanın difüz tarafının dağılacığını belirtmektedirler. Çift tabakanın dağılması ve tanenin sıvı fazdan yüksek valanslı bazı iyonları adsorbe etmesi sonucu tanecikler koagüle olarak çökelmektedirler.

iyon değişiminin kolaylaşması:

Elektrik akımı etkisiyle bazı katyonlar tane yüzeyinden sıvı faza geçerken, sıvı fazdan bazı kat-

yonlar da katı tane tarafından adsorbe edilmektedir. Sıvı fazda Ca^{+2} iyonlarının bulunması halinde, kil taneleri bu iyonları adsorbe etmekte, böylece kalsiyum silikatlar oluşmaktadır.

Kristal oluşumunun hızlanması:

Elektrik akımı etkisiyle katı tanelerin bazı kationları adsorbe etmesi sonucu, tane yüzeyinden içe doğru kristal oluşumu hızlanmaktadır.

Karışımın pH derecesinin değişmesi:

Doğru akım etkisiyle anodda toplanan anyonlarla (SO_4^{-2} , Cl^{-1}) , elektroliz sonucu oluşan H^{+1} iyonları arasındaki reaksiyonlar sonucu anod bölgesi asit karakterli hale gelmektedir. Katodda toplanan katyonlarla (Ca^{+2} , Na^{+1}) OH^{-1} iyonları arasındaki reaksiyonlar sonucu katod bölgesi bazik karakterli hale gelmektedir.

Asit ve baz ortamlar farklı oluşumlara neden olurlar. Asit ortamda yalnız çok valanslı metal tuzları kolloidal tanecikler oluşturmaktadırlar. Alüminyum asit ortamda kolloidal halde bulunmakta, bazil ortamda jel oluşturarak çökelmektedir. pH derecesinin 11'in üzerinde olması halinde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ çökelmektedir. pH derecesi bu şekilde kolloidal oluşumu, jelleşmeyi ve çökelmeyi etkilemektedir.

Elektrik akımı etkisiyle yeni bileşikler oluşması:

Karbon elektrod kullanılması halinde, elektrodlar medeni ile oluşan veya suda bulunan CO_2 , bu bölgede Ca(OH)_2 ile reaksiyona girerek CaCO_3 meydana getirmektedir.

5.4.2. Harçlarda elektriksel direnç değişimi ve elektro-kimyasal değişim ilişkileri

Deneylerimizde elektrik akımı verilmesiyle, şahit harçlardan farklı olarak, elektriksel dirençlerde ani ve zamana bağlı farklı değişiklikler görülmektedir (ek tablo 3.2 a,b,c). Doğal drenajlı harçlara yapılacak bir karşılaştırma, 1,0 V/cm'lik elektro-osmoz uygulamalarında, elektrik akımı verilen zaman aralığında her seviyede hızlı bir direnç düşüşü olduğunu gösterir. Elektrik akımının kesilmesi anı içeren zaman aralığında ise, elektriksel dirençler hızlı olarak artmaktadır. 0,5 V/cm'lik elektro-osmoz uygulamalarında bu değişiklikler azdır.

Elektrik akımı verilince harç sıcaklığının artmasının, akım kesilince sıcaklık düşmesinin direnç değişimleri üzerinde etkili olduğu düşünülebilir. Sıcaklığın direnç üzerindeki etkisini bulmak için (4.4) bağıntısından yararlanılmıştır. Deney sırasında, harcın orta bölgesinde sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlere göre 1,0 V/cm'lik elektro-

osmoz uygulamalarında elektrik akımı verildikten sonraki sıcaklık artışları, akım kesildikten sonraki sıcaklık düşmeleri zamana bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu değişimlere göre de, elektriksel dirençteki azalma ve artışlar hesaplanmıştır (tablo 5.4). 0,5 V/cm'lik uygulamalarda ise, elektrik akımı etkisiyle sıcaklık değişimleri küçük olduğu için benzer hesap yapılmamıştır.

Sonuçlara göre, elektrik akımının kesildiği aralıkta direnç düşüşleri, sıcaklığa bağlı olarak hesaplanan düşüşlerin üzerindedir. Aynı şekilde, elektrik akımının kesildiği aralıkta direnç artışları ise, sıcaklığa bağlı olarak hesaplanan artışların üzerindedir. Bu sonuçlar daha önce de belirtildiği gibi, taze harçta elektrik akımı etkisiyle sıvı fazda iyon yoğunluğunun artmasıyla açıklanabilir.

Titkov ve arkadaşları, kil-su karışımlarında elektrik akımı etkisiyle meydana gelen elektroliz olayına bağlı olarak, ortamın elektriksel direncinin hızla arttığını belirtmektedirler (28). Deneylerimizde de elektroliz olayı gözlenmiştir. Önce de belirtildiği gibi, elektro-osmoz uygulamalarında sıcaklık artarken, elektriksel dirençlerin fazla düşmemesinin nedenlerinden biri elektroliz olayıdır.

Deney cinsi	18,0-22,5 uncu dk. arası sl- caklık deği- mi (°C)	18,5-22,5 uncu dk. arası öl- çülen direnç değişimi (ohm)	Sıcaklık de- ęiřimine bağlı olarak hesaplanan direnç deği. (ohm)	76-82,5 uncu dk. arası sl- caklık deği- şimi (°C)	76-82,5 uncu dk. arası öl- çülen direnç değişimi (ohm)	Sıcaklık değişimine bağlı olarak hesaplanan direnç deği. (ohm)
SS	0,0	-0,56	0,0	0,0	0,0	0,0
SDD	0,0	0,08	0,0	0,0	0,0	0,0
SEO+1	3,40	-5,35	-2,71	-1,92	4,24	1,97
SEO-1	3,40	-5,33	-2,71	-1,97	4,58	2,02
S	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,01	0,0
DD	0,0	-0,32	0,0	0,0	-0,07	0,0
EO+1	3,08	-5,25	-2,64	-1,99	4,31	2,02
EO-1	3,55	-4,88	-2,53	-1,44	3,98	1,71
SS	0,0	-0,40	0,0	0,0	-0,10	0,0
SDD	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,05	0,0
SEO+1	3,35	-5,73	-2,53	-1,96	4,51	2,06
SEO-1	3,45	-6,34	-2,89	-1,92	4,77	2,13
SDD*	0,0	-1,28	0,0	0,0	0,0	0,0
SEO+1*	3,33	-6,30	-2,45	-1,86	5,28	1,97
SEO-1*	3,41	-6,95	-2,75	-1,68	6,27	2,17

Tablo 5.4- Elektrik akımının verildiği ve kesildiği zaman aralıklarında ölçülen ve hesaplanan sıcaklık ve elektriksel direnç değişimleri

5.4.2.1. Harçlarda elektro-kimyasal değişmeler

a) Bileşik oluşumu

Bazı araştırmacılar doğru akım etkisiyle betonda, kil-su karışımlarındakine benzer biçimde, katod civarında Ca(OH)_2 oluştuğunu belirtmektedirler (35). Ortamdaki alkali iyonları da, katodda bir miktar alkali hidroksitler oluşmasına neden olmaktadır.

Bu reaksiyonlar sonucu, killerde olduğu gibi sudaki CO_2 , Ca(OH)_2 'in CaCO_3 ' a dönüşmesine neden olur. Deneylerimizde karbon elektrod kullanıldığı için, gerekli CO_2 'in elektrod tarafından sağlanabileceği gözönünde bulundurulmalıdır.

b) pH derecesinin farklılaşması ve hidratasyonlar üzerine etkisi

Kil-su karışımlarında olduğu gibi, taze harç kütlelerinde de bölgesel olarak pH derecesi farklılaşması olacaktır. pH derecesi, Ca(OH)_2 ' çökmesine etki eder. Ca(OH)_2 'in varlığı kalsiyum silikatlar oluşumu açısından önemlidir. Çimentonun hidratasyonu sırasında tane yüzeyinde kalsiyum silikatlar, Ca(OH)_2 'in dimerik silikat $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{-6}$ ile reaksiyonu sonucu oluşur. Dimerik silikat anyonları, pH derecesinin 10,9-13,6 değerleri arasında stabil olarak kalmaktadırlar. 13,6 değerinin üzerinde monomerik anyonlar $(\text{Si}_4)^{-4}$ haline dönüşmektedir. pH de-

dercesinin 8,5 değerinin altında olması halinde Ca(OH)_2 oluşmamakta, sıvı fazda serbest Ca^{+2} iyonları bulunmaktadır. Silikat iyonları ise çok az miktarda oluşmakta, silikat jeli oluşmamaktadır (53)?

Titkov ve arkadaşları, örnek olarak verdikleri bir kil türü ile yapılan deneyde, doğru akım etkisiyle pH derecesinin katod civarında 13,6 , anod civarında 1,0 değerini aldığını belirtmektedirler. Çimento-su karışımlarında bu kadar farklılık beklenemez. Çünkü karışımın pH derecesi, ilk anlardan itibaren 12,5 civarındadır. Doğru akım etkisiyle Ca^{+2} katyonları katod civarında toplansa bile, çimentonun ve $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 'in çözünmesi sonucu, anod bölgesinde önemli ölçüde Ca^{+2} iyonu her an bulunacaktır. Elektroliz nedeniyle oluşan OH^{-1} iyonlarının da anod bölgesinde yoğunlaşması doğaldır. Böylece anod bölgesinde her an Ca(OH)_2 bulunacak ve pH derecesinin, killerde olduğu ölçüde düşmesi görülmeyecektir. Anod bölgesinde, katod bölgesindeki kadar hızlı olmasa da gene kalsiyum silikat oluşması için gerekli ortam bulunacaktır.

e) Suyun elektrolizi

Suyun elektrolizi iki olaya neden olur: 1) Killerde olduğu gibi, harçta H^{+1} ve OH^{-1} iyon konsantrasyonlarını artırarak pH derecesinde bölgesel farklılaşma, 2) elektroliz sonucu oluşan hidrojen ve

oksijen gazlarının kısmen harçta birikerek boşluk oranını artırması.

d) Kolloidal koagülasyon

Çimentonun hidratasyonu sırasında kolloidal tanecikler oluşur. İlk kolloidal tanecik, çimentonun su ile temasından 5 dakika sonra görülmektedir (54). Özellikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu oluşan kolloidal tanecikler (kalsiyum silikat hidrosolları) hidrate fazın stabilitesini belirler ve çimento tanelerinin iyon değişim yeteneğini artırırılar.

Hidrosoller elektrik yüküne sahiptirler. Bu yükün işareti zamanla değişir. Tane yüzeylerinde Ca^{+2} iyonlarının fazla olması pozitif yüke, silikat iyonlarının fazla olması negatif yüke neden olur. Hidrosoller bir taraftan oluşurken, öte yandan çökerek jel yapısını meydana getirirler. Hidratasyon sonucu meydana gelen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de kolloidal karakterdedir ve hızla koagüle olarak çöker.

Elektrik akımının ters bir etkisi ise, çift tabakanın dağılmasına neden olarak ve tanelerin iyon değişimini etkileyerek, kolloidal taneciklerin daha çabuk çökmesini sağlamaktır. Killerde bu olay, dayanımı daha yüksek ve koheziv bir kütle oluşumuna neden olur. Oysa çimento-su karışımında koagü-

lasyonun süratli olması, daha gevşek ve daha az mukavemetli bir jel yapının meydana gelmesi demektir.

e) İyon değişimi

Çimento-su karışımlarında hidrasyon olayı, katı tane yüzeyi ile sıvı faz arasında bir iyon değişimi olayıdır. Sıvı fazda ve tane yüzeyinde adsorbe haldeki iyonlar, çimento tanelerinin ve $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ in çözünmesi sonucu oluşur.

Hidrate tanelerin yüzey yüklerinin zamanla değişmesi, tanenin iyon adsorpsiyon yeteneğini ve adsorbe edilen iyon cinsini değiştirir. Suzuki ve arkadaşları, yalın C_3S -su karışımlarında zeta potansiyeli ölçmek amacıyla yaptıkları çalışmada, bu olay hakkında da bazı sonuçlar elde etmişlerdir (18). Çalışmada zeta potansiyeli, C_3S hamurundan Ca^{+2} iyonları içeren su geçirmek ve akış potansiyelini saptamak yoluyla tayin edilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, C_3S tanelerinin zeta potansiyeli zamana bağlı olarak pozitif ve negatif değerler almaktadır. Zeta potansiyeli pozitif iken taneler ortamdan geçen suya Ca^{+2} iyonları vermekte, zeta potansiyeli negatif iken sıvı fazdan Ca^{+2} iyonları adsorbe etmektedirler. Yalın C_3S ile yapılan bu çalışmaya dayanılarak, hidrasyon sırasında çimento tanesi ile su fazı arasında da

benzer biçimde bir iyon alışverişi olageldiği söylenebilir. Karışıma verilen elektrik akımının, çift tabakayı dağıtması nedeniyle, killerde olduğu gibi iyon alışverişini kolaylaştırması gerekir. Bu olay, katı taneler ile sıvı faz arasında kolaylıkla iyon dengesi kurulmasını sağlar.

Suzuki ve arkadaşlarının çalışmalarının paralelinde şu sonuçları çıkarabiliriz: Çimento tanelerinin Ca^{+2} iyonlarını kolay adsorbe etmeleri, katı tane ile sıvı faz arasında kolay iyon dengesi kurulabilmesi, elektro-osmoz uygulandığı takdirde, harçın her yerinde kalsiyum silikat hidrasyonunun homojen olarak gelişmesini sağlayacaktır.

f) Kimyasal reaksiyonların hızlanması

Elektrik akımı, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 'in çözünmesine yardım edecek, ortamda Ca^{+2} iyon konsantrasyonunu artıracak, iyon değişimini kolaylaştıracaktır. Bütün bunlar, kalsiyum silikat hidratların daha kolay ve süratli biçimde meydana gelmesini sağlar. Öte yandan elektrik akımı etkisiyle harç sıcaklığının artması da, kimyasal reaksiyonları hızlandıran bir başka etkidir.

5.4.3. Elektro-kimyasal olayların sertleşmiş harç özellikleri üzerine etkileri

a) Katkısız harçlar

1,0 V/cm'lik elektro-osmoz uygulanmış harçlarda, elektro-kimyasal olayların basınç dayanımlarına önemli ölçüde olumlu etki yaptığı söylenemez. Deney-sel dayanımlar, KSEO+1 grubunda Graf bağıntısıyla bulunan değerlerin altındadır. KSEO-1 grubunda ise önemli bir fark yoktur (tablo 5.2). Bu durum, elektro-kimyasal olayların basınç dayanımları üzerindeki olumsuz ve olumlu etkilerinin, 1,0 V/cm'lik uygulamalarda yaklaşık olarak eş değerde olduğunu göstermektedir.

KSEO+1 ve KSEO-1 gruplarının basınç dayanımlarında, elektro-kimyasal etkilere bağlı bir artış görülmemekle birlikte, kılcallık katsayılarında aynı nedenlerle önemli düşme olmaktadır. Bu sonuç, kol-loidal koagülasyonun elektrik akımı etkisiyle hızlanmasının, kılcal boşlukları tıkayıcı etkisine bağlanabilir. Hızlı koagülasyon, gevşek jel yapısına neden olacağı için, basınç dayanımlarını düşürücü etki yapar.

0,5 V/cm'lik uygulamalarda ise, basınç dayanımları ve kılcallık katsayıları, 1,0 V/cm'lik uygulamalara göre yüksektir. Düşük voltaj hızlı koagülasyona neden olmamaktadır. Voltajın düşük olması, harcın çeşitli bölgelerinde farklı nitelikte iyon yoğunlaşmasının daha az olmasına ve daha dengeli,

homojen iyon dağılımı olmasına neden olacaktır. 0,5 V/cm'lik elektro-osmoz uygulamalarında, elektrik akımına bağlı sıcaklık artışının çok az olması da, olumlu sayılabilecek bir durumdur.

KSEO+0,5 ve KSEO-0,5 grubunda kılcallık katsayılarının yüksek olması, kılcal boşluk miktarının fazla olmasını gerektirmez. Düşük voltajda koagülasyonun yavaş olması, kılcal boşlukların sürekliliğinin daha az kesilmesine neden olacak ve kılcallık katsayıları 1,0 V/cm'lik uygulamalara göre daha yüksek çıkacaktır. Nitekim KSEO+0,5 ve KSEO-0,5 gruplarında ses hızlarının, 1,0 V/cm'lik uygulama yapılmış harçlara göre düşük olmaması, iki grup arasında kılcal boşluk miktarı açısından belirgin bir fark olmadığının ölçüsü sayılmalıdır.

KSEO+1TD grubunda, KSEO+1 grubuna oranla kılcallık katsayılarının düşük olmasına karşılık, basınç dayanımlarının yüksek olmaması, ek elektro-osmoz uygulamasının dayanımlara olumlu etki yapmadığını göstermektedir. Uzun süreli uygulamada KSEO+1 grubuna göre daha fazla su drene edilemediği gibi, muhtemelen kolloidal koagülasyon gibi, kılcal boşlukları tıkayıcı etkilerin rol oynadığını göstermektedir. Hidratasyon ürünlerinin bu şekilde hızlı koagülasyonu, sertleşmiş harçta basınç dayanımlarını düşürür.

Hidratasyon sonucu oluşan kolloidal tanecikler, difüzyon hızı düşük taneciklerdir (54). Bulundukları ortamda çökelen bu taneciklerin, elektrik akımı etkisiyle kılcal boşluklarda hareket ederek koagüle olmaları olanaklıdır. Böyle bir olay, kılcal boşlukları tıkayıcı rol oynayacaktır. Bu şekildeki tıkanma, boşluğun süreksiz hale gelmesine neden olarak, kılcal su emmeyi azaltacaktır. Ancak kılcal boşluk miktarının toplam olarak azalması anlamına gelmeyecektir.

b) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ katkılı harçlar

Bu grupta elektro-osmotik drenajlı harçların basınç dayanımlarının, katkısız harçlara göre bir miktar yüksek olması, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in olumlu elektro-kimyasal olaylara neden olduğunu göstermektedir.

Butt ve Topilski'ye göre $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in önceden varlığı, hidratasyonlar sırasında Ca^{+2} ve OH^{-1} iyon konsantrasyonlarındaki dalgalanmaları düzenleyici etki yapar (54). Bu araştırmacılara göre çimento-su karışımlarında Ca^{+2} ve OH^{-1} iyon konsantrasyonunun artışı, daha stabil $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kristalleri ve daha fazla silikat oluşumuna neden olur.

Deneylerimizde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ katkılı şahit ve doğal drenajlı harçlarda katkısız harçlara oranla, sertleşmiş harç özellikleri açısından önemli bir fark gö-

rülmemektedir. Elektro-osmoz uygulamalarında ilave Ca(OH)_2 'in katı ve sıvı faz arasında iyon dengesine olumlu etki yapması beklenir. Ca(OH)_2 katkısı karışımın daha uzun süre bu bileşiğe doygun halde kalmasını sağlayacaktır. Böylece elektrik akımı etkisiyle anod bölgesinde meydana gelebilecek pH derecesindeki düşme sınırlı kalacaktır.

CEO+0,5 ve CEO-0,5 gruplarında basınç dayanımlarının 1,0 V/cm'lik uygulamalara göre yüksek olması, katkısız harçlar için ileri sürülen savları doğrular niteliktedir.

Elektro-osmotik drenajlı Ca(OH)_2 katkılı harçlarda, katkısız harçlara oranla kılcallık katsayıları düşüktür. Bu çelişkili durum, Ca(OH)_2 katkılı harçlarda elektrik akımı etkisiyle daha fazla kalsiyum silikat oluştuğunu gösterir niteliktedir. Hidratasyon ürünlerinin artışı, kılcallık katsayıları üzerinde azaltıcı etki yapar. Öte yandan, hidrate ürünlerin artışı, jel boşluk miktarının artışı demektir. Bu ise ses hızlarını düşürücü etki yapar.

c) Kalsiyum linyosulfonat katkılı harçlar

Bu grupta elektro-osmotik drenajın, diğer grup harçlara oranla, sertleşmiş harç basınç dayanımlarına daha olumlu etki yaptığını gördük.

Kalsiyum linyosulfonat, harca karıştığı andan itibaren, sıvı fazın Ca^{+2} iyonları açısından katkısız hale göre daha zengin olmasına neden olur (55).

Linyosulfonat kökünü adsorbe ederek negatif yüklennmiş çimento taneleri çevresinde Ca^{+2} iyon konsantrasyonu yüksek olacaktır. Elektrik akımı çift tabakayı dağıtsa da, taneye yakın olan ve daha güçlü biçimde çekilen Ca^{+2} iyonlarının, tane civarında kalma olasılığı fazladır. Öte yandan, suyun ayrışması sonucu oluşacak OH^{-1} iyonları, ortamda yeterince $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oluşmasını sağlayacaktır. Böylece kalsiyum silikatların oluşması için gerekli koşullar sağlanmış olacaktır.

Reaksiyonların, katkı nedeniyle diğer harç gruplarına göre yavaş gelişmesi, kolloidal tanecik oluşumunu geciktireceği için, hızlı bir koagülasyon olayı da meydana gelmeyecektir. Nitekim elektro-osmotik drenaj sonucu, kalsiyum linyosulfonat katkılı harçların kılcallık katsayılarında önemli bir düşme görülmemektedir. Bunun nedenlerinden biri de kılcal boşluklarda, boşlukları tıkayacak ölçüde koagülasyon olayının meydana gelmemesi olabilir.

Kalsiyum linyosulfonat katkılı $\text{W/C}=0,60$ grubunda, elektro-osmotik drenajın basınç dayanımlarına önemli etki yapmaması, daha önce açıklandığı gibi,

harcın çok boşluklu bir yapıya sahip olmasının sonucudur. Bu grupta basınç dayanımlarına, daha ziyade boşluk miktarı etki yapmaktadır.

Yukarıdaki açıklamalar, kalsiyum linyosulfonatin elektro-osmoz uygulamalarında, taze harçta olumlu elektro-kimyasal değişmelerin etkinliğini artırarak, özellikle basınç dayanımlarına, önemli ölçüde artırıcı yönde etki yaptığını göstermektedir. Buna karşılık, kılcallık katsayılarındaki değişmeler sınırlı kalmaktadır.

BÖLÜM VI

SONUÇLAR

alışmada elde edilen sonuçları kısaca şöyle özetleyebiliriz:

Elektro-osmotik yöntemle taze harçtan drene edilebilecek su miktarının bir üst sınırı vardır. Bu sınırdır, deneysel sonuçlara göre, harçtaki toplam su miktarının yaklaşık %9'u kadardır. Uygulanan voltajı değiştirmek, drenaj hızını ve drene edilen toplam su miktarını değiştirmektedir. Ancak, drene edilebilen su miktarı sınırlı olduğu için, sonuçta taze harçtaki su/çimento oranında önemli değişiklikler olmamaktadır.

Her türlü elektro-osmoz uygulamasında, su alınan tarafın katod olması halinde, diğer drenaj işlemlerine oranla drenaj hızları fazla olmaktadır. Ancak, elektrik akımı etkisiyle su ayrışmakta, ayrışma sonucu oluşan hidrojen gazı katoddan çıkarak su akışını engellemektedir. Anod tarafında gaz çıkışı belirgin değildir. Bu olay, katod tarafından drenaj yapılması halinde, drene edilen toplam su miktarının az olmasına neden olmaktadır.

1 saatlik drenaj uygulaması sonucu, alınabilecek suyun yaklaşık tamamı alınmaktadır.

- 4) Voltajı yükseltmek, elektroliz olayını hızlandırdığı için, drenaj hızı kısa zamanda hızla düşmektedir.
- 5) Taze harçtan su drenajı yapılması sonucu, sertleşmiş harçta basınç dayanımı artmakta, kılcallık katsayıları düşmektedir. Deneysel sonuçlar, sertleşmiş harç özelliklerindeki değişimin önemli ölçüde, drenaj etkisiyle kılcal boşluk miktarındaki azalmadan kaynaklandığını göstermektedir.
- 6) Özellikleri etkileyen diğer bir olay, elektrik akımı etkisiyle taze harçta meydana gelen elektro-kimyasal olaylardır. Olayların bir kısmı sertleşmiş harç özelliklerini olumlu, bir kısmı da olumsuz etkilemektedir.
- 7) Uygulanan voltaj ve drenaj süresi arttıkça, olumsuz değişimlerin etkinliği artmaktadır.
- 8) Kalsiyum esaslı katkı maddeleri, olumlu elektro-kimyasal değişimlerin etkinliğini artırarak, sertleşmiş harç özelliklerinde daha fazla iyileşme sağlamaktadır.
- 9) Kalsiyum linyosulfonat, yüksek oranda hava süpürülmesine karşın, daha olumlu elektro-kimyasal değişimlere neden olduğu için, elektro-osmoz uygulamalarında yüksek dayanımlar elde edilmesini sağ-

amaktadır.

u çalışma, elektro-osmoz uygulaması ile ve uygun ir katkı maddesi kullanarak, su/çimento oranı yüksek taze harçlarla, yüksek dayanımlı harçlar elde edilebileceğini göstermektedir. Bu yöntemle sertleşmiş harçlarda kılcal su emme azaldığı için, dayanıklılığın (durabilite) yüksek olacağı söylenebilir.

alışmada yöntemin, beton teknolojisinde kullanılması ile ilgili sorunlar üzerinde durulmamış, bu anda ilk adımı oluşturacak temel çalışma yapmak açlanmıştır. Elektro-osmotik yöntemin prefabrike leman üretilmesinde kullanılma olasılığı daha yüksektir. Ancak uygulamaya geçebilmek için, bu alanda etermince çalışma yapmak gerekir.

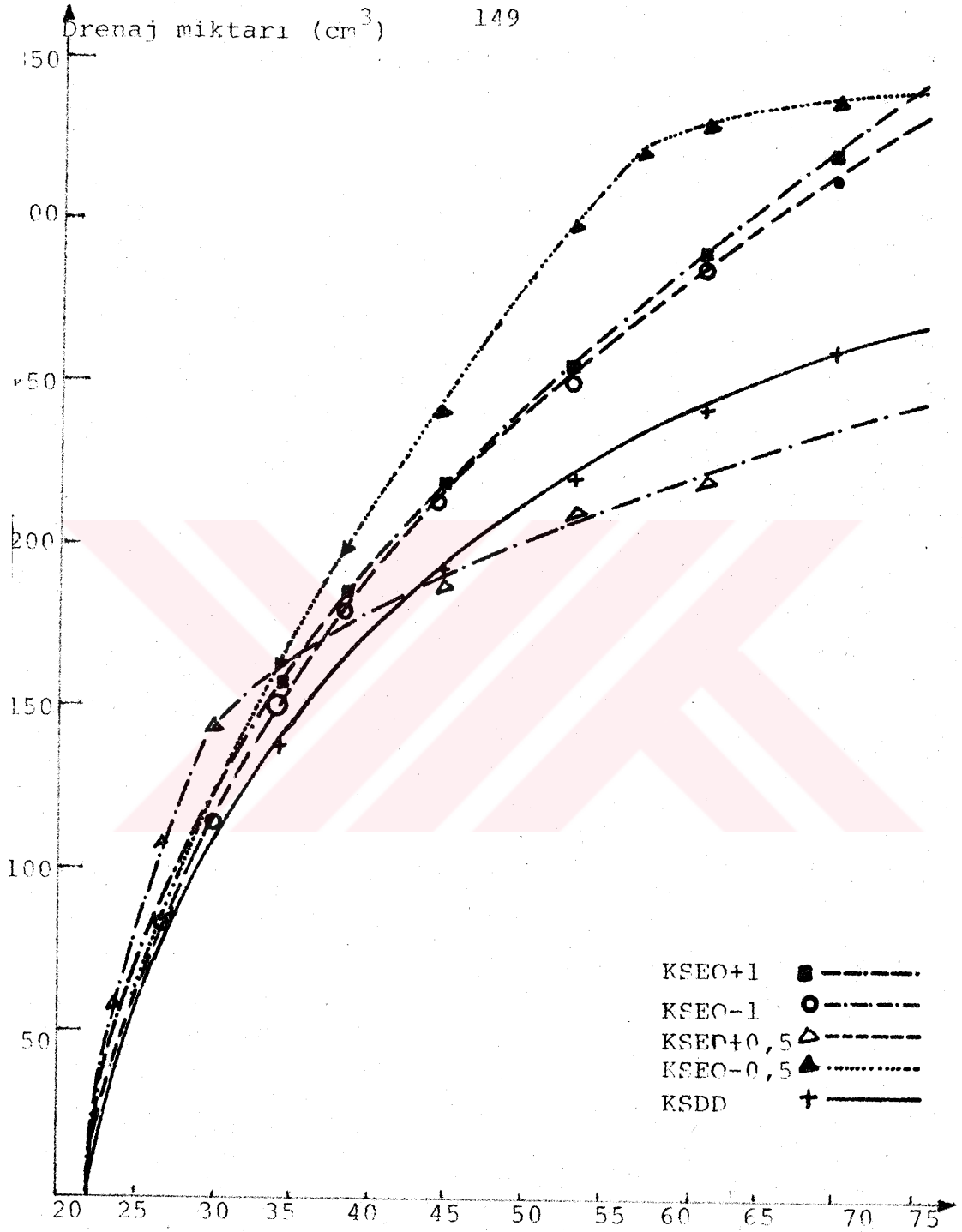
aha ileri çalışmalar için, öncelikle çimentonun elektro-kinetik özelliklerinin araştırılması önerilir. Bu konudaki araştırma ve bilgiler yetersiz bulunmaktadır. Deneyler, sertleşmiş harç ve beton özelliklerine en olumlu etkiyi yapacak biçimde, optimum bir voltaj ve uygulama süresi olduğunu göstermektedir. Bu yönde çalışmaya gerek vardır. Değişik katkı maddeleri kullanarak, elektro-osmoz uygulaması ile daha iyi sonuçlar elde etmeye olanak vardır.

Elektro-osmoz uygulanmış harçlarda, boşluk yapısındaki değişimler daha iyi incelenmelidir. Bu yön-
deki çalışmalar, sertleşmiş harç ve beton özellik-
lerindeki değişimleri açıklayıcı nitelikte olacaktır.

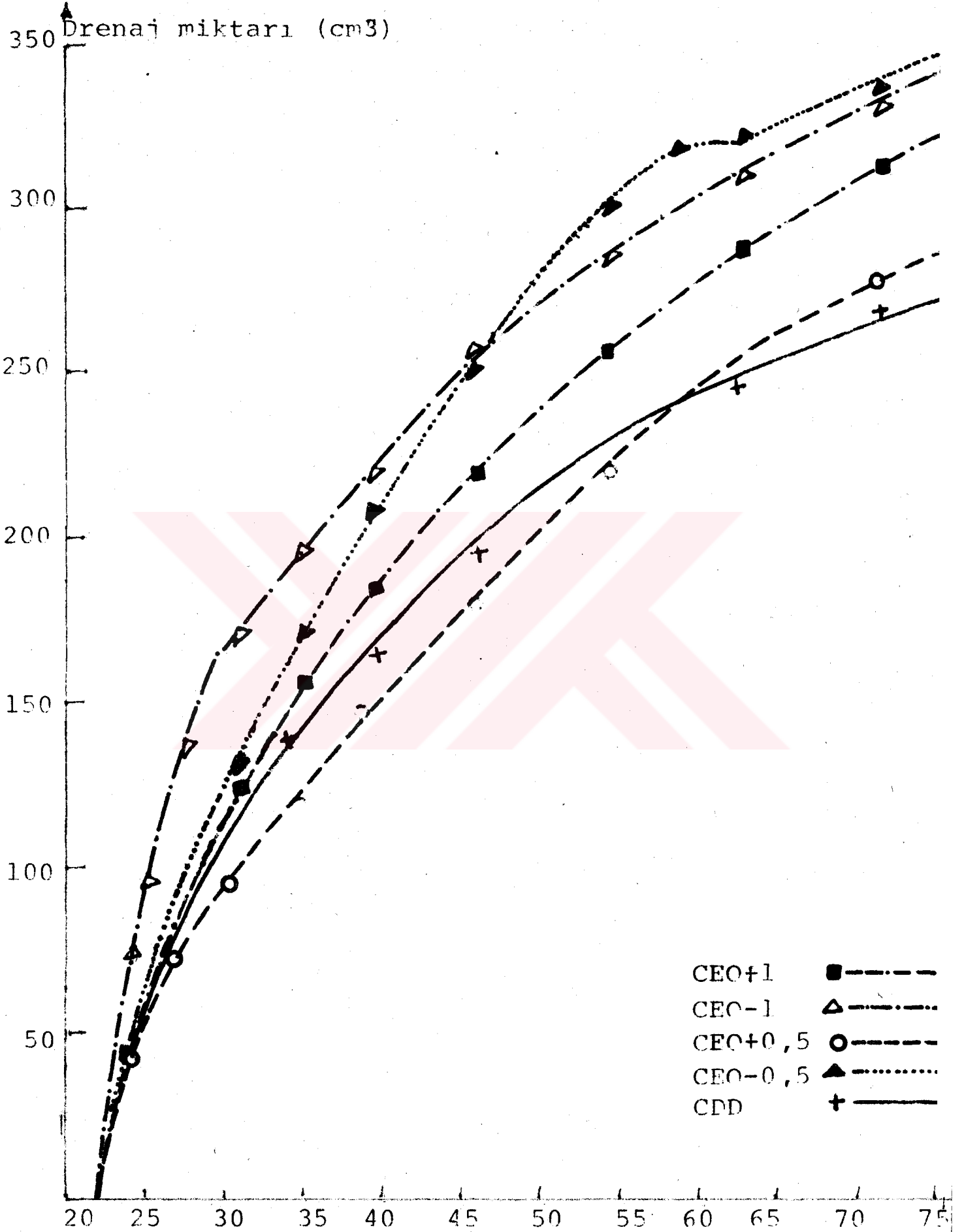




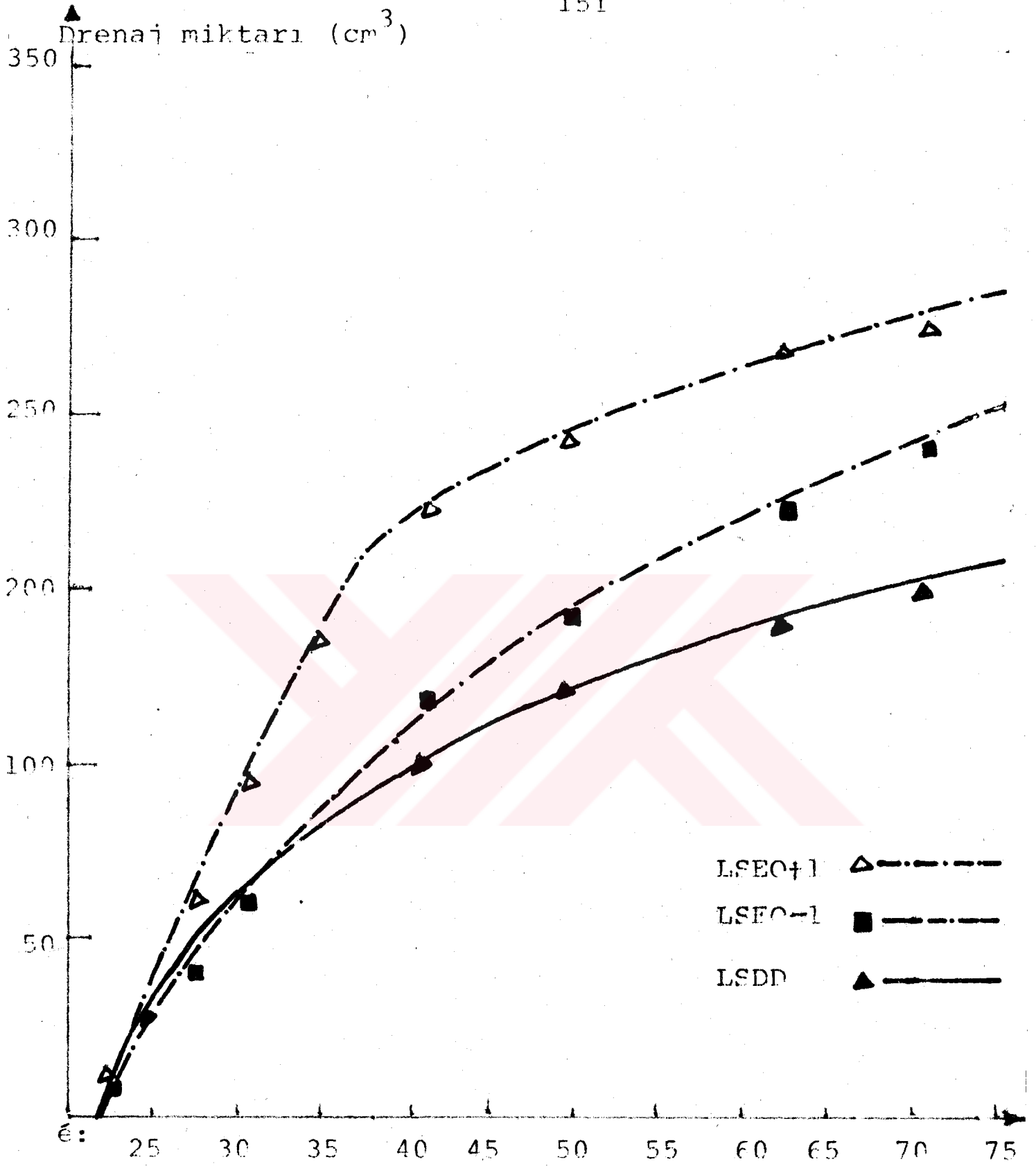
EKLER :



Ek şekil 3.1a- Katkısız harçlarda drenaj derevlerinde,
drenaj miktarının zamana göre değişimi



Ek şekil 3.1b- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ katkılı harçlarda, drenaj deneyleri de, drenaj miktarının zamana göre değişimi



Ek şekil 3.1c- Kalsiyum linvosulfonat katkılı harçlarda drenaj deneylerinde, drenaj miktarının zamana göre değişimi

Zaman aralığı (dk)	Oturma hızı (μ /dk)					
	KSS	KSDD	KSEO+1	KSEO-1	KSEO+0,5	KSEO-0,
20,5-21,5	285	304	344	341	332	268
21,5-22,5	248	354	401	269	421	278
22,5-23,5	205	354	408	429	338	288
23,5-24,5	185	344	347	368	331	309
24,5-25,5	188	291	279	322	309	257
25,5-30,0	167	239	183	216	231	194
30,0-35,0	108	144	131	124	185	117
35,0-40,0	74	100	80	84	140	133
40,0-45,0	56	71	61	36	73	113
45,0-50,0	32	51	42	33	39	57
50,0-55,0	26	27	26	17	26	41
55,0-60,0	17	11		7	10	27

Ek tablo 3.1a- Katkısız taze harçlarda oturma hız

Zaman aralığı (dk)	Oturma hızı (μ /dk)					
	CS	CDD	CEO+1	CEO-1	CEO+0,5	CEO-0,
20,5-21,5	368	295	292	306	345	324
21,5-22,5	324	329	367	352	375	347
22,5-23,5	249	347	394	422	405	461
23,5-24,5	228	350	340	348	437	349
24,5-25,5	209	352	219	348	437	349
25,5-30,0	146	292	214	191	257	221
30,0-35,0	91	177	135	153	150	149
35,0-40,0	62	96	93	76	81	99
40,0-45,0	44	58	60	46	54	53
45,0-50,0	30	48	33	29	25	40
50,0-55,0	18	30	26	11	15	12
55,0-60,0	12					

Ek tablo 3.1b- Ca(OH)_2 katkılı taze harçlarda

Zaman aralığı (dk)	Oturma hızı (μ /dk)						
	LSS	LSDD	LSEO+l	LSEO-l	LSDD*	LSEO+l*	LSEO-l*
20,5-21,5	71	98	70	149	205	173	194
21,5-22,5	53	163	89	162	458	272	356
22,5-23,5	71	158	86	180	340	149	220
23,5-24,5	72	179	102	155	223	167	259
24,5-25,5	64	198	127	109	163	128	225
25,5-30,0	47	112	117	98	122	134	186
30,0-35,0	39	98	74	55	140	111	129
35,0-40,0	62	68	55	44	140	98	128
40,0-45,0	57	63	53	44	125	65	101
45,0-50,0	33	61	49	41	79	59	119
50,0-55,0	52	59	38	33	64	61	60
55,0-60,0	44	54	61	30	49	51	63
60,0-70,0	31	41	43	25	55	32	57
70,0-80,0	22	30	24	34	48	24	48

Ek tablo 3.1c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı taze
harçlarda oturma hızları

Zaman aralığı (dk)	R1 SEVİYESİ						
	Direnç değişimleri x 10 ⁻⁶						
	(ohm/dk)						
	KSS	KSDD	KSEO+1	KSEO-1	KSEO+0,5	KSEO-0,5	KSEO+1T
18,5-22,5	0,00	-5,0	-167,0	-107,7	-67,5	-60,0	-158,5
22,5-32,0	-8,4	2,1	-4,6	-6,3	-5,3	-5,5	-5,3
32,0-41,0	-11,7	-1,1	-2,2	-2,2	-3,3	-3,1	-1,1
41,0-61,0	-4,5	-0,4	-1,8	-2,9	-1,0	-1,2	-1,5
61,0-76,0	-2,2	-2,3	-0,5	0,3	-1,0	-1,0	-0,8
76,0-82,5	-1,9	-0,8	64,5	57,9	22,3	23,5	71,5
82,5-87,0	-0,8	-0,6	22,1	14,1	-1,2	-1,0	-0,3
87,0-91,0	0,0	0,0	10,8	0,0	-1,3	-1,3	-0,2
91,0-106,0	0,2	0,3	2,0	0,0	-3,0	-2,5	0,0
106,0-121,0	0,2	0,3	-0,7	0,0	-0,8	-1,0	0,0
121,0-151,0	0,3	1,0	-0,2	0,2	-0,3	-0,5	18,2
151,0-181,0	0,5	1,2	0,7	1,4	0,5	0,0	5,2
181,0-196,0	1,0	1,3	1,7	1,6	1,0	0,8	4,6
196,0-226,0	1,0	1,7	2,2	2,5	1,0	1,0	6,7
226,0-256,0	1,4	2,7	2,1	2,8	3,5	2,7	6,8
256,0-286,0	1,6	2,8	3,4	6,0	2,2	2,5	7,0
286,0-316,0	2,0	3,0	3,5	1,8	2,5	2,8	7,0
316,0-406,0	2,4	3,3	3,5	4,6	3,0	3,3	6,2

tablo 3.2 a- Katkısız taze harçlarda, R1 seviyesinde, elektriksel dirençlerin değişim hızları

Zaman aralığı	R1 SEVİYESİ					
	Direnç değişimleri $\times 10^{-2}$ (ohm/dk)					
	CS	CDD	CEO+1	CEO-1	CEO+0,5	CEO-0,5
18,5-22,5	5,0	-15,0	-182,0	-139,8	-59,6	-62,3
22,5-32,0	-22,6	-5,3	-5,8	-7,4	-4,4	-2,1
32,0-41,0	-14,4	3,3	-5,6	-1,1	-2,6	-3,3
41,0-61,0	-8,6	-3,7	-3,8	-1,4	-1,0	-7,3
61,0-76,0	-4,2	-3,7	-1,3	0,5	4,0	3,7
76,0-82,5	-2,1	0,0	69,2	71,2	32,3	35,4
82,5-87,0	-1,3	0,0	19,1	26,5	-2,0	-4,0
87,0-91,0	-1,3	0,0	15,2	24,1	-1,0	-4,7
91,0-106,0	0,0	0,2	-5,8	-3,7	0,0	0,0
106,0-121,0	0,0	0,5	-4,0	-2,0	1,2	1,2
121,0-151,0	0,0	0,7	-1,3	-0,7	1,0	1,7
151,0-181,0	0,2	0,9	0,2	0,5	2,0	1,8
181,0-196,0	0,8	2,5	0,6	1,7	2,3	3,3
196,0-226,0	0,9	2,0	2,1	3,8	2,5	2,8
226,0-256,0	1,2	2,5	3,0	3,9	2,7	2,3
256,0-286,0	1,2	2,9	2,8	4,1	3,7	2,9
286,0-316,0	1,5	3,5	2,9	4,8	3,5	3,7
316,0-406,0	2,6	3,6	4,7	4,6	4,3	4,4

Ek tablo 3.2b- Ca(OH)_2 katkılı taze harçlarda, R1 seviyesinde, elektriksel direnç değişim hızları

Zaman aralığı (dk)	R1 SEVİYESİ Direnç değişimleri x 10 ⁻² (ohm/dk)						
	LSS	LSDD	LSEO+1	LSEO-1	LSDD*	LSEO+1*	LSEO=
18,5-22,5	-17,5	2,5	-154,4	-173,6	-29,4	-176,5	-196,5
22,5-32,0	-13,7	-9,5	-8,4	-9,5	-37,4	-15,3	-20,0
32,0-41,0	2,2	-15,6	-4,4	-5,6	-14,4	-7,6	-12,5
41,0-50,0	-5,6	-6,7	-5,6	-4,4	-8,9	-9,4	-10,0
50,0-61,0	-10,0	-4,1	-3,6	-3,7	-17,1	-3,5	-3,4
61,0-76,0	-6,7	-2,0	-1,7	-3,7	-9,2	-3,2	-3,4
76,0-82,5	-6,7	-1,5	76,1	81,4	-6,2	89,2	112,5
82,5-91,0	-4,0	-1,5	19,3	2,9	-2,9	-0,2	6,5
91,0-106,0	-2,5	-1,0	0,7	-3,0	-2,8	-9,6	-11,2
106,0-121,0	-2,1	-0,7	0,7	-2,0	-2,8	-7,3	-6,5
121,0-151,0	-1,2	3,5	5,3	-3,2	-1,6	-5,1	-3,0
151,0-166,0	0,9	-0,5	1,0	5,0	-1,2	-2,5	-2,2
166,0-196,0	-1,7	-1,0	-2,0	-1,3	-1,2	-2,2	-2,2
196,0-226,0	-0,5	1,2	0,0	1,7	-1,7	-2,1	-2,3
226,0-256,0	0,7	1,4	2,0	2,3	-1,0	0,6	0,5
286,0-316,0	1,3	2,3	2,8	2,5	0,8	1,0	1,0
316,0-376,0	1,8	2,5	2,8	3,6	1,5	1,5	1,8
376,0-436,0	2,3	2,7	3,0	4,6	1,7	1,7	1,8
436,0-466,0	3,9	4,2	3,9	5,0	2,4	2,4	2,6
466,0-496,0	3,9	4,2	3,9	5,0	2,4	2,4	2,6

Ek tablo 3.2c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı taze harçlarda
R1 seviyesinde elektriksel direnç değişim hızları

Ölçüm sevi.	Elektriksel direnç (ohm)						
	KSS	KSDD	KSEO+1	KSEO-1	KSEO+0,5	KSEO-0,5	KSEO+1TD
R1	64,8	73,0	85,2	84,5	74,0	77,0	112,0
R2	64,8	67,5	79,8	84,0	67,0	73,5	104,5
R3	64,3	71,5	81,1	81,5	71,5	76,0	107,0
R4	68,3	72,0	81,3	85,0	67,0	75,5	108,8
R5	75,8	79,0	92,3	96,5	78,0	81,0	115,5

Ek tablo 3.3a- Katkısız harçlarda 24 üncü saatteki elektriksel dirençler

Ölçüm sevi.	Elektriksel direnç (ohm)					
	CS	CDD	CEO+1	CEO-1	CEO+0,5	CEO-0,5
R1	61,5	77,0	86,6	89,0	94,5	92,5
R2	63,4	71,0	82,0	83,5	84,5	86,0
R3	63,5	75,0	85,5	83,5	86,0	90,5
R4	66,5	75,5	87,5	83,4	88,5	90,0
R5	72,8	83,0	96,0	90,0	96,5	99,5

Ek tablo 3.3b- Ca(OH)_2 katkılı harçlarda 24 üncü saatteki elektriksel dirençler

Ölçüm sevi.	Elektriksel direnç (ohm)						
	LSS	LSDD	LSEO+1	LSEO-1	LSDD *	LSEO+*	LSEO-*
R1	103,0	115,0	118,8	128,5	80,5	83,0	89,5
R2	103,0	108,5	110,2	122,5	74,8	76,5	84,0
R3	101,0	106,5	115,0	122,0	78,8	85,0	85,0
R4	98,0	102,0	111,0	121,8	80,7	87,5	94,5
R5	104,0	105,0	116,0	126,5	81,2	90,0	95,0

Ek tablo 3.3c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlarda 24 üncü saatteki elektriksel dirençler

Harç türü	Deney cinsi	Ortalama basınç dayanımı (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	%95 güvenli-likli basınç dayanımları (N/mm ²)	%95 güvenli-likli ortalama basınç day. (N/mm ²)
KATKISIZ W/C=0,60	KSS	23,6 22,7 22,8	1,89 1,24 1,93	22,8 22,1 21,9	22,3
	KSDD	24,8 26,9 26,1	1,35 2,02 1,85	24,2 26,0 25,2	25,1
	KSEO-1	27,3 27,0 27,1	1,47 1,33 1,60	26,7 26,4 26,4	26,5
	KSEO+1	27,6 24,6 25,9	1,63 1,59 1,89	26,9 23,9 25,1	25,3
	KSEO+0,5	27,9 27,5 27,8	0,75 0,82 1,07	27,6 27,1 27,3	27,3
	KSEO-0,5	28,9 29,0 28,1	1,22 1,72 1,46	28,3 28,2 27,4	28,0
	KSEO+1TD	27,0 27,1	2,00 2,28	26,1 26,1	26,1
Ca(OH) ₂ KATKILI W/C=0,60	CS	24,2 22,6 22,0	1,58 1,57 2,33	23,5 21,9 20,9	22,1
	CDD	25,5 26,1 26,9	1,81 1,88 1,66	24,7 25,3 26,1	25,4
	CEO+1	27,2 28,2 27,8	1,88 1,58 1,50	26,4 27,5 27,1	27,0
	CEO-1	28,0 27,8 27,3	1,69 1,55 3,83	27,2 27,1 25,6	26,6
	CEO+0,5	28,6 28,1 28,5	0,93 1,80 1,54	28,2 27,3 27,8	27,8
	CEO-0,5	29,8 29,2 29,1	1,33 1,90 1,15	29,2 28,3 28,6	28,7
KAL.LİN. SUL.KAT. W/C=0,60, W/C=0,54	LSS	19,5 20,4	1,48 1,10	18,9 19,9	19,4
	LSDD	24,1 23,9	1,54 1,58	23,4 23,2	23,3
	LSEO+1	25,9 26,2	1,26 1,27	25,3 25,6	25,5
	LSEO-1	27,4 28,0	0,88 1,29	27,0 27,4	27,2
KAL.LİN. SUL.KAT. W/C=0,60	LSDD*	15,7 15,6	0,95 1,24	15,3 15,1	15,2
	LSEO+1*	18,3 18,5	1,55 1,28	17,6 17,9	17,7
	LSEO-1*	18,4 18,0	1,70 1,35	17,6 17,4	17,5

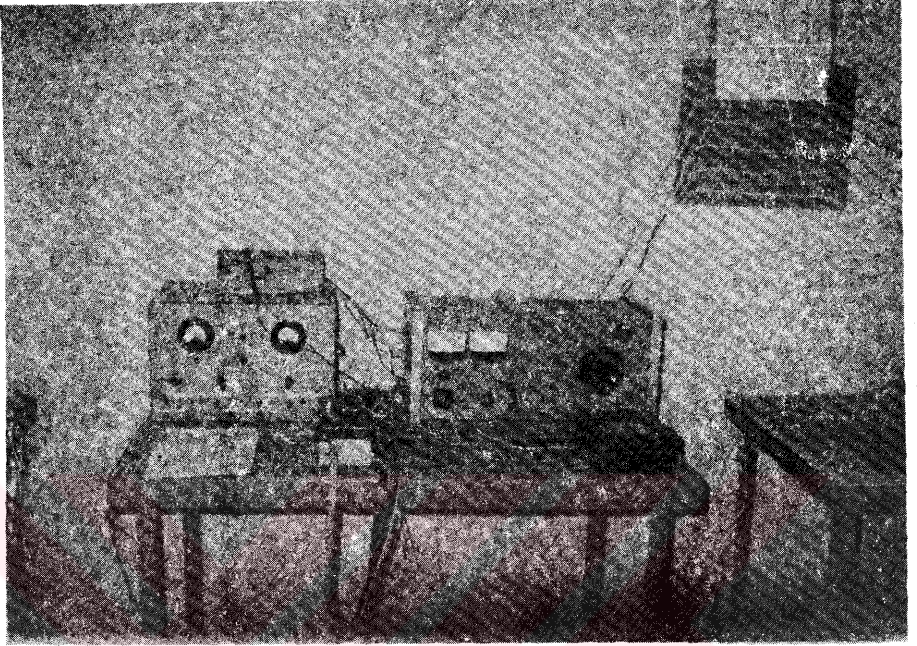
Ek tablo 3.4 Deney gruplarını temsil eden %95 güvenli-likli basınç dayanımları



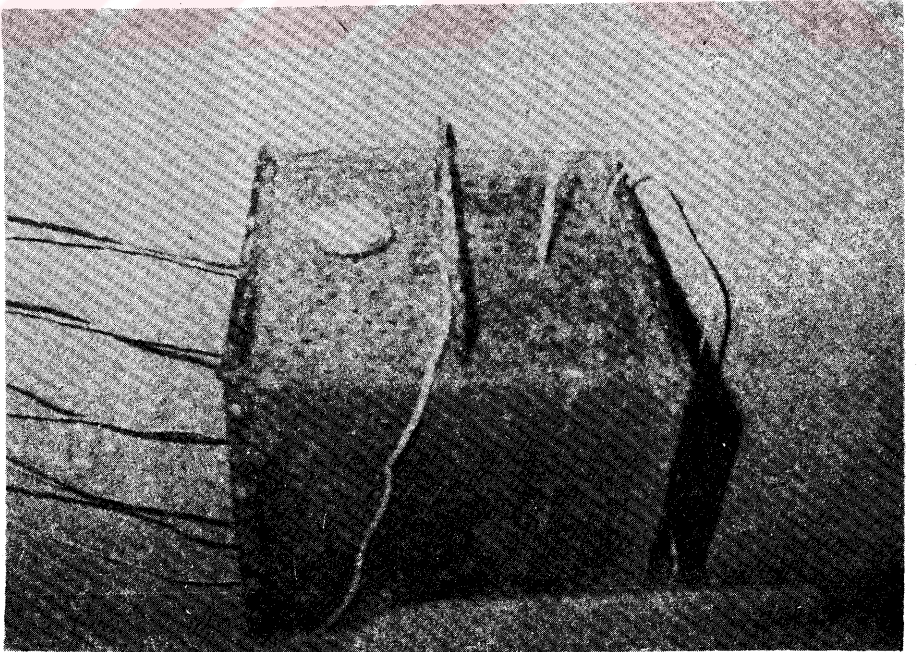
Resim 3.1a- Deney düzeninin genel görünüşü



Resim 3.1b- Deney kabı ve sireyn-geyçle terazi



Resim 3.1c- Doğru akım redresörü ve direnç ölçüm sistemi



Resim 3.1d- Deney kabının üstten görünüşü

Drenaj hızları (cm ³ /dk)	Drenaj hızları (cm ³ /dk)													
	KSD	KSEC+1	KSEC-1	KSEC+0,5	KSEC-0,5	CDD	CEO+1	CEO-1	CEO+0,5	CEO-0,5	LSDD	LSSEC+1	LSSEC-1	LSSEC+0,5
22,0-23,5	34,1	44,9	53,3	34,2	37,4	33,6	39,8	43,5	40,3	41,8	27,5	24,5	16,1	22,4
23,5-25,0	23,3	28,5	28,1	25,3	20,9	26,4	26,6	40,6	25,4	26,9	12,8	15,5	10,7	11,9
25,0-26,5	19,2	19,8	21,0	18,6	16,3	18,3	18,1	31,2	14,9	20,2	10,2	11,1	13,1	8,9
26,5-28,0	13,9	14,6	16,8	14,6	14,5	15,4	14,5	23,9	11,2	15,7	7,9	6,9	12,5	6,9
28,0-29,5	12,2	12,6	16,3	14,0	13,9	13,1	13,1	21,0	9,0	14,0	6,7	7,5	12,2	6,7
29,5-31,0	10,3	11,4	15,4	11,9	13,9	10,3	11,3	17,4	4,2	12,8	6,6	7,5	11,9	6,3
31,0-32,5	9,7	11,3	14,6	10,1	12,4	9,6	11,4	13,3	7,5	12,2	5,1	6,3	10,7	5,7
32,5-34,0	8,9	11,0	13,2	9,5	12,4	8,7	10,6	15,1	7,8	11,3	4,8	6,7	11,6	5,5
34,0-35,5	8,2	9,6	6,2	8,9	12,1	7,8	9,7	4,6	7,2	10,5	4,6	6,7	11,5	5,1
35,5-37,0	7,4	8,0	4,9	8,4	10,7	7,2	8,6	6,9	6,6	10,1	3,3	6,5	10,4	4,7
37,0-38,5	5,8	6,3	5,5	7,5	8,7	5,7	6,5	5,6	6,1	8,3	3,4	5,4	7,6	4,0
38,5-40,0	5,0	5,5	0,3	5,8	8,9	5,1	5,3	7,0	5,7	7,7	2,9	4,5	2,9	3,6
40,0-41,5	3,9	4,8	2,3	4,8	7,3	4,0	4,5	4,0	5,5	6,4	2,3	2,8	2,4	3,2
41,5-43,0	2,5	4,5	1,9	4,5	3,8	2,9	3,5	3,2	4,1	2,5	1,6	2,5	2,0	3,0
43,0-44,5	2,0	4,0	1,9	3,3	0,9	2,1	3,2	2,7	3,0	1,9	2,3	2,2	1,8	2,3
44,5-46,0	1,3	3,5	1,6	3,4	0,4	1,7	2,2	2,0	2,3	2,8	1,3	2,1	1,7	2,0

Tablo 4.1- Drenaj deneylerinde drenaj hızları zamanla gÖre değişimi

Ölçüm seviyesi	Şahite oranla kılcallık katsayısı değişimleri ($\Delta K/K_{KSS}$) (%)					
	KSDD	KSEO+1	KSEO-1	KSEO+0,5	KSEO-0,5	KSEO+1T
1 üst	-15,4	-35,2	-23,5	-16,1	-16,1	-32,5
1 alt	-15,1	-28,3	-18,9	-16,0	-10,9	-43,8
2 alt	-9,5	-33,6	-20,2	-13,7	-14,3	-36,9
3 alt	-4,9	-32,8	-18,3	-14,5	-16,7	-37,9
4 alt	-10,1	-35,1	-20,4	-15,3	-14,0	-24,6

Ek tablo 5.1a- Katkısız drenajlı harçlarda, katkısız şahite oranla kılcallık katsayısı değişimleri

Ölçüm seviyesi	şahite oranla kılcallık katsayısı değişimleri ($\Delta K/K_{CS}$) (%)				
	CDD	CEO+1	CEO-1	CEO+0,5	CEO-0,5
1 üst	-17,5	-24,2	-29,6	-42,7	-44,1
1 alt	-7,3	-17,2	-26,5	-39,1	-42,3
2 alt	-12,8	-18,2	-25,2	-35,2	-37,3
3 alt	-10,5	-24,7	-28,6	-39,5	-40,6
4 alt	-8,8	-12,0	-24,7	-36,5	-38,2

Ek tablo 5.1b- $Ca(OH)_2$ katkılı harçlarda, $Ca(OH)_2$ katkılı şahite oranla kılcallık katsayısı değişimleri

Ölçüm seviyesi	Şahite oranla kılcallık katsayısı değişimleri ($\Delta K/K_{LSS}$) (%)		
	LSDD	LSEO+1	LSEO-1
1 üst	10,3	20,1	-8,8
1 alt	-2,0	-3,0	-3,3
2 alt	-15,1	-16,0	-14,8
3 alt	-41,5	-48,8	-31,5
4 alt	-5,6	-2,9	-16,1

Ek tablo 5.1c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı harçlarda, (B) katkılı şahite oranla kılcallık katsayısı değişimleri

ölçüm no.	Şahite oranla ultra-ses hızı değişimleri ($\Delta V/V_{KSS}$) (%)											
	KSDD		KSEO+1		KSEO-1		KSEO+0,5		KSEO-0,5		KSEO+1TD	
	yatay	Düşey	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey
1	0,7	1,1	3,9	3,5	2,1	2,0	3,9	4,2	3,6	4,5	1,8	2,1
2	0,1	0,7	3,1	3,1	1,2	1,5	3,1	3,9	3,8	4,1	0,3	0,6
3	0,0	0,5	2,7	2,3	0,4	1,2	3,5	3,2	3,6	3,7	1,2	1,4
4	0,1	0,7	3,7	2,8	2,0	1,7	3,0	3,2	3,2	2,7	1,7	2,7

tablo 5.2a- Katkısız drenajlı harçlarda, katkısız şahite oranla ultra-ses hızlarının değişimi

ölçüm no.	Şahite oranla ultra-ses hızı değişimleri ($\Delta V/V_{CS}$) (%)									
	CDD		CEO+1		CEO-1		CEO+0,5		CEO-0,5	
	yatay	Düşey	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey
1	1,5	1,4	1,7	2,2	2,3	2,3	1,7	2,2	0,7	1,5
2	0,9	0,9	0,7	1,3	2,7	2,3	0,0	1,2	0,0	1,2
3	2,3	1,5	1,5	2,1	1,6	1,6	0,7	0,7	2,6	2,2
4	2,0	1,1	1,5	0,9	0,6	1,0	0,1	0,7	2,0	1,9

tablo 5.2b- $Ca(OH)_2$ katkılı drenajlı harçlarda, $Ca(OH)_2$ katkılı şahite oranla ultra-ses hızı değişimleri

ölçüm sevi.	Şahite oranla ultra-ses hızı değişimleri ($\Delta V/V_{LSS}$) (%)					
	LSDD		LSEO+1		LSEO-1	
	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey
1	0,2	-0,3	1,1	0,1	0,2	-0,1
2	1,0	1,2	1,0	0,2	0,1	0,3
3	0,5	0,2	0,8	-0,1	-0,6	0,3
4	0,3	-0,0	0,9	0,2	0,1	0,4

Ek tablo 5.2c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı drenajlı harçlarda, (B) katkılı şahite oranla ultra-ses hızı değişimleri

Ölçüm sevi.	Şahite oranla basınç dayanımı değişimleri ($\Delta f_c / f_{cKSS}$) (%)					
	KSDD	KSEO+1	KSEO-1	KSEO+0,5	KSEO-0,5	KSEO+1TD
1	14,7	20,1	16,5	24,6	25,0	18,8
2	12,2	17,4	12,6	19,1	26,5	13,5
3	11,8	15,8	10,1	21,5	24,6	18,4
4	11,7	17,1	13,3	16,7	22,1	22,9

Ek tablo 5.3a- Katkısız drenajlı harçlarda, katkısız şahite oranla basınç dayanımı değişimleri

Ölçüm sevi.	Şahite oranla basınç dayanımı de- ğişimleri ($\Delta f_c / f_{cCS}$) (%)				
	CDD	CEO+1	CEO-1	CEO+0,5	CEO-0,5
1	19,8	23,9	24,8	27,9	28,9
2	9,0	19,7	20,2	22,3	29,6
3	9,5	17,3	16,0	24,2	25,5
4	17,7	22,4	22,0	20,3	28,0

Ek tablo 5.3b- $Ca(OH)_2$ katkılı drenajlı harçlarda, $Ca(OH)_2$ katkılı şahite oranla basınç dayanımı değişimleri

Ölçüm sevi.	Şahite oranla basınç dayanımı değişimleri ($\Delta f_c / f_{cLSS}$) (%)		
	LSDD	LSEO+1	LSEO-1
1	20,2	32,3	38,4
2	18,1	29,4	36,3
3	18,1	25,6	35,2
4	25,4	36,0	46,2

Ek tablo 5.3c- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı drenajlı harçlarda, (B) katkılı şahite oranla basınç dayanımı değişimleri

Harç türü	Deneysel dayanım (N/mm ²)	Graf'a göre dayanım (N/mm ²)	Feret'e göre dayanım (N/mm ²)	$\frac{f_G - f_d}{f_d}$ (%)	$\frac{f_F - f_d}{f_d}$ (%)
LSDD	23,3	21,7	20,7	-6,9	-13,7
LSEO+1	25,5	22,1	20,7	-13,3	-18,8
LSEO-1	27,2	22,4	21,2	-17,6	-22,1
LSDD *	15,2	17,5	16,2	15,1	-6,6
LSEO+1 *	17,7	17,5	16,7	-1,1	-5,6
LSEO-1 *	17,5	18,5	16,5	5,7	-5,7

Ek tablo 5.4- Kalsiyum linyosulfonat (B) katkılı sertleşmiş harçlarda, (B) katkılı şahite göre hesaplanan K_G ve K_F katsayıları ile bulunan basınç dayanımları ve deneysel değerlerle karşılaştırma

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- (1) Gilkey J. H. , "Water-cement ratio versus strength another look" , ACI Journal , Vol.58 April 1961 , pp.1287-1311
- (2) Leonards G.A. , "Foundation engineering" , Mc Graw Hill Publishing , 1962
- (3) Neville A. M. , "Properties of concrete" , Pitmann publishing , London 1981
- (4) Powers T. C. , "Physical properties of cement paste" Proc. of the fourth int. symp. on the chemistry of cement , 1960 , pp.577-613
- (5) Powers T.C. , Copeland L. E. , Mann H. M. , "Capillary continuity or discontinuity in cement pastes" , Journal of the PCA Research Development Laboratories , Vol.1 , No.2 , May 1959 , pp.38-48
- (6) "Bleeding in concrete, a microscopic study" , ACI Journal, Vol 69 , 1972 , pp.209-211
- (7) King A. , Raffle J. F. , "Studies on the settlement of hydrating cement suspensions" , Journal Physics D. Applied Physics , Vol.9 , 1976 , pp.1425-1444
- (8) Witmann F. H. , "On the action of capillary pressure in fresh concrete" , Cement and Con. Research , Vol.6 , No.1 , 1976 , pp.49-56

- 9) Orchard D. F. , "Concrete technology" , Vol.1
John Wiley and Sons publishing , 1964
- 10) Murdock J. L. , Blackledge F. G. , "Concrete
materials and practice" , Edward Arnold Books
1968
- 1) Berkem R. A. , Baykut S. , "Fizikokimya" ,
İstanbul Üniversitesi yayınları , 1977
- 2) Creighton A. J. , "Elektro-kimya prensipleri
ve tatbikatı, Cilt I prensipler" , Çevirenler
Civaoğlu İ , Erben T. , İ.T.Ü. Kütüphanesi
YAYINLARI , 1969
- 3) Shreir L. L. , "Corrosion V I" , Editor Newnes-
Butterwoths , London , 1976
- 4) Gray H. D. , Mitchell K. J. , "Fundamental
aspects of electro-osmosis in soils" , J. of
the Ame. Soc. of Civ. Eng. Soil Mec. and
Found.Div. , Vol.93 , No SM6 , Pro. paper 5580
Nov. 1967 , pp.209-236
- 15) Türker F. , "Elektro-osmoz ve inşaat mühendis-
liği alanında uygulaması" , İ.D.M.M.A. Dergisi
sı , No7 , Ocak 1981 , s.152-164
- 16) Winterkorn H. F. , "The bearing of soil-water
interaction on water conduction under various
energy potentials" , Rilem Bulletin , No.27 ,
June 1965 , pp.87-92
- 17) Powers T. C. , "Properties of fresh concrete"

John Wiley and Sons publishing , 1968

- (18) Suzuki K. , Nichikawa T. , Kato K. , Hayashi H. , Ito S. , "Approach by zeta potential measurement on the surface change of hydrating C_3S " , Cement and Con. Research , Vol.11 , No.6 , 1981 , pp.759-764
- (19) Daimon M. , Roy D. M. , "Rheological properties of cement mixes: I. methods, preliminary experiments and adsorption studies" , Cement and Con. Research , Vol.8 , No.6 , 1978 , pp.753-764
- (20) Daimon M. , Roy D. M. , "Rheological properties of cement mixes: II. zeta potential and preliminary viscosity studies" , Cement and Con. Research , Vol.9 , No.1 , 1979 , pp.103-110
- (21) Akman M. Süheyl , "Akışkanlık artırıcı katkı maddelerinin Portland çimento harçlarına etkisi" , İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi , Teknik Rapor No.34 , Kasım 1978
- (22) Holmes W. J. , "Electro-osmosis and Civil engineer" , Civ. Eng. and Public Works Review May 1963 , pp.624-626
- (23) Witmann F. H. , Madra S. , Ferraris C. , "Essais Sur l'assèchement des murs a'l'aide de l'electro-osmose" , Chronique Des Materiaux De Construction , Vol.7 , 1982 , pp.21-26

- (24) Lomize G. M. , Netushil A. V. , Rhanitzin B. A. , "Electro-osmotic processes in clayey soils and dewatering during excavations" , Pro. of the fourth Int. Conf. on Soil Mec. and Found. Eng. , 1957 , pp.62-67
- (25) Karpoff K. P. "Stabilization of fine grained soils by electro-osmotic and electro-chemical methods" , Pro. Highway Research Board , Vol. 32 , 1953 , pp.526-540
- (26) Esrig I. M. , "Electro-kinetic stabilization of an illitic clay" , J. of the Ame. Soc. of Civ. Eng. Soil Mec. and Found. Div. , Vol.93 No SM3 , Pro. paper 5235 , May 1967 , pp.109-128
- (27) Endell K. , Hoffman U. , "Electro-chemical hardening of clayey soils" , Pro. of the first Int. Conf. on Soil Mec. and Found. Eng. , Vol.1 , 1936 , pp.273-275
- (28) Titkov N. I. , Korzhhev A. S. , Smolyaninov V. G. , Nikishin V. A. , Ya Neretina A. , "Electro-chemical induration of weak rocks" , Translation from Russian by Consultant Bureau New York , 1961
- (29) Chappel A. B. , Burton L. P. , "Electro-osmosis applied to an unstable embankment" , J. of the Ame. Soc. of Civ. Eng. Soil Mec. and Found. Div. , Vol.101 , No GI7 , Pro. paper 11495 ,

August 1975 , pp. 733-740

- (30) Esrig I. M. , "Pore pressure, consolidation and electro-kinetics" , J. of the Ame. Soc. of Civ. Eng. Soil Mec. and Found Div. , Vol. 94 , No SM4 , Pro. paper 6029 , July 1968 , pp. 899-921
- (31) Bjerrum L. , Moum J. , Eide O. , "Application of eletro-osmosis on a foundation problem in a Norwegian quick clay" , Geotechnique , Vol. 17 , 1967 , pp.214-235
- (32) Casagrande L. , "Electro-osmosis" , Pro. of the second Int. Conf. on Soil Mec. and Found. Eng. , V.I , 1949 , pp.218-223
- (33) Piaskowski A. , "Investigations on electro-osmotic flow in soils relation to different charasteristics" Pro. of the fourth Int. Conf. on Soil Mec. and Found. Eng. , 1957 , pp.89-92
- (34) Nicholls R. L. , Herbst R. L. Jr. , "Consolidation under electrical pressure gradients" , J. of the Ame. Soc. of Civ. Eng. Soil Mec. and Found. Div. , Vol.93 , No SM5 , Pro. paper 5483 , September 1967
- (35) "The effect of electrolysis on reinforced concrete" , Concrete , Vol.XLIV , July 1949 , pp.228-229
- (36) Pogany A. , "The improvement concrete strength

by electro-osmosis" , Civ. Eng. and Public Works Review , Vol.48 , No.568 , October 1953 pp.931-932

- (37) Pogany W , "The osmotic method of increasing strength" , Civ. Eng. and Public Works Review Vol.51 , No.606 , December 1956 , pp.1349-1351
- (38) "Electric moulding processes" , Concrete , Vol.62 , No.11 , November 1954 , pp.20-22
- (39) Taylor H.W. , "Concrete technology and practice" , American Elsevier publishing , 1965
- (40) Uyan M. , "Beton ve harçlarda kılcallık olayı" I.T.Ü. Doktora tezi , 1975
- (41) Whittington H. W. , Mc Carter J. , Forde M. C. "The conduction of electricity through concrete" , Mag. of Concrete Research , Vol.33 , No.114 , March 1981 , pp.48-60
- (42) Calleja J. , "New techniques in the study of setting and hardening of hydraulic materials" ACI Journal , Vol.49 , No.3 , March 1952 , pp.525-536
- (43) Tamas D. F. , "Electrical conductivity of cement pastes" , Cement and Con. Research , Vol.12 , No.2 , 1981 , pp.115-120
- (44) Türker F. , "Harç ve betonlarda elektriksel direncin zamana göre değişimi" , I.T.Ü. İnşaat Fakültesi Malzeme Seminerleri 1982

s.189-205

- (45) Odabaşı S. , "Elektriksel direnç ile çimento-
nun priz müddetinin saptanması" , Yıldız Üni-
versitesi Bitirme tezi , 1983
- (46) Cangil S. , "Harc ve betonda elektriksel diren-
cin zamana göre değişimi" , Yıldız Üniversi-
tesi Bitirme tezi , 1983
- (47) Bars P. , Camps J. P. , Debuigne J. , "Exemple
et application d'une méthode de mesure
d'impedance éelectrique d'unepaté de ciment
au cours de sa prise" , Materiaux et Construc-
tions , Vol.15 , No.85 , 1982 , pp.33-37
- (48) Oktar N. O. , "Bağlayıcı hamurun yapısının be-
tonun kısa süreli davranışındaki işlevi" ,
İ.T.Ü. Doktora tezi , 1977
- (49) Malinowski R. , Wenander H. , "Factors deter-
mining charasteristics and composition vacuum
dewatered concrete" , ACI Journal , Vol. 72 ,
No.3 , March 1975 , pp.98-101
- (50) Akyüz S. , "Betonun inelastik davranışının çat-
lak yüzeyi ile olan ilişkisi" , İ.T.Ü. İnşaat
Fakültesi Malzeme Seminerleri 1982 , s.15-27
- (51) Warris B. , "Effect of admixtures on the pro-
perties of fresh mortar and concrete" , Rilem
Bulletin , Vol.1 , No.2 , 1968 , pp.97-114

- (52) Kreijger P. C. , "Effect of surface active agents on the bleeding properties and on the heat of hydration of cement paste and mortar" Int. Symp. on Admixtures for Mortar and Concrete , 1967 , Topic III , pp.27-31
- (53) Birchall J. D. , Howard A. J. , Bailey J. E. "On the hydration of Portland cement" , Pro. Royal Soc. , London , A360 , 1978 , pp.445-453
- (54) Butt M. Y. , Topilskii G. V. , "Colloidal solutions formed during hydration of Portland cement and some methodological characteristics of their study" , Translated from Zhurnal Prikladnoi Khimii , Vol.46 , No.6 , June 1973 pp.1191-1195
- (55) Roberts H. M. , "Effect of admixtures on the composition on the phase and early hydration reactions in Portland cement pastes" , Int. Symp. on Admixtures for Mortar and Concrete , September 1967 , Topic II , pp.5-29

ÖZGEÇMİŞ

Fikret TÜRKER 1949 da Elazığ 'da doğdu.Pertevniyal lisesini bitirdikten sonra 1966 yılında İ.T.Ü. İn-
şaat Fakültesine girdi ve buradan 1972 yılında me-
zun oldu.1972-1976 yılları arasında çeşitli kuru-
luşlarda çalıştıktan ve askerlik görevini yaptı-
ktan sonra, 1976 yılında Yıldız Üniversitesi'ne a-
sistan olarak girdi.Halen aynı Üniversitede araş-
tırma görevlisidir.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi