



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

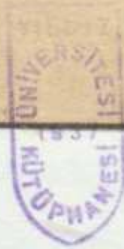
Sülfenli sul. çim. üzer. olumsuz et.

Doktora Tezi

Fatma Selçuk

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : R 361
Alındığı Yer : Fen Bil.Enst.
Tarih : 11.12.1990
Fatura :
Fiatı : 12.500 TL
Ayniyat No : 1/28
Kayıt No : 47391
UDC : 54 378.242
Ek :



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
D.B. No 45050

SÜLFATLI SULARIN ÇİMENTOLAR ÜZERİNDEKİ
OLUMSUZ ETKİLERİNİN ÖNLENMESİ

68

DOKTORA TEZİ

KİM. YÜK. MÜH. FATMA SELÇUK

İSTANBUL - 1988

TEŞEKKÜR

Çalışma konusunu veren tez yöneticim Sayın Doç.Dr.Selahattin Gökmen'e yönlendirme ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.Deneylerin hemen hemen tümünün gerçekleştirildiği İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Laboratuvarları grup sorumlusu Sayın Doç.Dr.Mehmet Uyan'a, gerek sağladığı çalışma ortamı gerekse değerli bilgileriyle yönlendirmelerinden dolayı teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımı okul dışında gerçekleştirebilmem için gerekli izni vermesinden ve gösterdiği her türlü anlayış ve destekten dolayı Bölüm Başkanımız Sayın Prof.Dr.Salih Dinçer'e teşekkür ederim.

X-Işınları Difraksiyonu diyagramlarını çeken ve diyagramların yorumlanmasında değerli bilgileriyle yardımcı olan Sayın Yrd.Doç.Dr.Yılmaz Taptık'a ve DTA diyagramlarını çeken Sayın Yrd.Doç.Dr.Saadet Özgümüş'e teşekkür ederim.

Çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan faktisin sağlandığı Bürosan İşletme Şefi Kim. Müh.Haluk Aksözen'e,faktisin sulu dispersiyonunun hazırlandığı Yarımca Petrokimya Satış Müdürlüğü Teknik Servis Şefi Kim.Müh.Kenan Tokay'a,deneysel çalışmalarımı yaptığım Yapı Laboratuvarları grubu elemanlarının tümüne gösterdikleri ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca,tezin kısa sürede daktilo edilmesi,düzenlenmesi ve çoğaltılmasındaki önemli katkılarından dolayı değerli arkadaşım Kim.Yük.Müh.Handan Aktürk'e ve değerli eşim Kim.Yük.Müh.Erkut Selçuk'a teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	IX
NOTASYON	XIII
ÖZET	XIV
SUMMARY	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ	1
1.2. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI	2
1.3. GENEL BİLGİLER	2
1.3.1. PORTLAND ÇİMENTOLARI TANIM VE SINIFLAMA	2
1.3.2. PORTLAND ÇİMENTOSUNUN KİMYASAL BİLEŞİMİ	3
1.3.3. PORTLAND ÇİMENTOSUNUN HİDRATASYONU	5
1.3.3.1. Kalsiyum Silikatların Hidratasyonu	5
1.3.3.2. Trikalsiyum Alüminatın Hidratasyonu	6
1.3.3.3. Tetrakalsiyum Alümino ferritin Hidratasyonu	9
1.3.3.4. Portland Çimentosunun Hidratasyonu	12
1.3.4. HİDRATE ÇİMENTO BİLEŞENLERİ VE X-IŞINLARI DİFRAKSİYONU İLE TANINMALARI	17
1.3.4.1. Hidrate Kalsiyum Silikatlar	17
1.3.4.2. Hidrate Kalsiyum Alüminatlar	19
1.3.4.3. Hidrate Kalsiyum Ferritler	20
1.3.4.4. Hidrate Kalsiyum Alüminat ve Ferrit Kompleks Tuzları	21
1.3.4.5. Sertleşmiş Portland Çimentolarının x-Işınları İncelemeleri	24

1.3.5. ÇİMENTO PASTASINA DTA'nın UYGULANMASI	31
1.3.6. PORTLAND ÇİMENTOSUNUN PRİZ VE SERTLEŞMESİ	35
1.3.7. SERTLEŞMİŞ PORTLAND ÇİMENTO PASTASININ FİZİKSEL YAPISI	37
1.3.7.1. Sertleşmiş Çimento Pastasının Gözenekli Yapısı	37
1.3.7.2. Sertleşmiş Çimento Pastasında Suyun Bulunuş Şekilleri	38
1.3.8. HACİM DEĞİŞİKLİKLERİ VE RÖTRE	39
1.3.9. SÜLFATLI SULARIN BETON VE HARÇLAR ÜZERİNE ETKİSİ	42
1.3.9.1. Sülfat Etkisi Mekanizmaları	42
1.3.9.2. Sülfat Çözeltilerinin Etkilerini Değerlendirmede Kullanılan Test Yöntemleri	48
1.3.9.3. Sülfatlı Suların Etkilerine Karşı Alınabilecek Önlemler	49
1.3.10. BETON KATKI MADDELERİ	51
1.3.10.1. Tanım, Sınıflandırma ve Kullanım Amaçları	51
1.3.10.2. Betonun Su geçirimsizliğini Azaltan Katkı Maddeleri	52
1.3.10.3. Beton Teknolojisinde Polimerlerin Kullanılması	54
1.3.11. FAKTİS (Factice)	56
1.3.11.1. Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları	56
1.3.11.2. Faktisin Yapay Sulu Dispersiyonlarının Hazırlanması	58
2. MATERYAL VE YÖNTEM	59
2.1. MALZEMELERİN TANIMLANMASI	59
2.1.1. AGREGA ÖZELLİKLERİ	59
2.1.2. ÇİMENTO ÖZELLİKLERİ	59
2.1.3. KATKI ÖZELLİKLERİ	60

2.2. HARÇ KARIŞIMLARI	61
2.2.1. KABUL EDİLEN İLKELER	61
2.2.2. KARIŞIMA GİRECEK MALZEME MİKTARLARININ SAPTAN-	62
MASI	
2.2.3. HARÇ ÜRETİMİ, KARIŞTIRMA, YERLEŞTİRME, SAKLAMA	62
2.3. NUMUNE BOYUT VE SAYILARI	64
2.4. DENEYLERİN TANIMLANMASI	65
2.4.1. KATKI MADDESİNİN PRİZ SÜRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ-	
NİN TAYİNİ	65
2.4.2. TAZE HARÇ DENEYLERİ	65
2.4.2.1. Kıvam Tayini	66
2.4.2.2. Birim Ağırlıkların Tayini	67
2.4.2.3. Hava Miktarının Hesaplanması	67
2.4.3. SERTLEŞMİŞ HARÇ DENEYLERİ	67
2.4.3.1. Eğilme ve Basınç Mukavemeti Deneyleri	67
2.4.3.2. Su emme, görünen boşluk oranı ve birim	69
ağırlık tayinleri	
2.4.3.3. Kılcallık Deneyleri	71
2.4.3.4. Boy Değişimi Deneyleri	72
2.4.3.5. Sülfat Dayanımı Deneyleri	73
2.3.4.5.1. Sülfat Etkisiyle Mekanik	75
Mukavemet Değişmelerinin	
incelenmesi	
2.3.4.5.2. Boy ve Ağırlık Değişimleri	75
Tayini.	
2.3.4.5.3. X-Işınları Difraksiyonu ve	
DTA İncelemeleri	75
3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR	77
3.1. KIVAM DENEYİ SONUÇLARI	77
3.2. PRİZ DENEYİ SONUÇLARI	78
3.3. TAZE HARÇ ÖZELLİKLERİ	79

3.4. SERTLEŞMİŞ HARÇ DENEY SONUÇLARI	83
3.4.1. EĞİLME VE BASINÇ MUKAVEMETLERİ DENEY SONUÇLARI	83
3.4.2. SU EMME, GÖRÜNEN BOŞLUK ORANI VE BİRİM AĞIRLIKLAR	90
3.4.3. KILCALLIK DENEYLERİ SONUÇLARI	92
3.4.4. HAVADA VE SUDA BEKLETME İLE BOY DEĞİŞMELERİ	104
3.4.5. SÜLFAT DAYANIM DENEYLERİ	108
3.4.5.1. Mukavemet Deneyleri	108
3.4.5.2. Boy ve Ağırlık Değişmeleri	118
3.4.5.3. X-Işınları Difraksiyonu Verileri ve DTA İncelemeleri	127
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	135
4.1. DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI	135
4.1.1. KATKI MADDESİNİN TAZE HARÇ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ	135
4.1.2. KATKI MADDESİNİN PRİZ ÜZERİNE ETKİSİ	136
4.1.3. KATKI MADDESİNİN EĞİLME VE BASINÇ MUKAVEMETLERİ ÜZERİNE ETKİSİ	136
4.1.4. KATKI MADDESİNİN SU EMME VE GÖZENEKLİLİK ÜZERİNE ETKİSİ	137
4.1.5. KATKI MADDESİNİN KILCALLIK ÜZERİNE ETKİSİ	138
4.1.6. KATKI MADDESİNİN BOY DEĞİŞMELERİ ÜZERİNE ETKİSİ	140
4.1.7. KATKI MADDESİNİN SÜLFAT DAYANIM ÜZERİNE ETKİSİ	141
4.2. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER	146
4.2.1. GENEL SONUÇLAR	146
4.2.2. ÖNERİLER	147
KAYNAKLAR	148
ÖZGEÇMİŞ	152



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Portland Çimentosunun ana bileşikleri	3
Çizelge 1.2. Tipik bir Portland çimentosunun oksit ve bileşenlerinin yüzde bileşimi	4
Çizelge 1.3. X-Işını Difraksiyonu yöntemi ile saptanmış pasta bileşikleri	8
Çizelge 1.4. X-Işını Difraksiyonu ile saptanmış pasta bileşikleri	11
Çizelge 1.5. Normal Portland çimentosunun pasta hidratasyonunda X-Işınları Difraksiyonu ve Elektron Mikroskopu yöntemi ile teşhis edilen bileşikler	13
Çizelge 1.6. Bazı önemli kalsiyum alüminat hidratların X-Işınları Difraksiyon verileri	19
Çizelge 1.7. Bazı Kalsiyum alüminat ve ferit kompleks tuzlarının X-Işınları Difraksiyon verileri	22
Çizelge 1.8. Hidrate çimento ıslak dilimlerinin ve yeniden ıslatılmış örneklerin X-Işınları Difraksiyon verileri	27
Çizelge 1.9. Hidratlaşmış çimentoların kurutulmuş toz örneklerinin X-Işınları Difraksiyon verileri	28
Çizelge 1.10. Doygun çimento pastasının bileşimi	39
Çizelge 2.1. Çimentonun fiziksel özellikleri	59
Çizelge 2.2. Çimentonun mekaniksel özellikleri (ortalama değerler)	60
Çizelge 2.3. Çimentonun kimyasal bileşimi (%)	60
Çizelge 2.4. Faktisin özellikleri	60
Çizelge 2.5. Şahit ve katkılı harçların bileşenleri	62
Çizelge 3.1. Su/Çimento oranı 0,5 olan katkısız ve katkılı harçların kıvam, birim ağırlık ve hesapla bulunan hava miktarları	77

Çizelge 3.2.	Katkısız ve katkılı çimento pastalarının priz başlama ve sona erme süreleri	79
Çizelge 3.3.	Taze harç özellikleri	80
Çizelge 3.4.	Taze harçların birim ağırlık ve hava miktarı değerleri	83
Çizelge 3.5.	Katkılı ve katkısız harçların eğilme mukavemetleri ve katkısız harca göre mukavemet oranları	83
Çizelge 3.6.	Katkısız harcın 28 günlük mukavemetine göre eğilme mukavemetleri oranları(%)	85
Çizelge 3.7.	Katkısız ve katkılı harçların basınç mukavemetleri ve katkısız harca göre mukavemet oranları	87
Çizelge 3.8.	Katkısız harcın 28 günlük mukavemetine göre basınç mukavemetleri oranları (%)	88
Çizelge 3.9.	Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş harçların su emme,görünen boşluk oranları ve birim ağırlıkları	90
Çizelge 3.10.	Suda kürlenmiş harçların su emme,görünen boşluk oranları ve birim ağırlıkları	91
Çizelge 3.11.	Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri	93
Çizelge 3.12.	Suda kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri	96
Çizelge 3.13.	Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş harçların difüzyon katsayısı değerleri	99
Çizelge 3.14.	Suda kürlenmiş harçların difüzyon katsayısı değerleri	100
Çizelge 3.15.	Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş harçlarda toplam boşluğa göre kılcal boşluk yüzdesi	101
Çizelge 3.16.	Suda kürlenmiş harçlarda toplam boşluğa göre kılcal boşluk yüzdesi	102
Çizelge 3.17.	Harçların havada bekletme ile boy değişim oranları (kuruma büzölmeleri)	105

Çizelge 3.18.	Harçların suda bekletme ile boy değişim oranları	106
Çizelge 3.19.	Destile suda bekletilen harçların eğilme mukavemetleri (N/mm^2)	109
Çizelge 3.20.	$0,35 M Na_2SO_4$ çözeltisinde bekletilen harçların eğilme mukavemetleri	109
Çizelge 3.21.	Destile suda bekletilen harçların basınç mukavemetleri (N/mm^2)	110
Çizelge 3.22.	$0,35 M Na_2SO_4$ çözeltisinde bekletilen harçların basınç mukavemetleri (N/mm^2)	110
Çizelge 3.23.	Destile suda bekletilen harçların boy değişim oranları	118
Çizelge 3.24.	$0,35 M Na_2SO_4$ çözeltisinde bekletilen harçların boy değişim oranları	119
Çizelge 3.25.	Destile suda bekletilen harçların ağırlık değişim oranları	123
Çizelge 3.26.	$0,35 M Na_2SO_4$ çözeltisinde bekletilen harçların ağırlık değişim oranları	124



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Tobermoritlerin çizgi olarak gösterilmiş tipik X-Işını toz diyagramları	18
Şekil 1.2.	Normal Portland çimentosu pastalarının X-Işınları diyagramının şematik gösterilişi	24
Şekil 1.3.	Farklı araştırmacılara ait çimento pastası termogramlarının karşılaştırılması	32
Şekil 1.4.	Farklı sürelerde hidratlaşmış çimento için DTA termogramları	32
Şekil 1.5.	%0,4-0,5-1,0-1,5-2,0-2,5-3,0-3,5 ve 4,0 oranında SO_3 içeren çimento pastalarının DTA eğrileri	34
Şekil 2.1.	Harçların karıştırıldığı RILEM Karıştırıcısı	63
Şekil 2.2.	Sarsma Tablası Aleti	66
Şekil 2.3.	Eğilme Mukavemeti Aleti	68
Şekil 2.4.	Basınç mukavemetlerinin tayin edildiği pres	69
Şekil 2.5.	Arşimet Terazisi	70
Şekil 2.6.	Boy ölçümlerinin yapıldığı alet	72
Şekil 2.7.	Sülfat etkisinin oluşturulduğu otomatik pH kontrollü düzenek	
	(a) : Üstten görünüş	
	(b) : Cepheden görünüş	74
Şekil 3.1.	Katkı oranına bağlı olarak kıvamın değişmesi	78
Şekil 3.2.	Katkı oranına bağlı olarak hava miktarı değişmesi	78
Şekil 3.3.	Priz süresinin katkı maddesinin oranına bağlı olarak değişmesi	79
Şekil 3.4.	Eğilme mukavemetlerinin katkı oranına bağlı olarak değişmesi	84
Şekil 3.5.	Eğilme mukavemetlerinin zamanla değişimi	85

Şekil 3.6. Eğilme mukavemetlerinin (katkısız harcın 28 günlük mukavemeti cinsinden), katkı oranına bağlı olarak değişimi	85
Şekil 3.7. Eğilme mukavemetlerinin (katkısız harcın 28 günlük mukavemeti cinsinden), zamana bağlı olarak değişimi	86
Şekil 3.8. Basınç mukavemetlerinin katkı oranına bağlı olarak değişimi	87
Şekil 3.9. Basınç mukavemetlerinin zamana bağlı olarak değişimi	88
Şekil 3.10. Basınç mukavemetlerinin (katkısız harcın 28 günlük mukavemeti cinsinden), katkı oranına bağlı olarak değişimi	89
Şekil 3.11. Basınç mukavemetlerinin (katkısız harcın 28 günlük mukavemeti cinsinden), zamana bağlı olarak değişimi	89
Şekil 3.12. Katkı oranına bağlı olarak su emme oranı değişimi	91
Şekil 3.13. Katkı miktarına bağlı olarak görünen boşluk oranı değişimi	92
Şekil 3.14. Difüzyon katsayılarının katkı oranına bağlı olarak değişimi	103
Şekil 3.15. Toplam boşluğa göre kılcal boşluk miktarının katkı oranı ile değişmesi	104
Şekil 3.16. Harçların havada bekletme ile boy değişimleri (kuruma büzölmeleri)	107
Şekil 3.17. Suda bekletilen harçların boy değişimleri	108
Şekil 3.18. Katkısız harcın eğilme mukavemetinin, destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi	111
Şekil 3.19. %0,3 katkılı harcın eğilme mukavemetinin, destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi	112
Şekil 3.20. %0,6 katkılı harcın eğilme mukavemetinin, destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi	112

Şekil 3.21. %1,0 katkılı harcın eğilme mukavemetinin, destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi	113
Şekil 3.22. %1,5 katkılı harcın eğilme mukavemetinin, destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi	113
Şekil 3.23. 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harçların eğilme mukavemetlerinin değişimi	114
Şekil 3.24. Katkısız harcın basınç mukavemetinin destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi	115
Şekil 3.25. %0,3 katkılı harcın basınç mukavemetinin destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi	115
Şekil 3.26. %0,6 katkılı harcın basınç mukavemetinin destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi	116
Şekil 3.27. %1,0 katkılı harcın basınç mukavemetinin destile su ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi	116
Şekil 3.28. %1,5 katkılı harcın basınç mukavemetinin destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi	117
Şekil 3.29. 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harçların basınç mukavemetlerinin değişimi	117
Şekil 3.30. Katkısız harcın destile su ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile boy değişimleri	120
Şekil 3.31. %0,3 katkılı harcın destile su ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile boy değişimleri	120
Şekil 3.32. %0,6 katkılı harcın destile su ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile boy değişimleri	121

Şekil 3.33. %1,0 katkılı harcın destile su ve $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ çözeltisinde bekletme ile boy değişimleri	121
Şekil 3.34. %1,5 katkılı harcın destile su ve $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ çözeltisinde bekletme ile boy değişimleri	122
Şekil 3.35. Harçların destile suda bekletme ile ağırlık değişimleri	125
Şekil 3.36. Harçların $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ çözeltisinde bekletme ile ağırlık değişimleri	126
Şekil 3.37. $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ çözeltisinde bekletilmiş katkısız örneğin DTA ve TGA eğrileri	130
Şekil 3.38. $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ çözeltisinde bekletilmiş %0,3 katkılı örneğin DTA ve TGA eğrileri	131
Şekil 3.39. $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ çözeltisinde bekletilmiş %1,0 katkılı örneğin DTA ve TGA eğrileri	132
Şekil 3.40. Destile suda bekletilmiş katkısız örneğin DTA ve TGA eğrileri	133
Şekil 3.41. Destile suda bekletilmiş %0,3 katkılı örneğin DTA ve TGA eğrileri	134

NOTASYON

- Y : Yayılma oranı, %
 Δ : Birim ağırlık, kg/m^3
 A : Hava miktarı, %
 m : Ağırlıkça su emme oranı, %
 B : Hacmen görünen boşluk oranı, %
 D' : Difüzyon katsayısı, cm^2/dak
 W_o : Etüv kurusu ağırlık, g
 Q_o : Yüzey ıslatma suyu, $\text{cm}^3/\text{cm}^2 = \text{cm}$
 Q : t zamanda emilen toplam su miktarı, $\text{cm}^3/\text{cm}^2 = \text{cm}$
 W_k : Kılcal doygun ağırlık, g
 W_d : Suyu doygun ağırlık, g
 σ : Mukavemet, N/mm^2
 Δl : Boy değişim oranı, %
 Δm : Ağırlık değişim oranı, %

ÖZET

Normal Portland çimentolarından yapılmış beton ve harçlar üzerine sülfat etkisiyle ortaya çıkabilecek tahribat,yapının geçirimliliğine oldukça bağlıdır.Bu nedenle yapılan çalışmada,sülfat etkisinin önlenmesi için kılcal geçirimliliğin azaltılmasına çalışılmış ve bu amaçla katkı maddesi olarak sentetik kauçuk tipi bir madde olan faktis kullanılmıştır.

Aynı kıvamda olan, %0,3 , %0,6 , %1,0 ve 1,5 oranlarında faktis içeren katkılı ve katkısız 1:3 lük harçlar hazırlanıp, su emme,kılcallık, sülfat dayanımı deneyleri yapılmıştır.Ayrıca,katkı maddesi olarak dene- nen faktisin,taze harç özellikleri(kıvam,birim ağırlık ve hava miktarı), mekanik mukavemetler,priz,suda ve havada bekletme ile boy değişimleri üzerindeki etkilerini incelemek için deneyler yapılmıştır.Mineralojik yapıdaki değişikliklerin incelenmesi için X-Işınları Difraksiyonu ve DTA yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Yapılan deneyler sonucu,katkı maddesinin prizi az da olsa geciktir- diği,kıvam ve hava miktarını artırdığı,mukavemetlerde %20 dolayında azalmaya neden olduğu,su emme ve kılcallığı önemli oranda azalttığı, suda ve havada bekletme ile ortaya çıkan boy değişimleri üzerinde önem- li bir etkisi olmadığı saptanmıştır.Yapılan sülfat dayanımı deneylerine göre kullanılan katkı maddesi faktisin,kılcal yolla su emmeyi azaltması nedeniyle,sülfat çözeltisinin harçlardaki olumsuz etkisini yavaşlat- tığı sonucuna varılmıştır.Ayrıca,X-Işınları Difraksiyonu incelemelerin- den,bu katkı maddesinin kullanılmasıyla mineralojik yapıda bir değişik- liğin olmadığı anlaşılmıştır.

Yapılan incelemeler ve alınan sonuçlar,faktisin betonun durabilite- sini artıran bir kütle hidrofüjü katkı maddesi olarak kullanılabilece- ğini ortaya koymuştur.



SUMMARY

The destruction due to sulfate effect that may occur on concrete and mortar made of Normal Portland cement is highly dependent on the permeability of the structure. For this reason, this work was done trying to decrease the capillar permeability so that to prevent the sulfate effect, and for this, factice, a synthetic rubber like material was used as an additive.

1:3 mortars with and without additive and containing %0,3 , 0,6 1,0 and 1,5 factice were prepared at the same consistency, and water absorption, capillarity and sulfate durability experiments were done. Also, experiments were done to observe the effects of the factice as an additive on the fresh mortar properties (consistency, unit weight and amount of air), mechanical strength, setting and changes in the length due to curing in water or air.

X-Ray Diffraction and DTA methods were used to observe the changes in the mineralogical structure.

As a result of the experiments done, it was determined that the additive retards by a little the setting, increases the consistency and the amount of air, causes the strength to decrease about 20%, doesn't have a great effect on the length changes and decreases water absorption and by a great degree the capillarity. By sulfate durability experiments it was determined that the additive slows down the actions of sulfate solution on mortars because of decrease in the capillar water absorption. The X-Ray Diffraction study showed that using the factice as an additive in mortar doesn't cause any change in mineralogical structure.

The general result of the work done is that factice can be used as an integral waterproofer in concrete.

1. GİRİŞ

1.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Bir betonun dayanıksızlığı çevreden ya da bizzat kendisinden kaynaklanır.Örneğin sülfat etkileri durumunda betonun dayanıksız olmasının nedeni sülfat çözeltilerinin etkisi(dış etki)veya betonun geçirimli olmasıdır(iç etki).

C₃A (trikalsiyum alüminat) içeriği yüksek (>%5) olan Portland çimentoları ile yapılmış geçirimli beton ve harçların sülfatlı çözeltilerin etkisi ile tahribatı,şişmesi,çatlakların oluşumu mukavemet kaybı ve bazen de dağılması şeklinde olmaktadır. Betonun bu tür dış etkilere dayanıklı olabilmesi için nisbeten geçirimsiz olması gerekmektedir.Nitekim,geçirgenlik ile sülfat etkisinin şiddeti arasında bir bağıntı olduğu saptanmıştır(1). Betondaki geçirimliliğe en fazla etkisi olan çimento pastasının geçirimliliğidir.Pastanın geçirimliliği ise,gözenekliliğin yanı sıra gözeneklerin boyut dağılımı ve sürekliliğine de bağlıdır ve yapıda sürekli ağ biçimindeki boşluk sistemini oluşturan kılcal gözeneklilik tarafından belirlenir.Bir betonun "iyi" diye nitelenebilmesi için sürekli kılcallığın en aza indirilmesi gerekmektedir.Bu amaçla,yüzey geçirimini azaltacak yüzey işlemlerine başvurulmakta veya bazı katkı maddeleri kullanılmaktadır(2,3,4).

Geçirimliliği azaltmak için kullanılan katkı maddelerinden,integral su geçirimsiz kılıcılar(kütle hidrofüjleri),bazı koşullarda,özellikle kılcal yolla su emmeyi azaltmakta etkili oldukları görülmüş ise de, geçirimlilik tamamıyla önlenememektedir.Bir takım yeni maddeler incelenmiş,fakat pek tatmin edici sonuçlar alınamamıştır.Bununla birlikte bazı tip kauçuk katkı maddelerinin su geçirmez kılıcı olarak kullanılabileceği ihtimali vardır(5).Son senelerde,bu amaçla,lateks katkı maddeleri kullanımı yaygınlaşmıştır(6).

Yapılan çalışmada,sülfat etkisinin önlenmesi için kılcal geçirimliliğin azaltılmasına çalışılmıştır.Bu amaçla,kimyasal yönden hemen hemen

tamamıyla inert,yapay kauçuk türü bir madde,FAKTİS kullanılmıştır. Literatürde,çimentoya katkı maddesi olarak faktisin katıldığı bir çalışmaya rastlanamamıştır.

1.2. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI

Yapılan çalışmada ana amaç,kılcal geçirimliliğin azaltılması ve bu yolla sülfatlı çözeltilerin etkilerinin önlenmesi olduğundan,kılcallık,su emme ve sülfat dayanımı deneyleri yapılmıştır.Kılcallık ve su emme deneylerinde bakım koşullarının etkisini de incelemek amacıyla örneklerle iki tür kür uygulanmıştır.Sülfat dayanımı deneyleri; örneklerin görüntü,boy ve ağırlık değişimlerinin incelenmesi ve mukavemet ölçümlerini kapsamaktadır. Ayrıca x-ışınları difraksiyonu ve DTA incelemelerine de yer verilmiştir.

Öte yandan,çalışmada kullanılan faktis,beton katkı maddesi olarak denendiğinden,hava miktarı,kıvam,priz(setleşme),eğilme ve basınç mukavemetleri ve rötre gibi bazı diğer özellikler üzerine etkisi de incelenmiştir.

1.3. GENEL BİLGİLER

1.3.1. PORTLAND ÇİMENTOLARI-TANIM VE SINIFLAMA

İnşaat endüstrisi bakımından çimento,taş,kum,tuğla,İNŞAAT blokları ve benzeri malzemeleri bir arada tutabilen bir bağlayıcıdır.Günümüzde farklı nitelikte çeşitli çimentolar üretilmekte ve kullanılmaktadır. Fakat,dünya tüketiminin en büyük kısmını Portland çimentoları özellikle de Normal Portland çimentoları oluşturmaktadır.

Portland çimentoları,kalkerli ve killi veya diğer silis,alümin ve demir oksit içeren maddelerin uygun bileşimini oluşturacak oranda karıştırılıp öğütülmesi ve sinterleşmeye kadar pişirilmesiyle elde edilen klinkerin,alçı taşı($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcılardır.

Kimyasal bileşim ve klinkerin öğütme inceliğinin değişmesiyle

farklı tipte Portland çimentoları oluşur.ASTM spesifikasyonları 5 tip Portland çimentosunu kapsamaktadır.Türk Standartları (7) ise Portland çimentolarını,

- I. Portland çimentosu (325) : PÇ 325
 - II. Portland çimentosu (400) : PÇ 400
 - III. Portland çimentosu (500) : PÇ 500
 - IV. Katkılı Portland Çimentosu(325):KPÇ 325
- olmak üzere 4 sınıfa ayırmaktadır.

1.3.2. PORTLAND ÇİMENTOSUNUN KİMYASAL BİLEŞİMİ

Portland çimentosunun üretiminde kullanılan hammaddelerde başlıca, kireç,silis,alümin ve demir oksit bulunmaktadır.Bunlar,fırında pişirme sırasında birbirleriyle reaksiyona girip bir dizi kompleks bileşikler oluştururlar.Reaksiyona girmeden kalmış bir miktar serbest kireç olması söz konusudur.Bunun %1'i aşması istenmez.

Portland çimentosunun ana oluşturanları olarak kabul edilen dört bileşik,bunların oksit bileşimleri ve kısa gösterilişleri çizelge 1.1 de yer almaktadır.

ÇİZELGE 1.1.: Portland çimentosunun ana bileşikleri

Bileşik Adı	Oksit Bileşimi	Kısa gösterilişi
Trikalsiyum silikat	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
β Dikalsiyum silikat	$\beta \text{ 2CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\beta \text{ C}_2\text{S}$
Trikalsiyum alüminat	$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetrakalsiyum alümino ferrit	$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Çizelge 1.1 de verilen ana bileşiklerin yanısıra,miktarları çimento ağırlığının yüzde birkaçını aşmayan MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O ve Na_2O gibi bileşikler de bulunmaktadır.Öte yandan,çimentodaki silikatlar saf

bileşikler olmayıp, klinkerde varolan bazı safsızlıkları da içermektedirler. Saf olmayan C_3S 'a alit, C_2S 'a ise belit denilmektedir. Ayrıca, C_4AF , bileşimi C_6AF_2 'den C_6A_2F 'e değişen bir katı çözeltidir.

Aslında çeşitli bileşiklerin fiili miktarları çimentodan çimentoya önemli oranda değişmektedir. Bu bileşiklerin yüzde miktarları genellikle Bogue'nin verdiği formüllere göre hesaplanmaktadır, fakat başka hesaplama yöntemleri de vardır(3). Çizelge 1.2 de tipik bir Portland çimentosunun oksit bileşimi ve bu çimento için Bogue formülleriyle bulunmuş bileşik yüzdeleri verilmektedir(8).

ÇİZELGE 1.2: Tipik bir Portland çimentosunun oksit ve bileşenlerinin yüzde bileşimi (8)

Oksit Bileşimi (%)		Hesapla bulunan bileşik bileşimi(%)	
CaO	63	C_3A	10,8
SiO_2	20	C_3S	54,1
Al_2O_3	6	C_2S	16,1
Fe_2O_3	3	C_4AF	9,1
MgO	1,5		
SO_3	2		
K_2O	1		
Na_2O			
Diğerleri	1		
Kızdırma kaybı	2		
Çözünmez kalıntı	0,5		

1.3.3. PORTLAND ÇİMENTOSUNUN HİDRATASYONU

Çimentonun su ile verdiği reaksiyonlara hidratasyon reaksiyonları, ürünlere de hidratlar denilmektedir. Portland çimentosunun hidratasyonu sırasındaki reaksiyonlar, çimentoda bulunan bileşiklerin yalnız başına iken verdikleri reaksiyonlara çok benzemektedir. Bu nedenle, önce bu bileşiklerin su ile yalnız başına iken verdikleri reaksiyonları ve hidratasyon ürünlerini incelemek yararlı olacaktır.

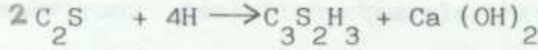
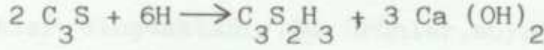
1.3.3.1. Kalsiyum Silikatların Hidratasyonu

Gerek C_3S ve gerekse C_2S nin su ile reaksiyonunda $Ca(OH)_2$ ve kalsiyum silikat hidrat jelleri oluşur. Bunlar, doğal mineral tobermorit ($C_5S_6H_5$)'e çok benzemektedirler. Fakat kristalize tobermorit'in x -ışını difraksiyon çizgilerinden sadece birkaçını gösteren oldukça kötü kristalize ürünlerdir. Genellikle "kötü kristalize tobermorit jeli" veya "tobermorit jeli" diye söz edilmelerine karşın, herhangi bir özel bileşimi vurgulamaksızın, kısaca "C-S-H jelleri" denilmesi tercih edilmektedir.

Adi sıcaklıklarda sentetik olarak elde edilebilen kalsiyum silikat hidratlar, C-S-H(I) ve C-S-H(II) dir. C-S-H(I), $CaO:SiO_2$ oranı 1' den 1,5'a değişen hidratı; C-S-H(II) ise $CaO:SiO_2$ oranı 1,5' dan 2,0' ye değişen hidratı simgelemektedir. Klaussek'e göre, C-S-H(I)'in bileşim aralığı 0,8' lik bir minimum $CaO:SiO_2$ oranına değişmektedir. Portland çimentosu pastalarında adi sıcaklıklarda oluşan kalsiyum silikat hidratlar yukarıda söz edilenlerden çok daha belirsiz yapıdadırlar.

Bileşimlerinin, hidratasyon derecesi, sıcaklık ve su/çimento oranı gibi faktörlere bağlı olarak değişen bir fazlar aralığını kapsamalarının yanı sıra, yapılarına çimentoda bulunan sülfat, alüminyum, demir, magnezyum ve alkali iyonları gibi diğer iyonlar girebilmektedir.

C-S-H(I) ve C-S-H(II),Portland çimentosunun hidratasyonunda oluşukları zaman afwillit'e ($C_3S_2H_3$)göre metastabil olabilmektedirler. Buna göre,hidratasyonlarının son ürününün $C_3S_2H_3$ olduğu varsayımı ile C_3S ve C_2S 'in hidratasyon reaksiyonları şöyle yazılabilir:



Görüldüğü gibi, C_3S 'in hidratasyonu olayında daha fazla miktarda $Ca(OH)_2$ oluşması dışında ürünler aynı olmaktadır.Bununla birlikte,iki reaksiyonun yürüyüşü farklıdır. C_3S ,su ile C_2S 'a göre daha hızlı reaksiyon verir.İlk anlarda, C_3S yüzeylerinde $CaO:SiO_2$ oranı 3 olan bir ürün oluşur ve kabuk şeklindeki bu ürün reaksiyonu geciktirir.Birkaç saat sonra söz konusu ürünün çözünüp yüzeyden uzaklaşmasıyla reaksiyon hızlanır ve $CaO:SiO_2$ oranı 1,5 veya daha az olan C-S-H(I) jeli oluşur. Bunun ardından,C-S-H(II) veya buna benzer kararlı bir ürünün oluşumu gelmektedir.Tamamıyla hidratlaşmış silikat,büyük bir ihtimalle bu son iki ürünü de içeren heterojen bir materyaldir ve $CaO:SiO_2$ oranı 1,4-1,6 dolayındadır.

$\beta-C_2S$ 'a suyun etkisi çok yavaştır ve yüzey kaplaması şeklindeki ilk ürünün $CaO:SiO_2$ oranı 2 dolayındadır.12 saat içinde bu ilk ürün, C-S-H(I)'e benzeyen ve $CaO:SiO_2$ oranı 1,1-1,2 arasında olan bir ürüne dönüşür.Daha sonra C-S-H(II)'ye benzeyen kararlı bir bileşik oluşur ve $CaO:SiO_2$ oranı giderek artarak 1 yıla doğru 1,65-1,80 son değerine ulaşır(3).

1.3.3.2. Trikalsiyum Alüminatın Hidratasyonu

Saf C_3A 'ın su ile reaksiyonu,ısı çıkaran bir reaksiyon olup,oldukça hızlıdır ve pastanın hemen katılaşmasına neden olur.Anı priz(flash set)denilen bu olayı önlemek için,çimento klinkerine %5'i aşmamak koşuluyla jips katılmaktadır.Bu nedenle, C_3A 'nın hidratasyonu jips var-

lığına ve miktarına bağlı olarak değişir.

Feldman ve Ramachandran(9) çeşitli sıcaklıklar ve hidratasyon süreleri için, C_3A örneklerinin hidratasyonunu DTA ile incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, su C_3A ile derhal reaksiyona girmekte ve C_3A taneciklerinin yüzeyinde doğrudan reaksiyon ile hegzagonal alüminat hidratlar oluşmaktadır. Bu ürünler, suyun C_3A 'a ulaşmasını kısıtlayarak reaksiyonu geciktirmektedirler. Hidratasyonun devamında daha büyük hegzagonal kristaller oluşabilmekte ve belirli bir devrede de C_3AH_6 ya dönüşmektedirler. Bu dönüşümle, tane yüzeyinden hegzagonal hidroalüminatların uzaklaştırılması sonucu reaksiyon hızlanmaktadır.

Jips, C_3A ile kalsiyum alüminat trisülfat ($C_3A.3CaSO_4.3H_2O$) veya kalsiyum alüminat monosülfat ($C_3A.CaSO_4.12H_2O$) oluşturmak üzere reaksiyona girer ($C_3A.3CaSO_4.3H_2O$ doğal mineral etringit'tir). Bu ürünlerden hangisinin ilk olarak oluştuğu konusu üzerinde tartışmalar varsa da şimdi genellikle önce etringitin oluştuğu kabul edilmektedir.

$CaO-Al_2O_3-CaSO_4$ sistemleri üzerindeki çalışmalardan çıkartılan sonuç, doymuş bir jips ve kireç çözeltisinde, C_3A 'ın önce kalsiyum alüminat trisülfatı oluşturduğu şeklindedir. Daha sonra bu bileşik tamamıyla $C_3A. \frac{1}{2}Ca(OH)_2. \frac{1}{2}CaSO_4.12H_2O$ katı çözeltisine dönüşebilir ve C_3A 'ın ilave bir hidratasyonu ile C_4AH_{19} veya C_3AH_6 oluşur. Eğer, jips kolayca katı çözeltiye girmezse veya C_3A yüzeyine yakın yerlerde yöresel sülfat konsantrasyonu değişimleri olursa, daha farklı davranışlar beklenebilir. Bu koşullar altında, düşük sülfatlı -katı çözelti ve hatta hidrata kalsiyum alüminatlar önce oluşup, ondan sonra $C_3A.3CaSO_4.3H_2O$ 'a dönüşebilir. Reaksiyonların bundan sonraki yürüyüşü önceki gibidir (3).

Gupta, Chatterji ve Jeffery (10) C_3A 'ın pasta hidratasyonunu, yalnız başına iken, kireç varlığında, jips varlığında ve hem kireç hem de jips varlığında sistematik olarak incelemişlerdir.



Çizelge 1.3 de bu çalışmanın x-ışını gözlemlerinin bir özeti verilmektedir.

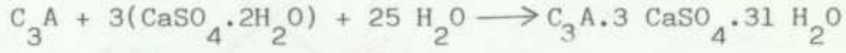
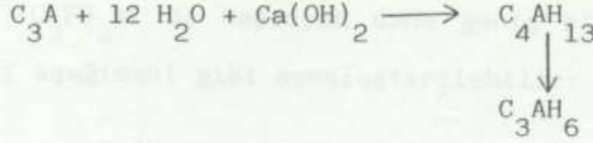
ÇİZELGE 1.3 : x-Işını Difraksiyonu Yöntemi ile
Saptanmış Pasta Bileşikleri(10).

Başlangıç Materyeli	24 Saat	14 gün	3 ay
$C_3A + H_2O$	$C_3A, C_2AH_8, C_4AH_{13}$ C_3AH_6	C_3AH_6, C_3A	C_3AH_6, C_3A
$C_3A + CaO + H_2O$	$C_3A, Ca(OH)_2, C_4AH_{13}$ C_3AH_6	$Ca(OH)_2, C_4AH_{13}$ C_3AH_6	$Ca(OH)_2, C_4AH_{13}$ C_3AH_6
$C_3A + \text{Jips} + H_2O$	$C_3A, CaSO_4 \cdot 2H_2O$ Etringit Monosülfat(eser)	$C_3A, \text{Etringit}$ (eser) Monosülfat	$C_3A \text{ Etringit}$ (eser) Monosülfat
$C_3A + \text{Jips} + CaO + H_2O$	$C_3A, Ca(OH)_2$ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ Etringit Monosülfat(eser)	$C_3A, Ca(OH)_2$ C_4AH_{13} Monosülfat	$C_3A, \text{Etringit}$ (eser) C_4AH_{13} Monosülfat

Sözü edilen çalışmalardaki bulgular, C_3A 'nın reaksiyonunun yürüyüşünü belirtmekte oldukça yararlı olsa da, çimentonun sınırlı miktarda su ile hidratasyonu sırasında neler olduğu konusunda kesin bir kanıt sağlayamamaktadır. Çünkü, bu olay sırasında çözeltideki iyonların hareketliliği kısıtlı olabilir. Ayrıca, kaçınılmaz olan atmosfer CO_2 'inin de işe karışması söz konusu olabilir(11). Bununla birlikte, C_3A 'ın hidra-



tasyon reaksiyonları şöyle gösterilebilir:



1.3.3.3. Tetrakalsiyum Alümino Ferrit'in Hidratasyonu

C_4AF şeklinde gösterilen ferrit fazının su ile reaksiyonu hemen başlamakta, fakat C_3A 'inkinden daha yavaş ilerlemektedir. Aşırı su içinde çabucak aşırı doygun bir kalsiyum alüminat çözeltisi oluşmaktadır. Oldukça az Fe_2O_3 bulunan bu çözeltiden C_2AH_8 veya çok benzer bir katı çözeltinin çökmesi beklenir.

C_4AF 'in hidratasyonunu su ile yalnız başına iken, kireç varlığında, jips varlığında ve hem kireç hem de jips varlığında inceleyen ve çalışmalarının x-ışını difraksiyon sonuçları çizelge 1.4 de özetlenmiş olan Chatterji ve Jeffery(12), su/solid oranı 0,6 olan pastalarda, ilave olarak $\text{C}_4\text{A} \cdot \text{aq}$ oluşumunu ve hegzagonal bir katı çözelti vermek üzere bir miktar Fe_2O_3 'ün buna karışmış olabileceğini gözlemişlerdir. 15°C nin üstündeki sıcaklıklarda bu faz, kolayca, $\text{C}_3\text{AH}_6 - \text{C}_3\text{FH}_6$ katı çözeltisine (hidrogarnet) dönüşmektedir. Doygun kireç çözeltisinde reaksiyon daha yavaştır ve bu durumda hegzagonal faz, $\text{C}_4\text{A} \cdot \text{aq} - \text{C}_4\text{F} \cdot \text{aq}$ katı çözeltisidir. Bu faz, 15°C nin üstündeki sıcaklıklarda $\text{C}_3\text{AH}_6 - \text{C}_3\text{FH}_6$ katı çözeltisine dönüşmektedir. Jips ve kirecin birlikte var olması, sülfoferrit hidrat ve sülfoalüminat hidrat katı çözeltisini vermektedir. Jips miktarı az ise, önce oluşan trisülfat katı çözeltisi daha sonra monosülfat katı çözeltisine dönüşmektedir.

Kopeland, Kantro ve Verbeck (13) de, sertleşmiş pastalardaki kübik ve hegzagonal hidratları, ferrit-alüminat katı çözeltileri olarak yorum-

rumlamaktadırlar. Oda sıcaklığında kübik trikalsiyum alüminat ve ferrit hidratlar arasında oluşan katı çözeltiler, grossularit garnet (C_3AS_3) ve andradit (C_3FS_3) i de kapsayan daha geniş bir serinin parçalarıdır. lar ve ilişki aşağıdaki gibi şemalaştırılabilir:



Şemada yer alan herbir uç üye diğer üçü ile, oranları Al_2O_3/Fe_2O_3 için 1:1 ve SiO_2/H_2O için 1:2 olmak üzere katı bir çözelti oluşturabilmektedir. (3,14)

Oldukça karmaşık olan C_4AF 'in hidratasyonunu basit formüllerle tam olarak ifade etmek mümkün olmasa da aşağıdaki denklemi yazabiliriz:



ÇİZELGE 1.4 : x-Işını Difraksiyonu ile Saptanmış Pasta Bileşikleri (12)

Saptanan Bileşikler	(C ₄ AF+H ₂ O) Serisi			(C ₄ AF+CaSO ₄ ·2H ₂ O+H ₂ O) Serisi			(C ₄ AF+Ca(OH) ₂ +H ₂ O) Serisi			(C ₄ AF+Ca(OH) ₂ +CaSO ₄ ·2H ₂ O+H ₂ O) Serisi		
	1gün	14 gün	3 ay	1 gün	14 gün	3 ay	1 gün	14 gün	3 ay	1 gün	14 gün	3 ay
C ₄ AF	6	4	2	7	4	2	6	4	2	7	6	5
Ca(OH) ₂	-	-	-	-	-	-	3	2	-	2	2	-
CaSO ₄ ·2H ₂ O	-	-	-	3	-	-	-	-	-	2	1	-
C ₄ AH ₄ x	eser	1	1	-	2	3	2	2	3	-	-	2
C ₃ A·CaCO ₃ ·xH ₂ O	3	2	2	-	-	-	3	3	3	-	-	-
C ₃ AH ₆ (hidrogarnet)	-	5	6	-	-	2	2	5	6	-	-	2
C ₂ AH ₂ x	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C ₃ A·3CaSO ₄ ·32H ₂ O	-	-	-	4	-	-	-	-	-	2	3	-
C ₃ A·CaSO ₄ ·13H ₂ O	-	-	-	-	5	5	-	-	-	-	-	3

* Çizelgede yer alan rakamlar, farklı bileşiklerin belirtilen zamanlardaki bağlı oranlarını göstermektedir.

1.3.3.4. Portland Çimentosunun Hidratasyonu

Çimentonun su ile hidratasyonu, her bir bileşenin su ile yaptığı reaksiyonlardır. Hidratasyon ürünlerinin çok erken devrelerden itibaren x-Işınları Difraksiyonu ile incelenmesi, ilk 5 saat sırasında reaktiflik sırasının $C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$ şeklinde olduğunu, oysa bir gün sonra, sülfat ile C_3A arasındaki reaksiyonun hemen hemen tamamlandığı devrede, reaktiflik sırasının $C_3S > C_3A > C_4AF > C_2S$ şeklinde olduğunu göstermiştir(15).

Greene(16), pasta hidratasyonu sırasındaki reaksiyonları DTA aracılığıyla izlemiş ve ilk ürünün etringit olduğu, fakat tüm jips reaksiyona girdikten sonra kalsiyum alüminat monosülfatın ortaya çıktığı sonucuna varmıştır.

Chatterji ve Jeffery(17), Alit, C_3A ve C_4AF karışımlarının, jips ve/veya NaOH varlığında ve bunlar yokken, pasta hidratasyonlarını Elektron Mikroskopu ve x-Işınları Difraksiyonu yöntemleriyle incelemişlerdir. Alınan sonuçlara göre, Portland çimentosuna su katılmasıyla birlikte olması beklenen reaksiyonlar şöyledir:

Su katılmasının hemen ardından etringitle birlikte C-S-H oluşacaktır. Etringit, jips yardımıyla reaksiyona girdikten sonra, monosülfat katı çözeltisine dönüşecektir. Ayrıca, 14 gün gibi bir devrede belirli miktarda C_4AH_x de oluşabilecektir.

Farklı tipte Portland çimentolarının pasta hidratasyonu incelemelerinin (18) normal Portland çimentolarıyla ilgili olan sonuçlarının bir özeti çizelge 1.5 de verilmiştir.

ÇİZELGE 1.5 : Normal Portland Çimentosunun Pasta Hidratasyonunda
x-ışınları Difraksiyonu ve Elektron Mikroskopu
Yöntemi ile Teşhis Edilen Bileşikler (18)

Yöntem	Hidratasyon Süresi			
	4 dakika	3 saat	24 saat	14 gün 3 ay
Elektron Mikroskopu	Küresel parti- küller+ Jips	Küresel parti- küller+C-S-H iğneleri+Bir miktar Etringit + Jips	C-S-H iğneleri +Etringit +Ca(OH) ₂	C-S-H iğneleri + Etringit + C ₄ AH ₄ x + Mg(OH) ₂ + Ca(OH) ₂
x-ışınları Difraksiyonu	-	-	Ca(OH) ₂ +Etringit	Etringit + Monosülfat + C ₄ AH ₄ x + C-S-H + Ca(OH) ₂

Bu çalışmaların sonuçlarına göre,çimentonun ilk devrelerdeki hidratasyonu şöyle resmedilmektedir:

Çimentoya su katıldıktan sonra,öğütme sırasında oluşabilen $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$,su ile jips vermek üzere reaksiyona girer.Alit de C-S-H iğnelerini veya onlara dönüşen ve kararlı olmayan küresel ürünleri vermek üzere hemen reaksiyona girer.3 saat gibi bir sürede etringit oluşmaya başlamaktadır.Tüm jips reaksiyona girdikten sonra,var olabilen karbonat,kalsiyum karboalüminat hidratını oluşturmaktadır.

Lea(3),portland çimentosunun hidratasyonunu aşağıda anlatıldığı gibi özetlemektedir:

Çimento su ile karıştırıldığında C_3A ve ferrit fazları hemen reaksiyon verirler.Çimentodaki jips süratle çözünmeye başlar ve alümin bileşikleri hidrate kalsiyum alüminat ve/veya sülfoalüminat olarak kristallenip ayrılırlar.Bu arada,orijinal tanecikleri saran amorf bir hidrate silikat ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kristallerinin oluşumu da söz konusudur.Çok kısa bir süre sonra sıvı faz,esas olarak aşağıdaki dengeye yönelen bir Ca,Na ve K'un hidroksit ve sülfatları çözeltisidir.



Burada M,Na ve/veya K'u göstermektedir.Sulu fazda Al_2O_3 ve SiO_2 çok az miktarlarda bulunmaktadır.İlk birkaç dakika sırasında çözeltinin bileşimi Ca^{2+} , SO_4^{2-} ve OH^- iyonları bakımından hızla değişir.Ancak bundan sonraki birkaç saatlik bir süre için,su/çimento oranına bağlı olan bir değerde nispeten sabit kalır.Bu anda katı fazda,hem $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ve hemen de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bulunmaktadır.Çözelti bu bileşikler yönünden doygun hatta aşırı doygun durumdadır. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hidrate çimentoda hemen hemen aynen kalır.Fakat jips,hidrate kalsiyum sülfoalüminatların oluşumunda harcanır ve genellikle,çimentoyu su ile karıştırmadan itibaren 10-24 saat içinde de sıvı faz $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yönünden aşırı doygun NaOH ve/veya KOH çözeltisi haline gelir.

C_3A 'ın jips ile reaksiyonunda ilk olarak etringit oluşacağı ge-

nellikle kabul edilse de, bu durum tamamıyla çözeltideki C_3A taneleri civarındaki $CaSO_4$ miktarına bağlıdır. Eğer çözeltinin sülfat derişimi her yerde aynı ve yeterli ise, önce etringit oluşur. Sülfat tükendiği zaman bu bileşik monosülfata veya onun C_4AH_{13} ile katı çözeltisine dönüşmeye başlar. Sınırlayıcı katı çözelti bileşimine ulaşıldıktan sonra, o bölgede kalan C_3A, C_4AH_{19} 'yu vermek üzere hidratlaşır. Bu bileşik daha sonra sıcaklığa bağlı olarak kübik C_3AH_6 ya dönüşebilir veya SiO_2 bağlayarak bir hidrogarnet oluşturabilir.

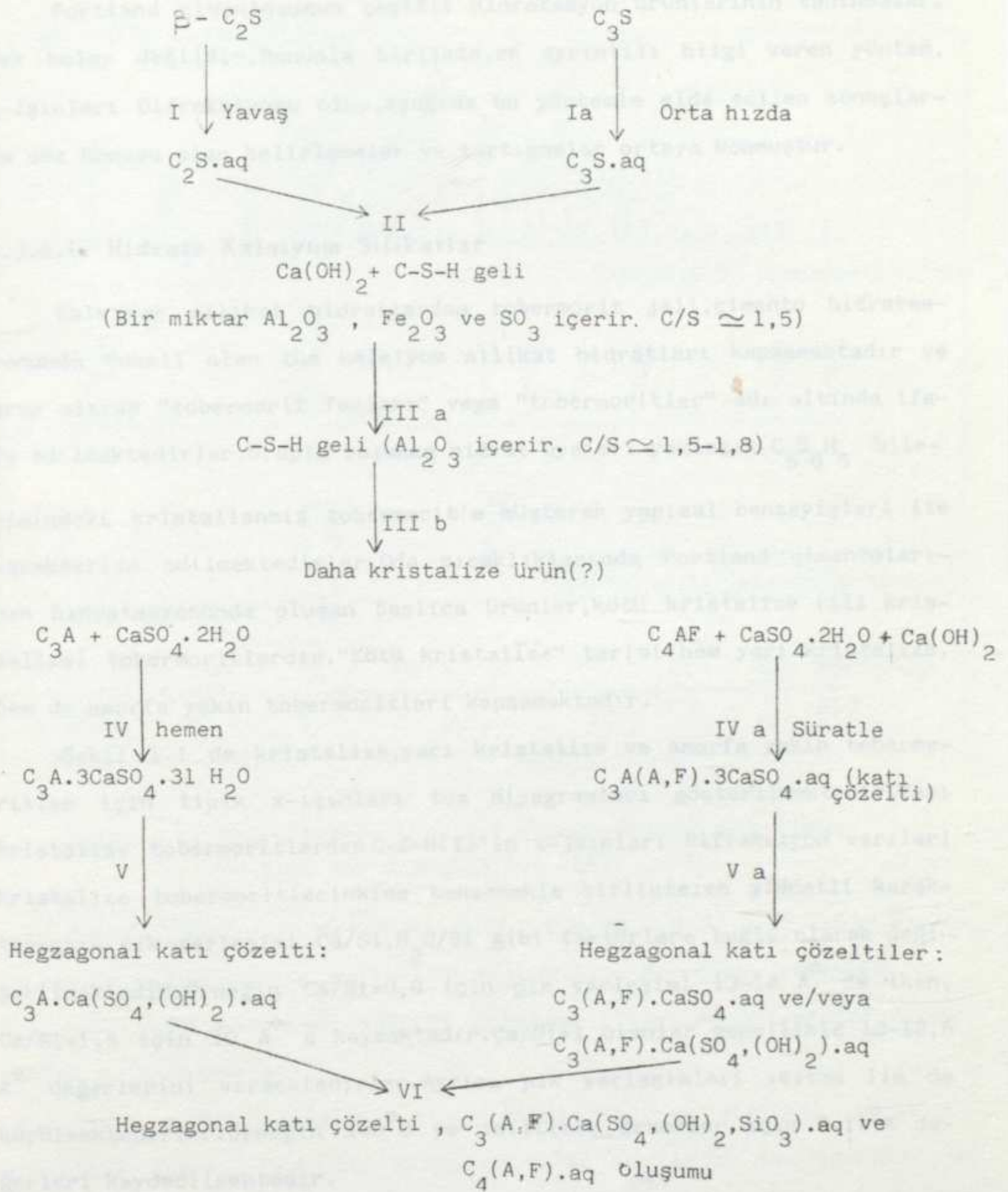
C_4AF , başlangıçta jips ve kireç ile yüksek sülfatlı bir sülfaloalüminat-sülfoferrit katı çözeltisini [$C_3(A,F).3CaSO_4.aq$] oluşturur. C_3A 'da olduğu gibi bu faz daha sonra, jips tükendiğinde düşük sülfatlı alüminoferrit katı çözeltisine ve/veya sülfat iyonlarının yerini hidroksit iyonlarının aldığı daha kompleks bir katı çözelti fazına dönüşür.

C-S-H gelinde başlangıçta bir miktar Al_2O_3, Fe_2O_3 ve $CaSO_4$ tutulabilir. Fakat, bunların içinde önemli miktarda ve sürekli olarak bu fazda bulunabilecek olan sadece Al_2O_3 'dir. Al_2O_3, Fe_2O_3 ve SiO_2 hidrogarnet fazına girerler. Arta kalan Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'in sonuçta $CaSO_4$ ile $C_3A.CaSO_4.12H_2O-C_4AH_{13}$ ve $C_3(A,F).CaSO_4.aq$ tiplerindeki hegzagonal katı çözeltiler halinde bulunması beklenir. Ayrıca, bu katı çözeltiye silikat grubu girmesi olasılığı da vardır.

Sertleşmiş çimentoda bir miktar karbonasyon söz konusu ise, ortaya çıkabilecek reaksiyonlardan biri, $C_3A. \frac{1}{2}Ca(OH)_2. \frac{1}{2}CaCO_3.aq$ ve etringit oluşumudur. Bazen ileri yaşlarda görülebilen -etringit bu reaksiyondan kaynaklanmış olabilir.

C_3S ve $\beta-C_2S$ 'in başlangıç ürünlerinin bileşimi yaklaşık $C_3S.aq$ ve $C_2S.aq$ dur. Fakat saatler alan bir süre içinde bunlar, $CaO:SiO_2$ oranı 1,5 dolayında olan bir C-S-H jeline dönüşürler. Jelin son bileşimi, çimentoya, su/çimento oranına ve sıcaklığa bağlı olarak 1,5'dan 1,8'e değişmekte ve bulunabilecek diğer oksitlerin miktarına da bağlı olmaktadır. Son ürünün afwillit ($C_3S_2H_3$) olup olmadığı halen tartışma konusudur.

Anlatılanların ışığı altında Portland Çimentosunun hidratasyonu
sırasındaki reaksiyonları aşağıdaki gibi şemalaştırabiliriz.



Al_2O_3, Fe_2O_3 ve SiO_2 içeren hidro garnet



1.3.4. HİDRATE ÇİMENTO BİLEŞENLERİ VE X-IŞINLARI DİFRAKSİYONU İLE TANINMALARI

Portland çimentosunun çeşitli hidratasyon ürünlerinin tanınmaları pek kolay değildir. Bununla birlikte, en ayrıntılı bilgi veren yöntem, x-Işınları Difraksiyonu olup, aşağıda bu yöntemle elde edilen sonuçlar da söz konusu olan belirlemeler ve tartışmalar ortaya konmuştur.

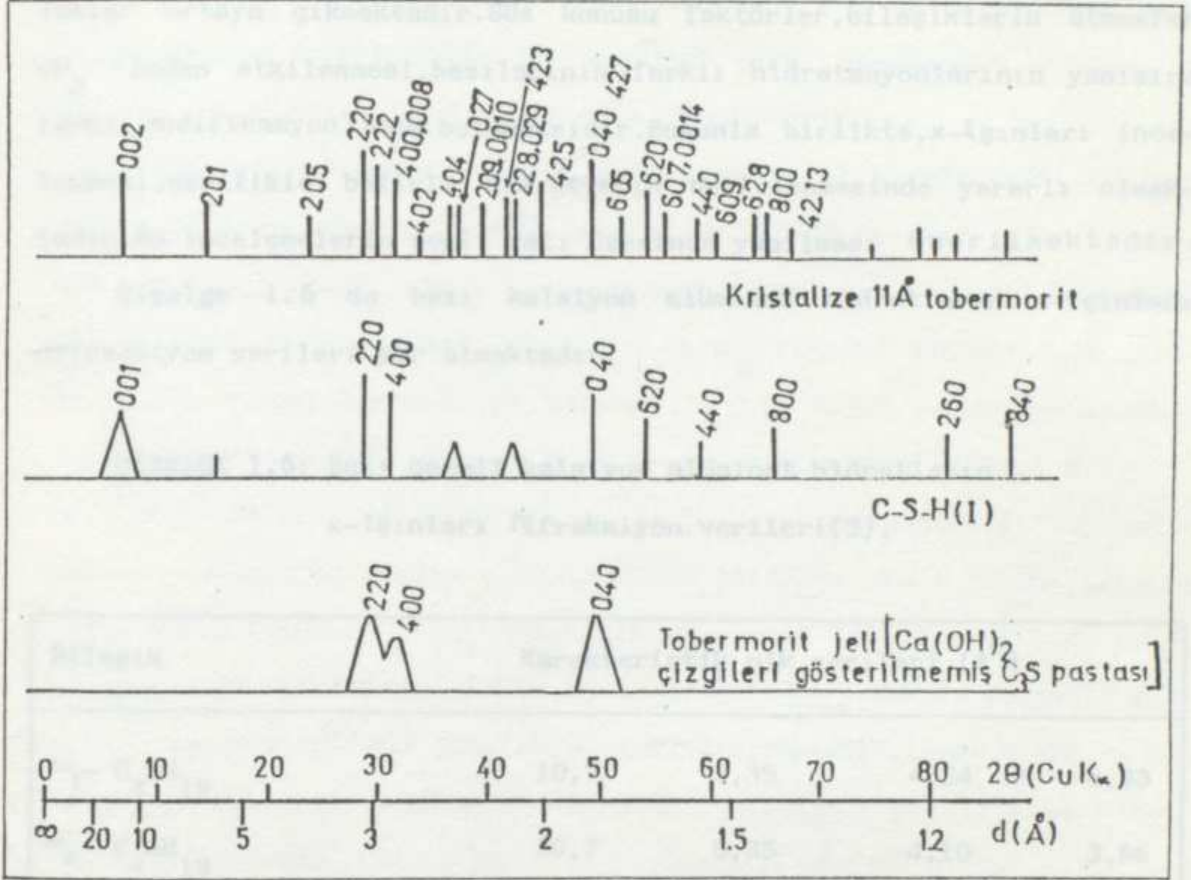
1.3.4.1. Hidrate Kalsiyum Silikatlar

Kalsiyum silikat hidratlardan tobermorit jeli, çimento hidratasyonunda önemli olan tüm kalsiyum silikat hidratları kapsamaktadır ve grup olarak "tobermorit fazları" veya "tobermoritler" adı altında ifade edilmektedirler. Grupta bulunan hidrat üyeleri yaklaşık $C_5S_6H_5$ bileşimindeki kristallenmiş tobermorit'e müşterek yapısal benzeyişleri ile karakterize edilmektedirler. Oda sıcaklıklarında Portland çimentolarının hidratasyonunda oluşan başlıca ürünler, kötü kristalize (ilki kristalize) tobermoritlerdir. "Kötü kristalize" terimi hem yarı kristalize, hem de amorfa yakın tobermoritleri kapsamaktadır.

Şekil 1.1 de kristalize, yarı kristalize ve amorfa yakın tobermoritler için tipik x-ışınları toz diyagramları gösterilmektedir. Yarı kristalize tobermoritlerden C-S-H(I)'in x-Işınları Difraksiyon verileri kristalize tobermoritlerinkine benzemekle birlikte; en şiddetli karakteristik pik yerleşimi $Ca/Si, H_2O/Si$ gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin $Ca/Si=0,8$ için pik yerleşimi $13-14 \text{ Å}^\circ$ de iken, $Ca/Si=1,5$ için 10 Å° e kaymaktadır. $Ca/Si=1$ olanlar genellikle $12-12,5 \text{ Å}^\circ$ değerlerini vermektedirler. Ayrıca pik yerleşimleri ısıtma ile de küçülmektedirler. Örneğin $100^\circ C$ ye ısıtılmış örnekler için $9-11 \text{ Å}^\circ$ değerleri kaydedilmektedir.

C-S-H(II)'nin bazı çeşitleri çok kötü kristalizedirler ve bunlarla "amorfa yakın" olarak tanımlanan tobermoritleri birbirinden ayıran kesin bir çizgi yoktur. x-ışını diyagramları C-S-H(I) inkine benzemekle

birlikte daha az belirgindir. Eğer görülebilirse, en şiddetli karakteristik pik genellikle $9,9-10,6 \text{ Å}^\circ$ arasındadır.



ŞEKİL 1.1: Tobermoritlerin çizgi olarak gösterilmiş tipik x-ışını toz diyagramları (14).

Amorfa yakın tobermoritler, $3,05$, $2,8$ ve $1,8 \text{ Å}^\circ$ olan 1 ile 3 çizgi veya banttıan oluşmuş x-ışınları Difraksiyon diyagramı vermektedirler. Oda sıcaklıklarında hidrate Portland çimentosunun verdiği diyagramlar bu tiptedir(14).

Başta kötü kristalize olmak üzere, kalsiyum silikat hidratlar, özellikle ıslak oldukları zaman atmosfer CO_2 'inden etkilenmekte ve sonuçta CaCO_3 ve amorf SiO_2 'e dönüşüm söz konusu olabilmektedir. CO_2 etkisi ile oluşan CaCO_3 , ya kalsit ya da valerit'tir.

1.3.4.2. Hidrate Kalsiyum Alüminatlar

Bazı faktörler nedeniyle bu bileşiklerin incelenmesinde bazı güçlükler ortaya çıkmaktadır. Söz konusu faktörler, bileşiklerin atmosfer CO_2 'inden etkilenmesi, bazılarının farklı hidratasyonlarının yanısıra farklı modifikasyonlarda bulunmasıdır. Bununla birlikte, x-Işınları incelenmesi, özellikle belirli hidratların belirlenmesinde yararlı olmaktadır. Bu incelemelerin nemli katı üzerinde yapılması önerilmektedir.

Çizelge 1.6 da bazı kalsiyum alüminat hidratların x-ışınları difraksiyon verileri yer almaktadır.

ÇİZELGE 1.6: Bazı önemli kalsiyum alüminat hidratların x-Işınları Difraksiyon verileri(3).

Bileşik	Karakteristik pik verileri ($\text{\AA}^\circ$)			
$\alpha_1 - C_4AH_{19}$	10,7	5,35	4,24	3,93
$\alpha_2 - C_4AH_{19}$	10,7	5,35	4,10	3,66
$\alpha - C_4AH_{13}^*$	8,2	4,10	3,88	2,88
$C_4AH_{13}^{**}$	8,2	4,10		
$\beta - C_4AH_{13}$	7,9	3,95	2,88	2,86
C_3AH_6	5,13	4,45	3,36	3,14
$\alpha_1 - C_2AH_8$	10,7	5,36	4,10	3,96
$\alpha_2 - C_2AH_8$	10,7	5,36	2,89	2,87
$\beta - C_2AH_8$	10,5	5,24	3,49	2,87

* Muhtemelen karbonat içeren bir kuarterner hidrat

** Varlığı şüpheli

C_2AH_8 'in α_1, α_2 ve β ile belirtilen üç modifikasyonu vardır. $\beta-C_2AH_8$ kararlı olmayıp α_1 formuna dönüşmektedir ve bu ikisinin en şiddetli pik yerleşimleri çok az değişiklik göstermektedir.

Kübik $C_3AH_6, CaO-Al_2O_3-H_2O$ sisteminde, $20^\circ C$ 'den $225^\circ C$ 'ye kadar olan sıcaklıklarda kararlı olan tek alüminat olup hegzagonal kalsiyum alüminat hidratlardan dönüşüm yoluyla oluşmaktadır.

Roberts(19)'e göre, C_4AH_x formülüne sahip en azından altı bileşik vardır. $25^\circ C$ de ana çözelti ile yarı kararlı dengede olan hidrat, C_4AH_{19} dur. Bunun, α_1 ve α_2 olmak üzere iki modifikasyonu vardır. Başlangıçta oluşabilen α_1 formu kararlı değildir ve α_2 formuna dönüşür. C_4AH_{19} , vakumda, oda sıcaklıklarında ve %12-81 lik bir bağıl nemde bekletmeyle C_4AH_{13} 'e dönüşmektedir. Roberts, C_4AH_{13} için en şiddetli pikleri $8,2 A^\circ$ ve $7,9 A^\circ$ de olan ve sırasıyla α ve β diye isimlendirdiği iki polimorfun varlığından söz etmektedir. Bununla birlikte, $\alpha-C_4AH_{13}$ ün, aslında hafif CO_2 bulaşması sonucu oluşan bir kuarterner bileşik, $C_4A \cdot \frac{1}{2}CO_2 \cdot 12H_2O$ olduğu iddia edilmektedir(20). Buna göre, C_4AH_{13} ün en şiddetli piki $7,9 A^\circ$ de olan tek bir polimorfu olmalıdır. Yapısal olarak, C_4AH_{13} 'e çok benzeyen bir diğer kuarterner karbonat bileşiği, doğal mineral hidrokalumit ($C_4A \cdot 1/4CO_2 \cdot 12H_2O$) dir.

1.3.4.3. Hidrate Kalsiyum Ferritler

Hidrate kalsiyum ferritlerden C_3FH_6 ile ilgili çelişkili açıklamalar vardır. Fakat genellikle C_3AH_6 ile izomorf ve onunla tam bir katı çözeltiler serisi veren kübik bir C_3FH_6 nin var olduğu düşünülmektedir. C_3FH_6 nin saf olarak hazırlanamaması, bu yapının bir miktar da SiO_2 bulunmazsa kararlı olmayacağı sonucunu doğurmuştur. Böyle bir yapı, $C_3FH_6-C_3FS_3$ hidrogarnet serisinin bir üyesi olmaktadır.

C_4AH_{13} 'e karşılık gelen hegzagonal hidratların (C_4FH_x) varlığı genellikle kabul edilmektedir. Su içerikleri tam olarak saptanamamış olan bu bileşikler, x-ışını difraksiyon grafiklerinde, tetrakalsiyum alüminat hidratlarıinkiyle hemen hemen aynı yerlerde karakterize edilmektedir.

Tetra kalsiyum alüminat ve ferrit hidratlar arasında, $C_4AH_x - C_4FH_x$ katı çözeltiler serisi bulunmakta olup, bu kübik $C_3AH_6 - C_3FH_6$ serisine göre yarı kararlıdır.

1.3.4.4. Hidrate Kalsiyum Alüminat ve Ferrit Kompleks Tuzları

Çok sayıda organik ve anorganik anyon, kireç, alümin ve su ile uygun koşullar altında kuarternier hidratları vermek üzere birleşirler (21). Bu bileşikler, iki ampirik formül serisi ile gösterilebilirler:



Burada X: İki değerlikli bir anyon

Y: Bir değerlikli bir anyon

m: 30-32

n: 10-12 dir.

Bazı anyonlar ile her iki seri hidratları elde edilebilmekte, diğerleri ise sadece II. seri hidratları vermektedirler. Ayrıca çoğu kez, Al_2O_3 yerini Fe_2O_3 alabilmektedir. Çimento kimyası için önemli olan kompleks tuzlar, sülfat, karbonat, klorür ve silikat içerenler olup, bu bileşiklerin bağlıcalarının x-ışınları difraksiyon verileri Çizelge 1.7 de verilmektedir.

ÇİZELGE 1.7 : Bazı kalsiyum alüminat ve ferrit kompleks tuzlarının x-ışınları difraksiyon verileri(3)

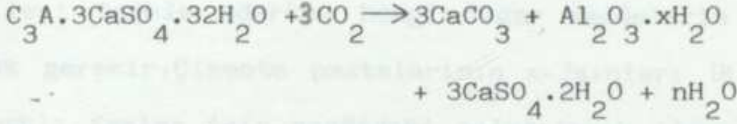
Bileşik	Karakteristik pik verileri (Å ^o)			
$C_3A.3CaSO_4.31 H_2O$	9,7	5,61	4,70	3,88
$C_3A.CaSO_4.12 H_2O$ *	9,6	4,78	3,75	2,87
$C_3A.CaSO_4.12 H_2O$	9,0	4,48	4,00	2,87
$C_3A.CaSO_4.10 H_2O$	8,2			
$C_3F.3CaSO_4.31 H_2O$	9,8	5,62	4,81	3,95
$C_3F.CaSO_4.12 H_2O$	9,0	4,45	4,05	2,94
$C_3A.3CaCO_3.30 H_2O$	9,4	5,43	4,62	3,80
$C_3A.CaCO_3.11 H_2O$	7,6	3,80	2,86	
$C_4A.\frac{1}{2}CO_2.12 H_2O$	8,2	4,10	3,88	2,88

* Su içeriği kesin değil

Kalsiyum Sülföalüminatlar

Portland çimentosu klinkerine priz geciktirici olarak katılan jips,susuz alüminatlar ile formülleri $C_3A.3CaSO_4.31-32 H_2O$ ve $C_3A.CaSO_4.12 H_2O$ olan iki alüminat sülfat hidratı vermek üzere reaksiyona girer. $C_3A.3CaSO_4.31-32 H_2O$,ilk kez 1890 da Candlot tarafından gözlenmiş olup doğada etringit mineralı olarak bulunmaktadır.Sülfat çözeltilerinin harç ve betonlar üzerine etkisi sonucu da olduğundan, bazen "çimento basili" de denilmektedir.Suda,alümin jeli,jips ve $Ca(OH)_2$ ayrılmasıyla çözünür,fakat 35 mg. CaO /l,215 mg Al_2O_3 /l ve 43mg SO_3 /l'yi geçen konsantrasyonlarda kireç,jips veya her ikisini birden içeren çözeltilerde çözünürlük çok düşüktür ve bu nedenle parça-

lanma da hemen hemen durmuştur. Bileşik, Na_2SO_4 , NaCl , NaNO_3 veya CaCl_2 ün sulu çözeltileri ile temasta mevcut kalabilir. Fakat, MgSO_4 ve alkali karbonat çözeltileri ile parçalanmaktadır. CO_2 ile aşağıdaki reaksiyonun olduğu bulunmuş ve bu x-ışınları Difraksiyonu ile doğrulanmıştır(14).



Monosülfat hidratın, farklı x-ışınları diyagramı veren çeşitli modifikasyonlarından üçü 10,3-9,6 ve 9,0 Å' luk değerleri ile karakterize edilmektedir. 9,0 Å çizgisinin $\text{C}_3\text{A}.\text{CaSO}_4.12\text{H}_2\text{O}$ 'ya karşılık geldiği kabul edilmektedir. Bunun saf olarak elde edilmesi güçtür. Çünkü C_4AH_{13} ile katı çözeltiye girer. Sınırlı bir bileşim aralığındaki katı çözeltiler serisinde en şiddetli karakteristik pik, 8,96 Å'e doğrusal olarak değişmektedir. 8,77 Å, sınırlayıcı katı çözeltiye ait olup bileşimi, $\text{C}_3\text{A}.\frac{1}{2}\text{Ca}(\text{OH})_2.\frac{1}{2}\text{CaSO}_4.12\text{H}_2\text{O}$ şeklindedir. Hafif bir karbonasyon olması halinde, karbonat ve sülfat içeren katı çözeltiler oluşumu olasılığı vardır. x-ışınları Difraksiyon diyagramlarında bazen görülen 8,3-8,5 Å pikleri bu tür bir katı çözeltiden kaynaklanabilir(3).

Kalsiyum Karboalüminatlar:

Normal sıcaklıklarda %33 bağıl nemde dengedeki hidratın formülü, $\text{C}_3\text{A}.\text{CaCO}_3.11\text{H}_2\text{O}$ dur ve bunun en şiddetli karakteristik piki 7,6 Å'dir. Bu bileşik, CO_2 etkisinin sürmesi ile CaCO_3 ve alümin jeline parçalanmaktadır.

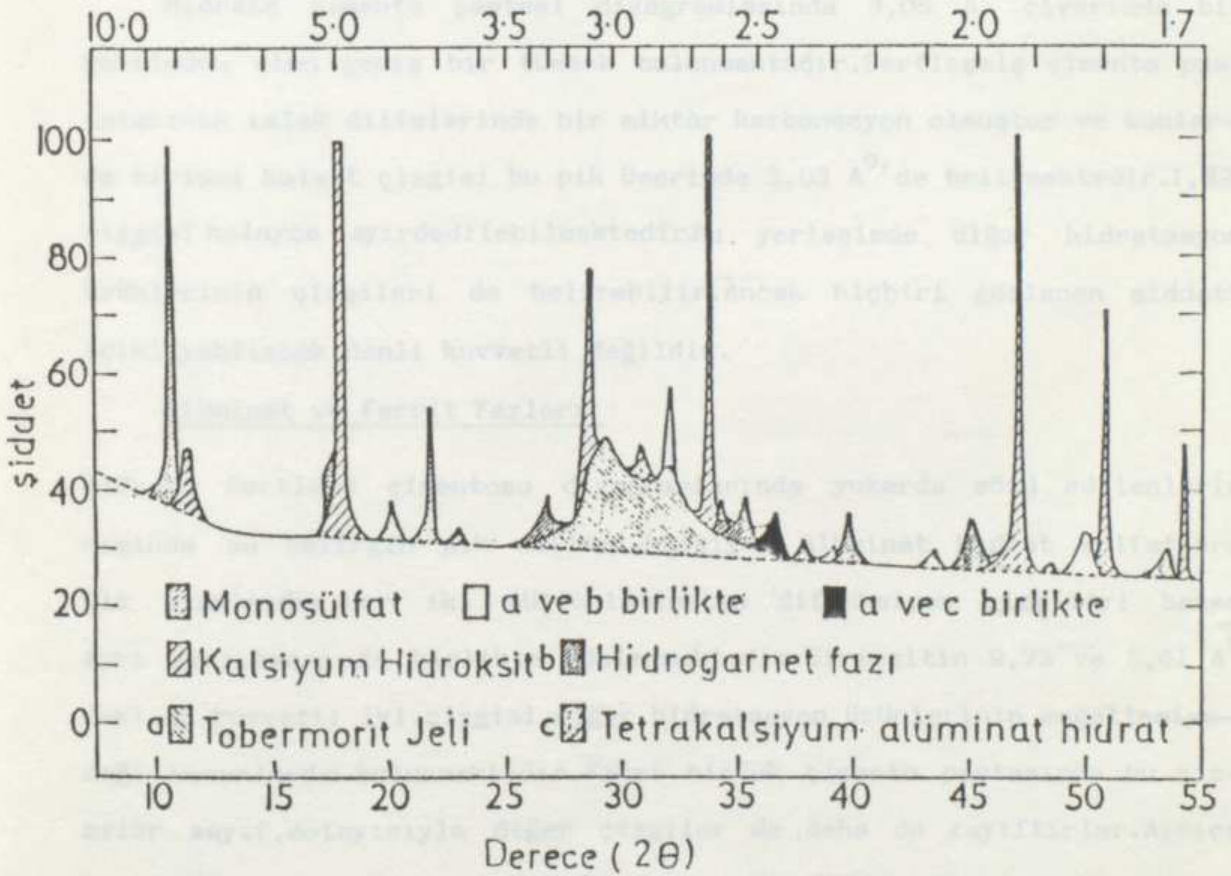
$\text{C}_3\text{A}.3\text{CaCO}_3.32\text{H}_2\text{O}$ formülündeki hegzakalsiyum alüminat trikarbonatın, x-ışınları difraksiyon verileri etringitinkine çok benzemekte olup, şiddetli çizgileri 9,41-3,80-2,70 ve 2,51 Å'dır.

Hidrokalumit ve $\alpha\text{-C}_4\text{AH}_{13}$ 'den daha önce 1.3.4.2 de söz edilmişti.

1.3.4.5. Sertleşmiş Portland Çimentolarının x-Işınları İncelemeleri

Hidrate bir çimento pastasının x-ışınları difraksiyon verileri hidratasyon ürünleri karışımının kompleksliğini yansıtmaktadır. Difraksiyon çizgilerinin büyük bir kısmı çakışabilmektedir ve bu nedenle çizgileri teşhis ederken hangi diğer maddelerin işe karışabileceğini bilmek gerekir. Çimento pastalarının x-Işınları Difraksiyon incelemeleri, farklı fazlar için aşağıdaki anlatılacak olan bulguları ortaya koymuştur(14).

Şekil 1.2'de Normal Portland çimentosu pastasının x-Işınları Difraksiyon diyagramı şematik olarak gösterilmektedir.



ŞEKİL 1.2: Normal Portland çimentosu pastalarının x-Işınları

Diyagramının şematik gösterilişi

Silikat Fazları :

Hidratlaşmış çimento pastalarının x-ışınları difraksiyon verileri saf C_2S ve C_3S pastalarınıninkine çok benzemektedir. Hidrate C_3S ve C_2S pastalarının diyagramlarında tobermorit'in kuvvetli çizgileri olan 3,05-2,8 ve 1,83 A° deki üç difraksiyon çizgilerinin yanısıra, $Ca(OH)_2$ in tüm çizgileri de bulunmaktadır. Aynı durum, hidrate çimento pastaları için de geçerlidir. Ancak çok ufak farklılıklar vardır. Örneğin, saf C_3S ve C_2S pastalarının 2,82 A° deki çizgileri çimento pastalarında 2,78 A° kaymıştır. Bu kayma, aynı yerleşimlerde diğer hidratasyon ürünlerinin (alüminat sülfat ve alüminat hidratlar) çizgilerinin bulunmasından dolayı olabilir.

Hidrate çimento pastası diyagramlarında 3,05 A° civarında bir maksimumu olan geniş bir tümsek bulunmaktadır. Sertleşmiş çimento pastalarının ıslak dilimlerinde bir miktar karbonasyon olmuştur ve bunlarda birinci kalsit çizgisi bu pik üzerinde 3,03 A° de belirmektedir. 1,82 A° çizgisi kolayca ayırtedilebilmektedir. Bu yerleşimde diğer hidratasyon ürünlerinin çizgileri de belirebilir. Ancak hiçbirisi gözlenen şiddeti açıklayabilecek denli kuvvetli değildir.

Alüminat ve Ferrit Fazları:

Hidrate Portland çimentosu diyagramlarında yukarda sözü edilenlerin dışında en belirgin pik setleri, kalsiyum alüminat hidrat sülfatlara ait olanlardır. Her iki sülfoalüminatın difraksiyon çizgileri bazen ayrı ayrı, bazen de birlikte gözlenmektedir. Etringitin 9,73 ve 5,61 A° deki en kuvvetli iki çizgisi, diğer hidratasyon ürünlerinin engellemeceği konumlarda bulunmaktadır. Fakat birçok çimento pastasında bu çizgiler zayıf, dolayısıyla diğer çizgiler de daha da zayıftırlar. Ayrıca bu çizgiler normal back-ground varyasyonları ile gölgelenmektedirler. Bununla birlikte, 9,73 A° çizgisinin daha şiddetli olduğu diyagramlarda diğer zayıf çizgiler de (örneğin 4,69 ve 3,48 A° çizgileri) görülebilir. 3,88 A° deki oldukça kuvvetli çizgi, kalsit çizgisi ile aynı'd" değerine sahiptir. Fakat kalsit çizgisi zayıf olduğundan 9,73 ve

5,61 A° çizgilerinin bulunduğu tüm çimento pastalarında bu çizginin tek başına kalsite ait olduğu söylenemez.

Çizelge 1.8 de çeşitli çimento pastalarının ıslak dilimlerinin x-ışınları difraksiyon verileri, çizelge 1.9 da ise kurutulup öğütülmüş örneklerin x-ışınları difraksiyon verileri verilmektedir. Bu çizelgele-
rin karşılaştırılmasından görüldüğü gibi kurutulmuş örneklerde etringit pikleri kaybolmaktadır. Örneğin, ıslak dilim diyagramlarında 9,8 ve 5,6A° deki etringit çizgileri, bu pastaların kurutulmuş toz numunelerinden elde edilen diyagramlarda yoktur. %100 bağıl neme ıslatma ile bu çizgi-
ler yeniden belirlemektedir.

ÇİZELGE 1.8 : Hidrate Çimento ıslak dilimlerinin ve yeniden ıslatılmış örneklerin x-Işınları Difraksiyon verileri(14)

Çimento tipi	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	III	I
su/Çimento oranı	0.40	0.55	0.40	0.65	0.65	0.70	0.57	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Yaş d(A°)	11 yıl	11 yıl	7 yıl	7 yıl	7 yıl	11 ay	6 ay	1 yıl	10 yıl	10 yıl	10 yıl	10 yıl
							9.7	9.8	9.8	9.8	9.7	9.8
		8.9		8.9	9.0	9.0		9.0		8.8	9.0	
							8.7	8.6		8.3		
	7.8	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
								7.4	7.4	7.4		
							5.66	5.68	5.64	5.66	5.64	5.64
	5.09	5.06	5.09	5.09		5.09	5.11	5.08	5.06		5.08	
	4.94	4.92	4.93	4.93	4.93	4.94	4.92	4.94	4.93	4.94	4.92	4.92
									4.72	4.72	4.72	4.72
				4.48	4.49			4.48				
	4.41	4.38	4.43	4.39	4.40	4.41	4.39	4.41	4.20	4.40	4.41	
		4.27	4.27		4.28		4.27		4.26			
	4.00	4.00	4.03	4.02	4.02			4.02	4.04		4.02	4.02
	3.88	3.86	3.86	3.87	3.86	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88
	3.79	3.78	3.77	3.77		3.78		3.81			3.81	
					3.67				3.67	3.67		3.69
						3.50		3.50	3.48	3.48	3.49	3.49
		3.43		3.45	3.42		3.45					
	3.35	3.35	3.34	3.35			3.34	3.36	3.35	3.38	3.35	3.36
	3.31	3.30		3.31	3.32	3.32		3.31		3.32	3.31	
												3.26
	3.12	3.11	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12
	3.05	3.04	3.05	3.05	3.04	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05
		2.97			2.97		2.98					
	2.88	2.88	2.88	2.88	2.89	2.89	2.88	2.89			2.89	
				2.84		2.83						2.84
	2.78	2.77	2.78	2.78	2.78	2.78	2.79	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
						2.69	2.69		2.67	2.69	2.70	
	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63
	2.60	2.58	2.59	2.59	2.58	2.59	2.59	2.59	2.57	2.58	2.56	2.56
	2.53	2.52	2.54	2.53	2.54		2.54	2.54	2.54	2.53	2.53	
	2.50	2.50	2.50	2.49		2.49	2.49		2.51		2.50	2.51
	2.47	2.45	2.46	2.47	2.46		2.46	2.46	2.46		2.45	2.45
	2.43	2.42	2.43	2.43	2.42	2.43	2.43	2.43	2.42	2.44	2.43	2.41
	2.37		2.37	2.36	2.36		2.36	2.37		2.35	2.36	
		2.31	2.31									
	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.30	2.29	2.29	2.29	2.29
	2.27	2.26	2.27	2.27	2.26	2.27	2.26	2.27	2.27	2.27	2.26	
			2.19	2.19	2.20	2.19	2.20	2.20	2.21	2.21	2.21	2.21
	2.14			2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.16	2.14	2.14	2.16
	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.11	2.10	2.10	2.09	2.10	2.10	2.10
	2.07	2.06	2.06		2.07	2.07		2.04	2.06	2.06	2.06	2.06
	2.01	2.01	2.02	2.01	2.01	2.01	2.02	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
	1.96	1.96	1.97		1.96	1.96	1.96	1.96			1.96	1.97
	1.932	1.929	1.931	1.931	1.930	1.932	1.930	1.931	1.930	1.931	1.930	1.932
	1.912	1.912	1.912	1.912			1.912		1.912		1.912	1.912
	1.881	1.875	1.879	1.870	1.875		1.870	1.881	1.879		1.870	1.879
	1.826	1.819	1.824	1.824	1.823	1.827	1.823	1.828	1.828	1.824	1.823	1.826
	1.799	1.796	1.799	1.799	1.798	1.799	1.798	1.799	1.797	1.798	1.797	1.797
	1.722	1.714	1.723	1.719	1.717	1.719	1.728	1.723	1.722	1.720	1.717	

ÇİZELGE 1.9 : Hidratlaşmış çimentoların kurutulmuş toz örneklerinin x-Işınları Difraksiyon verileri(14)

Çimento tipi	I	I	I	II	II	III	III	IV	IV
su/çimento oranı	0,65	0,65	0,70	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Yaş	7 yıl	5 yıl	1 yıl	10 yıl	7 yıl	10 yıl	7 yıl	10 yıl	7 yıl
d(A°)	8.2	8.2	8.2			8.2	8.2		
	7.7	7.9	7.7	7.8	7.8	7.7			
			7.3	7.3	7.3				
	5.47	5.48	5.45	5.47	5.43			5.47	5.48
	5.06			5.06	5.06	5.07	5.06		
	4.92	4.95	4.91	4.92	4.92	4.92	4.92	4.92	4.92
	4.41	4.41	4.41	4.41	4.39	4.39	4.39	4.40	4.39
	4.09	4.10	4.07			4.08	4.08		
					4.00				
	3.89	3.92		3.86	3.89	3.86			3.92
	3.62				3.66				
	3.31	3.32	3.31	3.32	3.35	3.31	3.30		3.30
	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.11
	3.04	3.05	3.03	3.05	3.04	3.04	3.05	3.03	3.03
	2.92					2.92			
	2.88	2.88	2.88			2.86	2.86		2.87
	2.78	2.78	2.78	2.78	2.77	2.77	2.76	2.79	2.78
		2.70	2.71	2.67	2.68				
	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63
		2.60	2.59	2.60	2.58	2.55	2.58		
	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	
	2.49		2.48						
	2.46	2.46		2.46	2.45	2.46	2.47		2.45
	2.43	2.43	2.43	2.44		2.43	2.42		
	2.35	2.35	2.35			2.36	2.36		
	2.31	2.30		2.30			2.30	2.30	
	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20		
	2.08	2.10					2.08		
		2.05		2.06	2.05				2.05
	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.00	2.01	2.02
	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93
	1.88	1.89							1.89
	1.82	1.82	1.83	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82
	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71		1.71
	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69
	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64		1.64
	1.61	1.60							

Çimento pastalarında monosülfatı tanımada pek başarı elde edilememiştir ve Turriziani"monosülfat oluşuyorsa bile çok yavaş bir hızla oluşmaktadır." sonucuna varmıştır.Monosülfat için birincil difraksiyon pikleri $8,9$ ve $4,45 \text{ Å}^\circ$ dedir. $8,9 \text{ Å}^\circ$ çizgisi,ıslak dilimlerin x -ışınları difraksiyon diyagramlarından bazılarında gözlenmiştir. $4,45 \text{ Å}^\circ$ çizgisi ise $8,9 \text{ Å}^\circ$ çizgisinin gözlendiği örneklerin yanısıra bu çizgiyi bulundurmayanlarda da gözlenmiştir. $4,4 \text{ Å}^\circ$ 'de başka bir fazdan kaynaklanan bir diğer çizgi de bulunmaktadır.Monosülfatın veya C_4AH_{13} ile katı çözeltisinin diğer çizgileri ya tanınmayacak denli zayıftırlar ya da aynı yerleşimlerde diğer maddelerin çizgilerinin de bulunmasından dolayı belirli bir maddeye ait olduklarının söylenmesi tartışmalı olacak çizgilerdir.

Kurutulmuş örneklerde en şiddetli monosülfat piki daha düşük değerlere kaymakta,fakat diğer çizgilerde önemli bir değişiklik olmamaktadır. CO_2 'siz atmosferde 115°C de veya oda sıcaklığında vakumda kurutma ile $8,9 \text{ Å}^\circ$ çizgisi $8,2 \text{ Å}^\circ$ e, $4,45 \text{ Å}^\circ$ deki çizgi $4,1 \text{ Å}^\circ$ e kaymaktadır. $4,4 \text{ Å}^\circ$ deki çizginin kaybolmaması,kurutmadan etkilenmeyen bir başka materyalin bulunduğunu göstermektedir.Kurutulmuş örneklerin diyagramlarında kuvvetli ve keskin olan monosülfat pikleri,ıslak dilim diyagramlarında oldukça zayıftırlar.Bu durum,ıslak dilim yüzeyinin karbonasyonundan kaynaklanabilir.

Hidratlaşmakta olan pastada gözlenen ve geçmişte birçok araştırmacının hegzagonal trikalsiyum alüminat diye tanımladığı bileşiğin gerçekte tetrakalsiyum alüminat karbonat hidrat olduğu belirlenmiştir.Öte yandan, C_4AH_{13} diye bildirilen bileşiğin $\text{C}_3\text{A} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \frac{1}{2}\text{CaCO}_3$.aq bileşiminde bir katı çözelti olması olasıdır.

Kalsiyum ferrit sülfat hidratların x -Işınları Difraksiyon diyagramları,alüminyum analoglarına çok benzemektedir.Dolayısıyla,Portland çimentosu pastalarındaki demir bileşikleri,alüminyum karşılıklarından kolayca ayırtedilememektedirler.

Hidrate çimentolarda,kübik kalsiyum alüminat ve kalsiyum ferrit

hidratlar C_3AH_6 ve C_3FH_6 ile temsil edilmektedir. Ancak, kübik fazın bir katı çözelti olması daha olasıdır. Çizelge 1.7 ve 1.8'de hemen hemen tüm çimento diyagramlarında ayırt edici şekilde beliren bir çizgiler grubu vardır. Bunlar, 5,07-4,40-3,32-2,26-2,01 ve 1,72 A° de ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca daha zayıf 4 çizgi de bu gruba katılabilir. Söz konusu 10 çizgi ile, C_3AH_6 ve C_3FH_6 da değerleri arasında bir benzerlik vardır. Fakat bu fazın bir hidrogarnet olması daha olasıdır.

Sentetik örneklerle elde edilen C_4FH_x 'in x-ışını diyagramlarındaki düşük açı yerleşimleri C_4AH_x 'inkiler ile aynı bölgelerdedir. Dolayısıyla çimento pastası x-ışınları Diyagramlarında gözlenen çizgilerin sadece C_4AH_x 'i mi, yoksa bu iki bileşiğin katı çözeltisini mi temsil ettiği bilinmemektedir.



1.3.5. ÇİMENTO KİMYASINA DTA'nın UYGULANMASI

DTA,Portland çimentosunun hidratasyonunu incelemek için güçlü bir yol olmasının yanı sıra,yalancı prizi,Portland çimentosu üzerine CO_2 ,klorür ve sülfat çözeltilerinin etkisini,alkalilerin hidratasyondaki rolünü ve değişik koşullarda bekletme ile çimentoda oluşan değişimleri incelemek amacıyla da kullanılmaktadır.

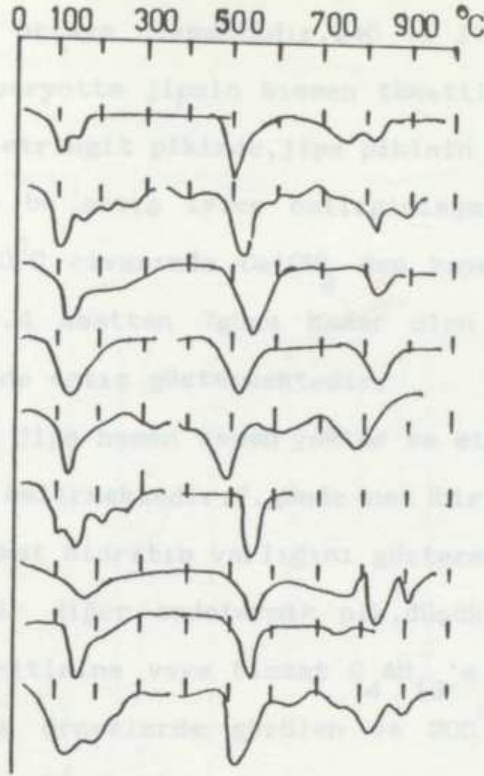
Hidratlaşmış ürünlerin DTA ile incelenmelerinde,örneklerin hazırlanması sırasındaki kurutma işlemi oldukça nazik bir işlemdir.Yetersiz kurutma,düşük sıcaklıklarda endotermal etkileri bozabilecek olan fiziksel bağlı suyu etkin bir şekilde gidermeyebilir.Öte yandan,aşırı kurutma,hidrate ürünlerden kimyasal bağlı suyun da giderilmesine yol açabilir.Çeşitli araştırmacıların kullanıp önerdiği birçok farklı kurutma işlemi vardır(22).

Farklı araştırmacıların elde ettiği hidratlaşmış çimento pastası termogramları karşılaştırılmış ve genel bir uyum saptanmıştır.Şekil 1.3'de farklı araştırmacılara ait termogramların yanı sıra,onlar aracılığıyla oluşturulmuş en olası standart eğri de bulunmaktadır.Şekildeki ilk sekiz eğri farklı araştırmacıların termogramlarıdır.Tüm eğrilerde ortak olarak, 200°C 'nin altında en az bir endoterm, $500-600^\circ\text{C}$ arasında Ca(OH)_2 dehidratasyonuna karşılık gelen bir endoterm ve 800°C 'den sonra CaCO_3 dekarbonasyonunu gösteren bir endoterm görülmektedir.

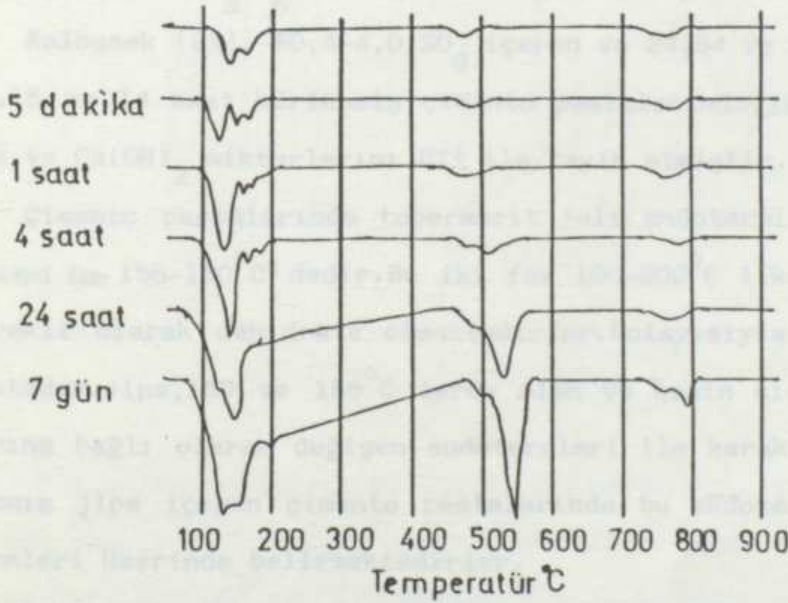
Greene(16),5 dakikadan 7 güne kadar değişen sürelerde oluşmuş hidrate ürünleri sistematik olarak incelemiştir.Bu çalışmada elde edilen DTA termogramları Şekil 1.4 de gösterilmektedir.Burada, 140 ve 170°C deki endotermik pikler jipsi karakterize etmektedirler. 500°C civarındaki endoterm Ca(OH)_2 'den, 800°C civarındaki ise CaCO_3 'dan ileri gelmektedir.

100 200 300 400 500 600 700 800 900
Temperatur $^\circ\text{C}$

ŞEKİL 1.4 : Farklı sürelerde hidratlaşmış çimento için
DTA termogramları (16).



ŞEKİL 1.3 : Farklı araştırmacılara ait çimento pastası termogramlarının karşılaştırılması (22).



ŞEKİL 1.4 : Farklı sürelerde hidratlaşmış çimento için DTA termogramları (16).

5 dakika içinde, 130°C civarında etringit dehidratasyonundan dolayı bir endoterm ortaya çıkmaktadır. 140 ve 170°C deki piklerin şiddetinin azalması, bu peryotta jipsin kısmen tüketilmiş olduğunu göstermektedir.

1 saatte, etringit pikinde, jips pikinin zararına bir artış olmaktadır. 4. saatte ise bu artış iyice belirginleşmiştir. 4 saatlik hidrasyon-
dan sonra, 500°C civarında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ den kaynaklanan bir endotermik etki başlamaktadır. 4 saatten 7 güne kadar olan devrelerde, bu pikin şiddeti önemli derecede artış göstermektedir.

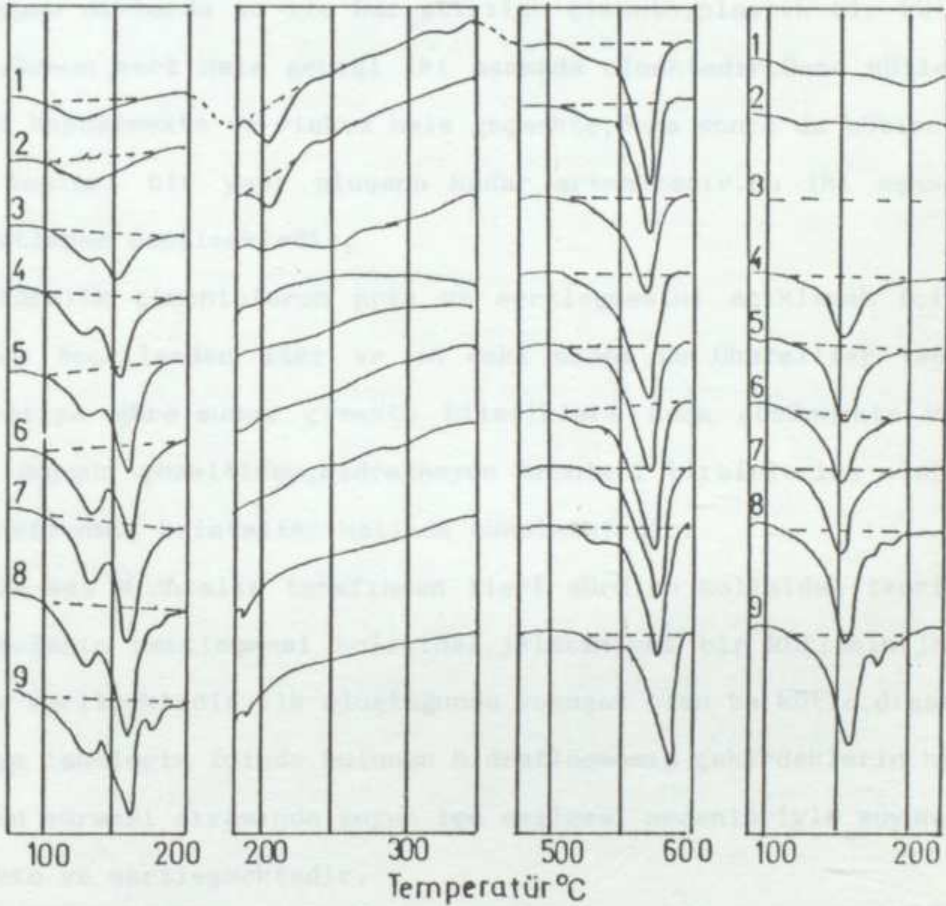
24. saatte jips hemen hemen yoktur ve etringit pikinin hemen altında bir endoterm belirmektedir. 7. günde net bir şekilde görülebilen bu pik, kalsiyum silikat hidratın varlığını göstermektedir. 7. günden sonra 200°C de görülen bir diğer endotermik pik, düşük sülfat alüminata, bunun C_4AH_{13} ile katı çözeltisine veya bizzat C_4AH_{13} 'e ait olabilir. 24 saatlik veya 7 günlük örneklerde görülen ve 200°C civarında başlayıp 500°C civarına kadar devam eden yukarıya doğru eğim, kalsiyum silikat hidrat-
tan yavaş yavaş su kaybını gösteriyor olabilir. Ayrıca 7. günden sonra CaCO_3 piki daha da büyümüştür. Çünkü örnek uzun süre havada kalmıştır. Termogramlarda C_3AH_6 varlığı ile ilgili bir görüntü yoktur.

Kalousek (23), %0,4-4,0 SO_3 içeren ve 24, 54 ve 82°C lerde sırasıyla 19, 15 ve 14 saat kürlenmiş çimento pastalarında, jips, etringit, monosülfat ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miktarlarını DTA ile tayin etmiştir.

Çimento pastalarında tobermorit jeli endotermi $130-140^{\circ}\text{C}$ de, etringitinki ise $155-160^{\circ}\text{C}$ 'dedir. Bu iki faz $100-200^{\circ}\text{C}$ lik sıcaklık aralığında sürekli olarak dehidrate olmaktadır. Dolayısıyla endotermiği çakışmaktadır. Jips, 160 ve 185°C lerde olan ve kesin sıcaklıkları jips miktarına bağlı olarak değişen endotermiği ile karakterize edilmektedir. Artmış jips içeren çimento pastalarında bu endotermiği, etringit endotermiği üzerinde belirlemektedirler.

Şekil 1.5, %0,4, -4,0 değerleri arasında değişen oranlarda SO_3 içeren ve 24°C de 19 saat kürlenmiş çimento pastalarının DTA eğrilerini göstermektedir.

Şekilde %10 hassaslıkla elde edilmiş kısımlarda esas itibariyle sadece tobermorit jeli ve etringitin 100-200°C aralığındaki çakışan endotermleri ve 500-600°C deki Ca(OH)_2 endoterminin görülmektedir. %3,5 ve 4,0 SO_3 içeren örneklerde jips endotermleri de görülmektedir.



ŞEKİL 1.5 : %0,4-0,5-1,0-1,5-2,0-2,5-3,0-3,5 ve 4,0 oranında SO_3 içeren çimento pastalarının DTA eğrileri(23).

* 1.sütun sonuçları(50-200°C) %10 hassaslıkta elde edilmiştir; 2. sütun sonuçları (175-350°C) %50 hassaslıkta elde edilmiştir.3.sütun sonuçları(475-600°C) %10 hassaslıkta elde edilmiştir;4.sütun sonuçları, 6 ay kuru ortamda bekletme dışında 1.sütundaki örneklerin sonuçları ile aynıdır.

170-350°C'lik sıcaklık aralığı, C_4AH_{13} , monosülfat ve SO_3 içeren tobermorit jelinin (buna x-fazı denilmiştir) saptandığı aralıktır. 1, 2 ve 3 eğrilerinde 210°C deki endoterm C_4AH_{13} 'e aittir. Ayrıca bu eğriler, az miktarda monosülfat varlığını da göstermektedirler (Saf monosülfat, 150°C den 350°C'ye uzanan kompleks endotermiler vermektedir).

1.3.6. PORTLAND ÇİMENTOSUNUN PRİZ VE SERTLEŞMESİ

Uygun miktarda su ile karıştırılan çimento, plastik bir kütle oluşturur. Bunun sert hale geçişi iki aşamada olmaktadır. Önce kütle plastikliğini kaybetmekte ve viskoz hale geçmekte, daha sonra da kütlenin sertliği taşımsı bir yapı oluşana kadar artmaktadır. Bu iki aşamaya priz ve sertleşme denilmektedir.

Hidrolik çimentoların priz ve sertleşmesini açıklamak için geliştirilen teorilerden ilki ve en eski olanı Le Chatellier teorisidir. Bu teoriye göre, susuz çimento bileşikleri suda çözünmekte ve oluşan aşırı doygun çözeltiden, hidratasyon ürünleri birbirlerine olabildiğince kenetlenmiş kristaller halinde çökelmektedir.

İlk kez Michealis tarafından ileri sürülen kolloidal teoriye göre, çimentoların sertleşmesi kolloidal, jelatinimsi bir kütlenin (jel) çökmesine verilmektedir. İlk oluştuğunda yumuşak olan bu kütle, dışsal kuruma veya tanelerin içinde bulunan hidratlaşmamış çekirdeklerin hidratasyonunun sürmesi sırasında suyun içe emilmesi nedenleriyle suyunu kaybetmekte ve sertleşmektedir.

Zamanımızdaki araştırmacıların çoğu tarafından priz ve sertleşme nedeni olarak kabul edilen prosesler şöyle özetlenebilir:

Uygun geciktirme yapılmış bir çimentoda, ilk birkaç dakika içinde çok hızlı reaksiyonlar olur. Bunları genellikle 12 saat süren bir yavaş reaksiyonlar devresi izler. Bu esnada, çimento taneleri üzerinde hidratasyon ürünlerinden oluşan bir kaplama birikir ve yavaş yavaş kolloidal boyuttaki hidratasyon ürünleri belirmeye başlar. Hala plastik durumdaki çimento pastası hafifçe büzülür. Çünkü, hidratasyon olayında "su+çimento" sisteminin hacminde bir azalma söz konusudur. Daha sonra, priz başlangıç

ve sonuna yol açan daha hızlı bir reaksiyon başlar.Bu reaksiyon,kaplamaların kırılmasına ve pastanın koagülasyonuna verilmektedir.Kütle kırılğan duruma geldiği zaman,küçük bir şişme başlar.Çünkü çimento tanecikleri etrafında jel kütlesi çöker ve taneciklerin şişerek dışı doğru bir basınç uygulanmalarına neden olur.Sertleşme ve mukavemet gelişmesi yeni kristallerin oluşumu,aşırı doygun çözeltiden hidratlaşmış silikatların yeniden kristalleşmesi ve boşlukların bu ürünler ile doldurulması şeklinde açıklanmaktadır.

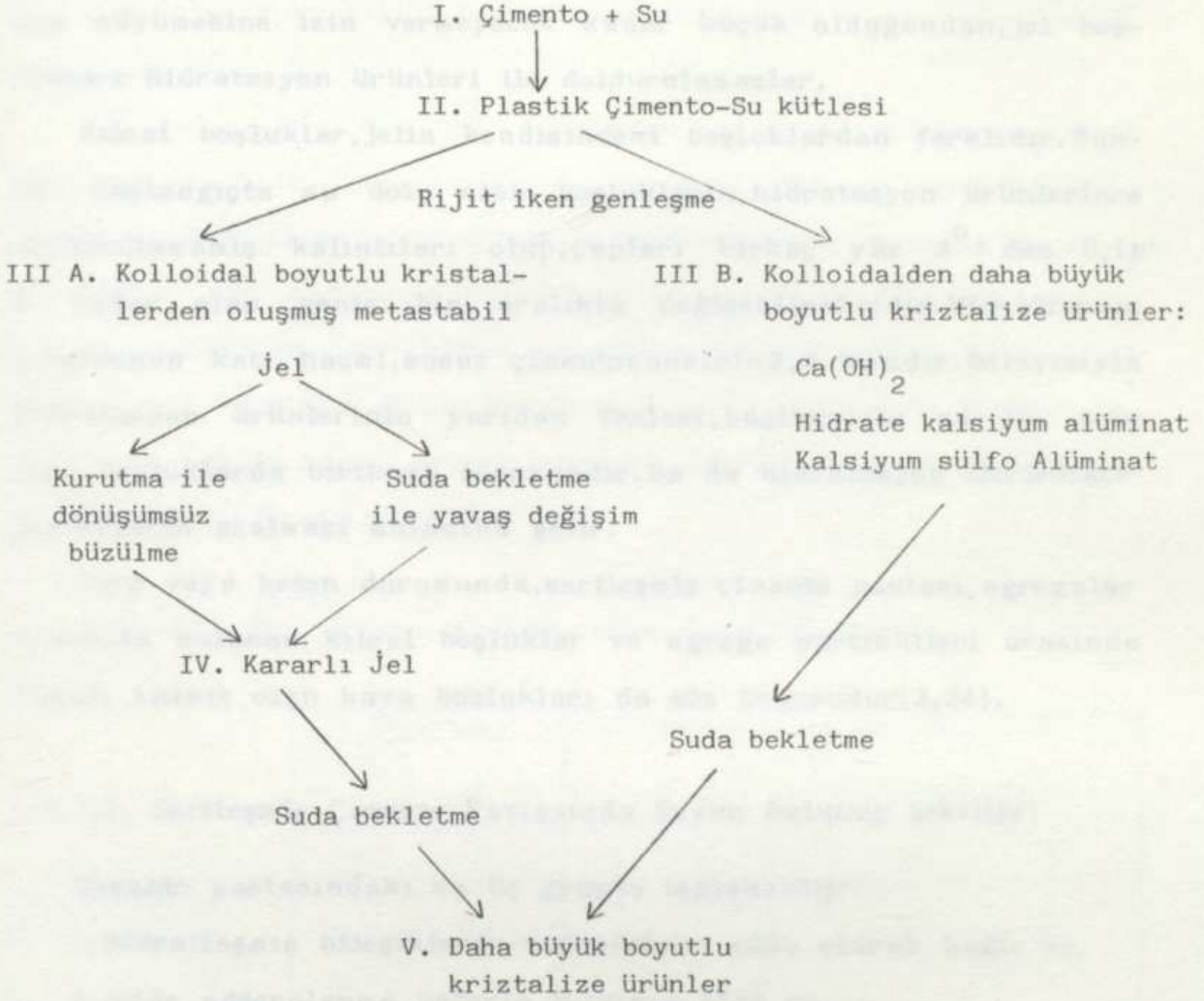
Çimento jeli,ilk oluştuğu zaman geniş bir hacim kaplar ve kararlı değildir.Jelin kararlı duruma geçişine yüzey alanında bir küçülme,yani küçük partiküllerin zararına büyük jel partiküllerinin oluşumu ve şebekenin büzülmesi eşlik etmektedir.Bu olay,silika jelinde daha büyük boyutta gözlenen davranışa benzemektedir.Su içinde bu olay sınırlı miktarda olur.Fakat henüz hidratlaşmamış çimentonun sürekli hidratasyonunun etkisi de söz konusudur(3).Hidratasyon reaksiyonları sonunda, toplam mutlak hacimde bir küçülme olur.Fakat oluşan jel boşluklu yapıda olduğundan,daha büyük bir görünen hacme sahiptir.Bu durumda,bünyesel rötre(büzülme)kaçınılmaz olmaktadır(4).

Priz yapmış çimento kurutulduğu zaman jel,daha kararlı duruma geçtikçe dönüşümsüz bir büzülmeye ve su içeriğinde azalmaya uğrar.Daha sonraki ıslatma ile olan genleşme ve emilen su miktarı dönüşümlü hale gelir ve ardarda gelen ıslatma-kurutma devrelerinde aynen tekrarlanır.

Su altında uzun süre kürlemelerde,kristalbüyümesinden dolayı başka bir değişme de olabilir.Ancak kürlemeyle birlikte yüzey alanında bir azalma söz konusudur ve bu da daha kararlı bir duruma doğru dönüşümsüz değişmelerin olduğunu göstermektedir.



Priz, sertleşme ve yaşlanma proseslerini diyagram şeklinde şöyle gösterebiliriz(3):



1.3.7. SERTLEŞMİŞ ÇİMENTO PASTASININ FİZİKSEL YAPISI

1.3.7.1. Sertleşmiş Çimento Pastasının Gözenekli Yapısı

Sertleşmiş çimento pastasının asıl oluşturanı jeldir. İkinci oluşturan, hidratlaşmamış çimento artıkları ve Ca(OH)₂ kristalleri, üçüncüsü ise kılcal boşluklardır.

Çimento jeli, herbiri 30000-50000 kadar molekül içeren tobermorit jeli partiküllerinin bir araya toplanmasından oluşmuş, 200 m²/g kadar bir yüzey alanına sahip katı bir maddedir. Jelin gözenek-

liliği %28 civarındadır. Jeldeki boşluklar, ortalama genişliği 15-30 Å⁰ kadar olan ince yarıklardır. Bu boyut, içinde kristal çekirdeği olup büyümesine izin vermeyecek kadar küçük olduğundan, jel boşlukları hidratasyon ürünleri ile doldurulamazlar.

Kılcal boşluklar, jelin kendisindeki boşluklardan farklıdır. Bunlar başlangıçta su dolu olan boşlukların, hidratasyon ürünlerince doldurulamamış kalıntıları olup, çapları birkaç yüz Å⁰' den 0,1µ' a kadar olan geniş bir aralıkta değişebilmektedir. Hidratlaşmış çimentonun katı hacmi, susuz çimentonunkinin 2,2 katıdır. Dolayısıyla hidratasyon ürünlerinin yarıdan fazlası, başlangıçta su ile dolu olan boşluklarda birikmek zorundadır. Bu da hidratasyon ilerledikçe boşlukların azalması anlamına gelir.

Harç veya beton durumunda, sertleşmiş çimento pastası, agregalar arasında bulunan kılcal boşluklar ve agrega partikülleri arasında kapalı kalmış olan hava boşlukları da söz konusudur (3,24).

1.3.7.2. Sertleşmiş Çimento Pastasında Suyun Bulunuş Şekilleri

Çimento pastasındaki su üç grupta toplanabilir:

1. Hidratlaşmış bileşiklerde hidratasyon suyu olarak bağlı su,
2. Jelde adsorplanma yoluyla tutulmuş olan su,
3. Yapıdaki kılcal boşluklarda bulunan su.

Powers ve Brownyard, katılaşmış çimentodaki suyu, "buharlaşmayan su" ve "buharlaşabilen su" olarak iki grupta toplamaktadırlar. Buharlaşmayan su, 23°C de vakumda $Mg(ClO_4)_2 \cdot 2H_2O - 4H_2O$ üzerinde kurutma ile giderilemeyen su olarak tanımlanmaktadır. Bu su, kimyasal bağlı su olarak da düşünülmektedir. Fakat söz konusu kurutma koşulları altında, hidratasyon ürünlerinden bazıları (örneğin, kalsiyum sülfoalüminat ve hegzagonal kalsiyum alüminatlar) kristal sularının bir kısmını kaybedebilmektedirler. Dolayısıyla buharlaşmayan suyun, kimyasal bağlı su olarak düşünülmesi kesin bir yaklaşım olamamaktadır.

Buharlaşabilen su,yüzey kuru durumunda iken tutulmuş olan su ile buharlaşmayan su arasındaki fark olmaktadır.Buharlaşabilen su,jel kütlesinde ve kılcal boşluklarda tutulan su olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Hidratasyonun ilerlemesiyle,buharlaşmayan su miktarı giderek artmakta,fakat buharlaşabilen su miktarı giderek azalmaktadır.Tamamiyle hidratlaşmiş bir çimento buharlaşmayan su,susuz çimento-nun %28'i gibi maksimum bir değere ulaşmaktadır.Çimento pastası-nın hidratasyonunun giderek ilerleyen devrelerdeki bileşiminin gösterildiği Çizelge 1.10'nun incelenmesinden,hidratasyon ilerledikçe,jel suyu miktarındaki artışa karşılık kılcallık suyundaki azalma açıkça görülebilmektedir(3,24).

ÇİZELGE 1.10: Doygun Çimento Pastasının Bileşimi(3).

	Başlangıçtaki karışım		İlerleyen Hidratasyon devreleri			
	Hacmen	Ağırlıkça	Hacmen	Ağırlıkça	Hacmen	Ağırlıkça
	%	%	%	%	%	%
Reaksiyona gir-memiř çimento	38,5	66,6	29	50	12	20
Buharlaşmayan suyuyla birlikte reaksiyona gir-miř çimento	-	-	16	20	44	56
Jel suyu	-	-	6	3	19	10
Kılcallık suyu	61,5	33,3	49	27	25	14

1.3.8. HACİM DEĞİşİKLİKLERİ VE RÖTRE

Kelime anlamı "hacim büzülmesi" olan rötrenin farklı nedenlere dayanan çeşitli türleri vardır.Bunlar,erken rötre,termik rötre,hidro-lık rötre,bünyesel rötre ve karbonasyon rötresidir.Genellikle sadece rötre denilidiğinde hidrolik rötre anlaşılır(4).

Erken Rötire: Beton henüz taze iken ve priz süresince ortaya çıkan hacim büzülmesi olup, buna plastik rötire de denilmektedir.

Termik Rötire :Prizi sona erip sertleşmeye başlayan betonda hidrasyon ısıısının tüm kütleyi ısıtmaya yeterli olmaması nedeniyle kütlenin soğumasıyla ortaya çıkan rötredir.

Hidrolik Rötire: Sertleşmiş beton rötresi veya kuruma rötresi adıyla da tanınır.Prizini yapmış çimento,nemi düşük bir ortamda tutulduğu zaman,önce berbest su,ardında da kılcal boşluklardaki su buharlaşıp ayrılır.Kılcal boşluklara jel suyu akımının başlaması ve daha sonra bu suyun da kısmen buharlaşması ile bir hacim büzülmesi olur.

Bünyesel Rötire: Çimento su ile reaksiyon verdiğinde,"Çimento+Su" sisteminde net bir hacim küçülmesi olur.100 kısım çimento ve 33 kısım sudan oluşmuş karışımlar için hacim azalmaları,yoğunluk hesaplamaları ile şöyle bulunmuştur(3).

	Sistemin Hacim Azalması %				
	No	1 gün	7 gün	28 gün	100 gün
Portland çimentosu	1	2,8	4,8	6,0	6,9
Portland çimentosu	2	1,7	4,4	-	6,3
Portland çimentosu klinkeri	3	2,7	8,0	8,6	8,7
Portland çimentosu klinkeri	4	2,6	6,3	7,5	7,6

Tüm sistem bir hacim azalması göstermekte-ise de,mevcut katı madde hacmi artmaktadır.Bu durum Çizelge 1.10'da açıkça görülmektedir.Hidratlaşmış çimentonun yoğunluğu için verilen değerler,ölçümde kullanılan akışkana bağlı olarak 2,43'den 2,59'a değişmektedir.Hidratlaşmış çimento yoğunluğu 2,5 ve susuz çimentonunki 3,1 alınarak,1 gram susuz çimento 1,2 gram hidratlaşmış ürüne dönüştüğü zaman katı hacmindeki artışın %55 olduğu bulunmuştur. Öte yandan oluşan jelin görünen hacminin büyük olması bünyesel rötreyi kaçınılmaz kılmaktadır.

Ayrıca,başlangıçta oluşan ve oldukça ince kristalli olan tobermorit

jeli,daha büyük kristalli jele göre yarı kararlıdır ve ona dönüşme eğilimindedir.Bu dönüşüm iç yüzey alanında giderek azalma anlamına gelmektedir.

Çimento pastasındaki kılcallık suyu ve jel suyu miktarları,buharlaşma olmasa bile,hidratasyon nedeniyle önemli derecede değişmektedir. Paragraf 1.3.7.2. de belirtildiği gibi hidratasyon sırasında buharlaşabilen su miktarı sürekli azalırken,buharlaşmayan su miktarı artmaktadır.Bu açıklamaya göre,buharlaşma tamamen önlense bile,katılaşmış çimento pastasının rötreye yapmasını önlemek mümkün değildir(25).

Karbonasyon Rötresi:Betonun ilk kuruma büzülmesinin ardından atmosfer CO_2 'i etkisiyle oluşan ilave büzülmesidir.Karbonasyon büzülmesinin mekanizması henüz tam olarak bilinmemektedir.Powers(26), $Ca(OH)_2$ 'ten $CaCO_3$ oluşumunun bir miktar büzülmeye yol açtığını göstermiştir:



reaksiyonunda katı hacmindeki değişme,büzülmeyi açıklayamaz.Katı çimento ile ilk reaksiyon yukarıdaki denklem ile temsil edilebilirse de,karbonasyon ilerledikçe hidratlaşmış alüminat ve silikatlar da işe karışıyor olmalıdır.Çünkü yukarıdaki reaksiyona göre,bağlanan her CO_2 molekülü başına 1 H_2O molekülü çıkmaktadır.Karbonasyonun ilk devresinde bu oran saptanmıştır.Fakat karbonasyon ilerledikçe reaksiyona giren CO_2 başına salınan H_2O molekülü miktarı 1 molekülden çok daha az olmaktadır(27).

Çimentonun kimyasal bileşiminin rötreye üzerinde etkisi olup olmadığı tartışma konusudur.Serbest kireç, MgO ve SO_3 miktarlarının standartlarda belirtilenin üstünde olması rötreyi azaltabilir.Jips miktarının az olması ise,çimentoyu daha fazla rötreye yapmaya elverişli kılabilir.Çimentoda C_2S miktarının fazla olması,hidratasyonunu yavaşlatacağı için rötrenin daha fazla olmasına yol açabilir.

1.3.9. SÜLFATLI SULARIN BETON VE HARÇLAR ÜZERİNE ETKİSİ

1.3.9.1. Sülfat Etkisi Mekanizmaları

Normal Portland çimentosundan yapılmış beton ve harçların sülfat etkisi ile tahribatı, şişme, çatlak oluşumu, mukavemet kaybı ve bazen de dağılma şeklinde olmaktadır. Bir çok araştırmacı bu tahribatın mekanizmasını aydınlatmak için incelemeler yapmışlar, fakat farklı sonuçlara varmışlardır.

Sülfat etkisi, genellikle etringit oluşumuna bağlanmaktadır. Fakat Portland çimentosu betonlarında sülfatın oluşturduğu tahribatın mekanizmasını açıklamak için sadece etringit şişmesi olaylarının incelenmesi yetersizdir. Çünkü aynı bileşik bir çok çimentoda başlıca mukavemet kaynağı da olabilmektedir. Örneğin, süper sülfatlı çimentolarda hidrasyon sırasında fazla miktarda etringit oluşmakta, fakat çatlama ve şişmeye yol açmamaktadır. Ayrıca, sülfatın yol açtığı tahribat, sadece çatlama ve genleşme, şeklinde değildir. Bazen mukavemet kaybı ve lapa-laşma veya bağlayıcı özelliğın kaybolması gözlenmektedir. Örneğin, Thorvaldson(28), yüksek C_3A içerikli çimentoların %2 lik Na_2SO_4 çözeltisinde çok az bir şişme ile dağıldıklarını bildirmiştir. Fakat C-S-H jelindeki mukavemet kaybı için bir açıklama yapılmamıştır. Ayrıca, jips oluşumunun etkisi de tam olarak açıklanmamaktadır. Oysa, birçok araştırmacı sülfat etkisinde bırakılmış saf C_3S veya alit pastalarında şişme ve önemli derecede mukavemet kaybı gözlemişlerdir(28,29).

Sülfat etki mekanizması hakkında Lafuma(30)'nın ileri sürdüğü teoriye göre şişme, etringit oluşumundan ileri gelmektedir ve etringit oluşumu için iki mekanizmanın olduğu varsayılmaktadır. Eğer sülfat iyonlarını içeren sıvı faz $Ca(OH)_2$ bakımından doygun ise, C_3A ile çözeltideki sülfat iyonları arasındaki reaksiyon bir katı hal reaksiyonudur. Bu yolla etringit oluşumuna büyük bir hacim artışı eşlik etmektedir. Eğer sıvı faz $Ca(OH)_2$ bakımından doymamış ise, reaksiyon sıvı fazdan geçerek olmaktadır. Bu durumda oluşan etringit herhangi bir şişmeye neden olmaksızın yapıdaki gözenekler içinde kristallenmektedir. Bu teori, uzun süre sülfat

alüminat oluşumu ile ilgili yegâne kabul edilen teori olmuştur.

1963'de, etringit oluşumuna dayanmayan başka bir mekanizma ileri sürülmüştür(31). Bu mekanizmaya göre, şişme nedeni, önceden varolan C_4AH_{13} ün sıvı fazdaki SO_4^{2-} iyonları ile monosülfata dönüşümüdür. Mekanizmaya temel oluşturan gözlem, $C_3A + Ca(OH)_2 + CaSO_4 \cdot 2H_2O$ pastalarında şişmenin etringit yok olup monosülfat oluşuyorken ortaya çıkmasıydı. Aynı gözlem, Seligmann ve Greening tarafından da doğrulanmıştır(32). Daha sonra, ileri sürülen bu hipoteze karşı görüşler ortaya çıkmış(33), fakat aynı görüşün savunusu da yapılmıştır(34).

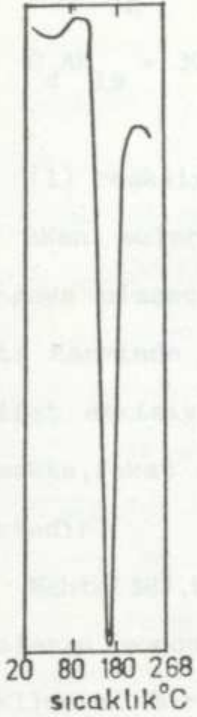
Söz konusu mekanizma şöyle tanımlanmaktadır. Çimentoların hidratasyonu sırasında alümin içeren bileşikler, önce çözünüp sonra hidratları şeklinde çökmektedirler. Hidratasyon ürünlerinin bünyesi, sıcaklık ve sıvı fazdaki diğer iyonların konsantrasyonuna bağlıdır. Taze öğütülmüş ve hiç CO_2 içermeyen çimentonun oda sıcaklığındaki hidratasyonunu ele alırsak, SO_4^{2-} konsantrasyonu yüksek olduğu sürece, temel alüminli bileşik etringit olacaktır. SO_4^{2-} iyonu konsantrasyonu etringit oluşumu için gerekli olan değerin altına düştüğü zaman, konsantrasyon monosülfatın kararlı olmasına yeterli ise monosülfat, değilse C_4AH_{13} çökelecektir. Sözü edilen reaksiyonlar, sıvı fazdan geçerek ilerlediğinden, ürünler yapıdaki gözeneklerde oluşacak ve şişmeye neden olmayacaklardır. Eğer, C_4AH_{13} içeren yapı sonradan sülfat çözeltileri etkisinde kalırsa, içeriye doğru diffüzyonla sülfat iyonları konsantrasyonu kritik bir değere ulaştığında, C_4AH_{13} 'den iyon değişimi reaksiyonu ile monosülfat oluşmaya başlayacaktır. Bu tür monosülfat oluşumu hacimce genleşmeye neden olmaktadır. Aslında monosülfattan ileri gelen hacim genleşmesinin şişirici etkiye yol açması sıvı fazdaki $Ca(OH)_2$ konsantrasyonuna bağlıdır. $Ca(OH)_2$ konsantrasyonu düşük olduğunda, şişmeyi yapacak olan C_4AH_{13} kristallerinin bir kısmı çözünüp yapının diğer kısımlarına diffüzlenecek, dolayısıyla da şişmeyi dengeleyecektir. Tersine $Ca(OH)_2$ konsantrasyonu yüksek ise, C_4AH_{13} ün çözünürlüğü azalacak ve dengeleme prosesi işlemez olacaktır. Sonuçta şişme ortaya çıkacaktır.

Görüldüğü gibi, mekanizmanın temel varsayımlarından birincisi, pasta-
da C_4AH_{19} yerine C_4AH_{13} oluştuğudur. Bu varsayımın geçerliliği faz den-
geleri incemeleri(19) ve alüminat fazı oranı C_3A katılarak artırılmış
olan nemli klinker pastalarının x-Işını diyagramları(34) ile doğru-
lanmıştır. Fakat Lea(3), Roberts'in bulgularının pastada C_4AH_{13} değil,
 C_4AH_{19} bulunduğunu gösterdiğini ifade etmektedir. Diğer varsayım, C_4AH_{13} '
den monosülfatın iyon değişim prosesi ile oluştuğudur. Heller ve Ben
Yair(35) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları bunu doğrular gibi
görülmektedir.

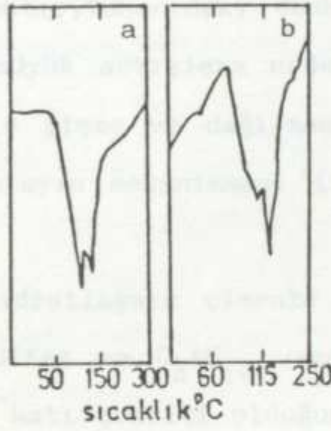
Sunulan hipoteze göre, önceden varolan C_4AH_{13} en azından kısmen,
monosülfata göre daha kararlı olan ve sülfat etkisiyle monosülfata
dönüştürülmeyen, fakat çözelti yoluyla doğrudan etringite dönüşen bir
bileşiğe çevrilebilirse, sülfat genleşmesi daha az olacaktır. Monokarbo-
nat bu gereksinimleri yerine getirir gibi görünmektedir(33,36). Hem
jips hem de karbonat içeren çimento bileşikleri karışımında, katı jips
varlığında ana hidratasyon ürünü etringit olmakta, fakat tüm jips tüken-
diği zaman, önce bir karboalüminat oluşmaktadır. Bu bileşik, monosülfata
göre, daha kararlı gibi görünmektedir. Ayrıca, hem monosülfat hem de kar-
boalüminat, aşırı sülfat iyonları varlığında kararlı olmayıp etringite
dönüştürülmektedir. Dolayısıyla, karboalüminat oluşumu etringit oluşumu-
nu etkilemeyecek, fakat ara ürün olarak oluşabilen monosülfat miktarını
azaltacaktır. Bu sonuç 9:1 oranında $CaCO_3$ karıştırılmış çimento pastala-
rı aracılığıyla doğrulanmıştır.

Heller ve Ben Yair (37), sülfat etki mekanizmasını aydınlatmak ama-
cıyla yaptıkları çalışmada, normal ve sülfata dayanıklı Portland çimen-
tolarından pasta ve harç prizmaları hazırlamışlardır. Bu örnekler sülfat
çözeltilerinde bekletilerek boy değişimleri, x-Işınları ve DTA ara-
lılığıyla da mineralojik bileşimlerdeki değişiklikleri incelenmiştir.
Normal Portland çimentosu örneklerinde boyca uzamanın diğerlerine göre
çok daha fazla olduğu, buna karşın etringit miktarının her ikisinde de
aynı olduğu görülmüştür. Sonuçlar, sülfat etkisinde kalan çimentonun
şişme derecesi ile mevcut etringit miktarının doğrudan ilişkili

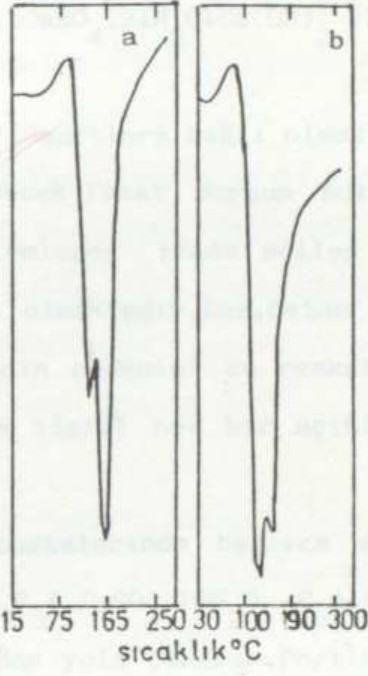
olmadığını göstermektedir. Ayrıca DTA eğrilerinin jel fazına karşılık gelen endotermilerinde epeyce farklılık olduğu da gözlenmiştir. Bu endotermiler, Şekil 1.6, Şekil 1.7(a,b) ve Şekil 1.8(a,b)'de verilmiştir.



ŞEKİL 1.6



ŞEKİL 1.7



ŞEKİL 1.8

DTA eğrilerinin düşük sıcaklık bölgesi (37)

Şekil 1.6 : Sentetik kalsiyum sülfoalüminat

Şekil 1.7 : 1400 gün %0,4'lük Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilmiş

a) Portland çimentosu I

b) Portland çimentosu V

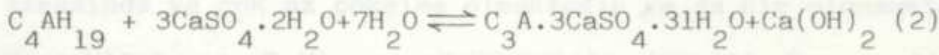
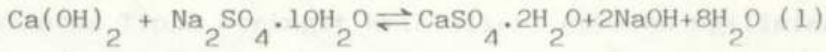
Şekil 1.8 : 300 gün %10'luk Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilmiş

a) Portland çimentosu I

b) Portland çimentosu V

Heller ve Ben Yair çalışmalarının sonuçlarını, sülfat etkisi ile şişmeye etringitin neden olduğunun söylenebileceği, fakat devamında gelen hacim değişimlerinin başka faktörlere de bağlı olabileceği şeklinde yorumlamışlardır. Ayrıca etringitin kısmen bir jel fazına geçmiş olabileceği sonucuna da varmışlardır.

Lea(3)'ya göre,çimento pastası Na_2SO_4 etkisinde kaldığı zaman şu reaksiyonlar olmaktadır:



(1) reaksiyonunun ilerleme miktarı şartlara bağlı olmaktadır.Sürekli akan sularda sonuna kadar ilerleyecek,fakat durgun sularda sonuçta dengeye ulaşacaktır.Yukarıdaki denklemlerde ifade edilen reaksiyonlar katı hacminde büyük artışlara neden olmaktadır.Lea,beton ve harçların sülfat etkisiyle şişme ve dağılmasının nedenini bu reaksiyonlara bağlamakta,fakat olayın mekanizması ile ilgili net bir açıklama getirmemektedir.

Mehta(38),hidratlaşmış çimento pastalarında başlıca alümin içeren fazların monosülfat ve C_4AH_{19} veya $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O} - \text{C}_3\text{A} \cdot \text{Ca(OH)}_2 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ şeklindeki bir katı çözelti olduğundan yola çıkarak,Portland çimentosu betonları üzerine sülfat etki mekanizmasını farklı bir yaklaşımla açıklamaya çalışmıştır.Mehta,etringit kristallerini Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki sınıfa ayırmaktadır: Tip 1 kristalleri, OH^- iyonları konsantrasyonunun düşük olduğu koşullarda oluşan çita benzeri büyük kristallerdir ve bunlar şişirici değildirler.Süper sülfatlı çimentoların hidrasyonunda bu tip etringit kristalleri oluşmaktadır.Tip 2 kristelleri ise, OH^- iyonları konsantrasyonunun oldukça yüksek olduğu koşullarda oluşmaktadırlar ve çubuk benzeri küçük kristallerdir.Bunlar,sistemin hareketliliğinin kısıtlılığı,çimento pastasının sıkılığı ve temasta bulunulan çözeltideki iyonların tip ve konsantrasyonu gibi çevresel koşullara bağlı olarak,şişirici veya mukavemet kaynağı olarak davranmaktadırlar.Sülfatlı çözeltilerde betonun yapısına sülfat iyonlarının girmesiyle fiziko-kimyasal değişmeler olmaya başlamaktadır.Yüksek konsantrasyonlu sülfat iyonu ortamlarında kararlı olmayan monosülfatın çözeltiden geçerek etringite dönüşümü,çözeltide SO_4^{2-} iyonlarının yanı sıra Ca^{2+} iyonlarının da bulunmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla,mono-

sülfatın yanısıra bir miktar Ca(OH)_2 çözünecektir. Bu da etringitin çökmesi sırasında OH^- iyonu konsantrasyonunun yüksek olmasını sağlar. Bu koşullarda Tip 2 etringit kristalleri çökme eğilimindedir. Fakat periyot sırasında ya çok az çökme olmaktadır ya da hiç olmamaktadır.

Monosülfat ve C_4AH_{19} un çözünmesiyle çözelti fazına Al_2O_3 temini yetersiz olduğu zaman, etringit kristallenmesi durur ve jips'inki başlar. Jips çökmesi ile çözeltiden sürekli olarak Ca(OH)_2 giderilmektedir. Dolayısıyla sülfat etkisi gören kısımdaki tüm Ca(OH)_2 tüketilir ve OH^- iyonu konsantrasyonu da düşer. Deneysel gözlemlere göre, bu koşullar altında C-S-H jeli mukavemet ve sıkılığını kaybedecek ve böyle bir sistemde etringit fazının şişme eğiliminde olması pastanın kolayca ve çok şişip dağılmasına yol açacaktır.

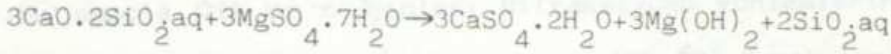
Postacıoğlu(25), sülfatlı suların etkisiyle meydana gelmiş arızaların incelenmesinden elde edilen çok ilginç bir bulgudan söz etmektedir. İnceleme sonucu arızaların etringitten farklı, başka bir karışımdan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu karışım, $\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15-22\text{H}_2\text{O}$ formülü ile bilinen thaumasite(tomasit) tir. Oluşumunda C_3A 'nın bir rolü olmayıp asıl etkin olan jips ve ortamdaki suda bulunan SO_4^{2-} iyonlarıdır.

Katyonların Etkisi: Sülfat etkisiyle betonların şişmesinin esas nedenini sülfat iyonları oluşturuyor olsa da, reaksiyonların yürüyüşü üzerine katyonların da etkisi vardır.

Na^+ , K^+ gibi alkali metal sülfatları, jips ve kolay çözünen hidroksitleri oluştururlar. Etkinin şiddeti, çözeltinin konsantrasyonuna ve sürekli yenilenebilmesine bağlıdır.

Mg^{+2} ve Fe^{+2} gibi hidroksitleri güç çözünen metal sülfatları çok korroziftirler. Bunların bulunduğu ortamda hidratlaşmış çimento bileşiklerinden hiçbiri kararlı değildir. Örneğin MgSO_4 , Ca(OH)_2 ve alüminatlarla reaksiyon vermesinin yanısıra C-S-H jeline de etkimektedir. Hidratlaşmış kalsiyum alüminatlara etkisi, başlangıçta diğer sülfatlarınkine benzer ve önce Mg(OH)_2 ve etringit oluşur. Etringit, MgSO_4 çözeltileri ortamında dayanıklı olmayıp, jips, hidratlaşmış alümin ve Mg(OH)_2 'e par-

çalanır.Hidratlaşmış kalsiyum silikatlarla aşağıdaki reaksiyon tek yönlüdür ve çözelti CaSO_4 bakımından doygun duruma gelene kadar sürer. Ondan sonra jips kristalleri ayrılmaya başlar.



Aşırı korrozifliğin aksine,bu metallerin güç çözünen hidroksitleri yapının her yanına çökerek koruyucu bir kabuk da oluşturabilirler. Böylece,zengin pastalar durumunda diğer metal sülfatlarına göre daha az aşındırıcı olabilirler(3).

1.3.9.2 Sülfat Çözeltilerinin Etkilerini Değerlendirmede Kullanılan Test Yöntemleri

Sülfat etkisini değerlendirmek için çeşitli test yöntemleri vardır.Bu yöntemlerin hemen hemen hepsinde çimento pastası,harç veya beton örnekleri sülfat çözeltileri içinde bekletilmektedirler.Sülfat etkisinin biraz daha farklı şekilde oluşturulduğu iki yöntemden biri olan Le Chatellier-Anstett yönteminde,test örnekleri çimento içerisine sülfat tuzu karıştırılarak hazırlanmakta ve destile su içerisinde bekletilmektedirler(39). Diğer yöntem,Eustache ve Magnan(40) tarafından geliştirilmiş olup,burada örnekler tümünden değil de yarısına kadar MgSO_4 çözeltisi içersine batırılmaktadırlar.Ayrıca sülfata dayanıklı çimentoların servis ömürlerinin önceden belirlenmesi amacıyla yapılan testlerde,beton örnekleri sülfat çözeltileri içinde kesintili olarak bekletilmektedirler.Yani 18 saat çözeltide bekletmenin ardından 6 saat 54°C ' de kurutma çevrimleri üst üste uygulanmaktadır.Böyle bir uygulamanın sürekli sülfat çözeltisinde bekletmeye göre iki kat daha çabuk sonuç verdiği gözlenmiştir(41).

Etkilerin değerlendirilmesi genellikle boy değişimleri ve mukavemet ölçümleri aracılığıyla yapılmaktadır.Bununla birlikte ağırlık azalması da sülfat dayanımı için iyi bir kriter olmaktadır.Örneğin Mehta(6), stiren-bütadien lateks emülsiyonu katılmış betonların dayanımını ağırlık kaybı aracılığıyla incelemiştir.

Sülfat etkisi sonucu mineralojik yapıdaki değişmelerin incelenmesi için DTA,x-Işınları Difraksiyonu ve SEM yöntemleri de kullanılmaktadır.Bu amaçla DTA ve x- Işınları Difraksiyonu yöntemlerinin kullanılmasına Heller ve Ben Yair'in çalışmalarını(35,37) örnek gösterebiliriz. Tashiro(42),sülfata dayanıklı beton elde etmek amacıyla kağıt hamuru atık sıvısının kullanılmasını incelemek için yaptığı çalışmada,sülfat etkisinin değerlendirilmesi için örneklerdeki mukavemet ve ağırlık değişimlerinin yanısıra SEM fotoğraflarını da kullanmıştır.

Yukarıda sözü edilen tipteki sülfat çözeltisinde bekletme testlerinde,çözeltinin hem pH'sının hem de SO_4^{2-} iyonu konsantrasyonunun değişmesi söz konusudur.Bu durum,yöntemlerin yararlılığını çeşitli bakımlardan azaltmaktadır.Uygulamada karşılaşılabilecek koşullar altında sülfat dayanımını değerlendirebilmek,çözeltinin pH'sını ve SO_4^{2-} iyonu konsantrasyonunu önceden belirlenen bir değerde tutmakla sağlanabilir.Bu ise kontrollü bir şekilde H_2SO_4 katılmasıyla gerçekleştirilebilir.Bogue(43), ilk kez Merrimann'ın yaptığı böyle bir uygulamadan söz etmektedir. Merrimann,örneklerin bekletildiği Na_2SO_4 çözeltisinin sülfat iyonu konsantrasyonunu,günde bir kez olmak üzere H_2SO_4 ile nötralliğe kadar titre ederek sabit tutmaya çalışmıştır.Daha sonra benzeri bir yöntem, Mehta ve Gjorw tarafından da kullanılmıştır(44).Ardından Mehta,kontrollü pH-metre kullanarak H_2SO_4 titrasyonunu otomatikleştirmiştir(45). Mehta,12,75 mm.lik küpler şeklindeki çimento pastası örneklerinin bekletildiği %4' lük Na_2SO_4 çözeltisinin pH'sını otomatik titrasyon ile $6,2 \pm 0,5$ 'de tutmuştur.Brown(46),bu yöntemin değerlendirilmesi için bir çalışma yapmış ve kontrollü çevredeki etki koşullarını,kontrolsüz çevreninkiyle karşılaştırmıştır.Aldığı sonuçlar,kontrollü çevre sülfat testinin üstünlüğünü gösterir yöndedir.

1.3.9.3. Sülfatlı Suların Etkilerine Karşı Alınabilecek Önlemler

Sülfatlı suların etkisiyle betonların harap olmasının başlıca nedenleri,yapının geçirimli olması,hidratasyonda oluşan serbest kireç ve sülfat etkisiyle genişleyen tuzların meydana gelmesidir.Alınması gere-

ken önlemler, bu nedenlerin ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi şeklinde olmalıdır.

Beton geçirimsizliğinde en önemli rolü oynayan, yapıdaki kılcal borulardır. Bunlar ne kadar fazla ve çapları küçük ise, bu yolla betona girecek sıvı miktarı o kadar fazla olacaktır. Sülfatlı sular beton içinde kılcal boşluklarda ilerleyerek yapının üst kısmına ulaşırlar. Buralarda suyun buharlaşması ile sülfat konsantrasyonu önemli derecede artar. Böylece, başlangıçta zararlı etkisi olmayan su, kılcallık olayı sonunda beton için tahrip edici nitelik kazanabilir. Bu konuda alınabilecek önlemleri şöyle sıralayabiliriz:

- a. Beton yüzeyinde koruyucu kaplama tabakası oluşturmak,
- b. Üretimde biraz fazla çimento kullanmak,
- c. Katkı maddeleri aracılığıyla kılcal boruları tıkamak.

Hidratasyonda oluşan Ca(OH)_2 aracılığıyla ortaya çıkabilecek zarar açısından, kullanılacak çimentodaki C_3S miktarı %50'yi aşmamalıdır. Ayrıca serbest kireci tespit ederek çözünmesini önlemek de kimyasal dayanımı artıracaktır. Bu amaçla;

- a) Portland çimentosuna bir miktar puzzolan karıştırılır.
- b) Üretilmiş beton bir müddet havada tutularak koruyucu bir karbonat tabakası oluşması sağlanır.
- c) Fluatlama denilen işlemle, beton yüzeyinin bir florosilikat ile reaksiyonu sağlanır.
- d) Beton yüzeyine gaz SiF_4 gönderilir. "Oktratasyon" denilen bu işlemin ürünlerinden olan CaF_2 çözünmez bir bileşiktir, Si(OH)_4 ise boşlukları doldurur.

Genişleyen tuzların oluşmaması için, kullanılacak çimentonun C_3A içeriği yüksek olmamalı veya özel bir çimento (yüksek alüminli çimento, puzzolanlı çimento, cüruf çimentoları) seçilmelidir. (3,25)

1.3.10. BETON KATKI MADDELERİ

1.3.10.1. Tanım,Sınıflandırma ve Kullanım Amaçları

Genel olarak katkı maddeleri,harç veya betona ürünün taze veya sertleşmiş haldeki belirli özelliklerini modifiye etmek amacıyla,karıştırma sırasında katılan malzemeler olarak tanımlanmaktadırlar.

Beton teknolojisinde katkı maddeleri kullanılması eski devirlerden beri uygulanagelmektedir. Örneğin,Yunan ve Romalılar,hidrolik çimento-ların üretiminde kireçle karıştırılmış puzzolanları kullanmışlardır. Ayrıca Romalılar,harç ve beton karışımlarına işlenebilirliği artırmak için kan,süt veya kuyruk yağı da katıyorlardı.0 devirlerde kullananlar olayın teorik yönleri hakkında pek bir şey bilmiyorlardı,bildikleri tek şey iyi sonuçlar verdiğiydi.20.yüzyılın ilk yirmi yılında pek önemsenmeyen katkı maddeleri 1930'lardan sonra çok fazla önem kazanmışlardır(47). Günümüzde,doğal ve sentetik pek çok madde değişik amaçlarla kullanılmakta ve bu alanda sürekli araştırmalar yapılmaktadır.

Katkı maddesi olarak kullanılan maddelerin tipleri,amaçları ve kullanımları ile ilgili kuralların çok yararlı bir özeti ACI Committee 212 tarafından yayınlanmıştır (48) . Buna göre katkı maddeleri,oluşturan malzemenin tipine veya kullanımlarının karakteristik etkilerine göre 15 sınıfta toplanmaktadırlar.RILEM(Uluslararası Malzeme ve Yapı Laboratuvarları Birliği)tarafından yapılan sınıflandırma(49),kullanım amaçları ve başlıca etkilerine dayanmaktadır.ASTM Standart C 494-71(50),katkı maddelerini kullanım amaçlarına göre sınıflandırmaktadır.Sınıflandırmalarda başlıca esas alınan şey,kullanım amacı olmaktadır.Bu amaçların başlıcalarını şöyle sıralayabiliriz:

- a. İşlenebilirliği artırmak,
- b. Karışım için gerekli su miktarını azaltmak,
- c. Prizi geciktirmek veya hızlandırmak,
- d. Don etkisine karşı dayanımı artırmak,
- e. Geçirgenliği azaltmak,
- f. Belirli mekaniksel özelliklerini iyileştirmek,



- g. Genleşme sağlamak veya büzülmeyi önlemek,
- h. Hafif ürünler elde etmek,
- i. Alkali-agrega reaksiyonu ile olan genleşmeyi azaltmak,
- j. Mantar,böcek ve bakterilerden etkilenmeyen özellikler vermektir.

Bu arada,bir katkı maddesinin bazen betonun birden fazla özelliğini değiştirebileceği,hatta bir özelliği olumlu etkilerken,diğerini olumsuz yönde etkileyebileceği de unutulmamalıdır.Örneğin,donma-çözünme dayanımını artırmak amacıyla betona hava sürüklenmesi,mukavemette düşüşe neden olabilmektedir.Su/çimento oranı aynı olan betonlar karşılaştırıldığında,sürüklenmiş hava yüzdesi başına basınç mukavemeti azalması %5 kadar olmaktadır (51). Orchard'a göre (52),hava süreklenmesi eğilme mukavemetini %24,basınç mukavemetini %46 kadar düşürebilmektedir.Ayrıca birden fazla katkı maddesinin birlikte kullanılması da söz konusu olabilmektedir.

1.3.10.2. Betonun Su Geçirirliğini Azaltan Katkı Maddeleri

Beton geçirirliliği Üzerinde etkisi olan iki önemli faktör,betonun kalitesi ve betona suyun nüfuz ediş şeklidir.Betona suyun nüfuzu ise,basınç altında veya kılcal yolla olmaktadır.Basınç altında suyun geçişi,genellikle bir dış yüzeyden olmaktadır,oysa kılcallık yoluyla olan su hareketi her yönde olabilmektedir.

Betona suyun nüfuz etmesini ve ilerlemesini engellemek için birçok farklı tipte katkı maddesi kullanılmaktadır.Bu maddeler,ya doğrudan beton karışımına katılmakta ya da sertleşmiş beton yüzeyinde bir film ya da tabaka oluşturmak için yapılan yüzey işlemlerinde kullanılmaktadırlar.Beton yüzeyinde oluşturulan film veya tabakaların etkinlikleri ancak sağlam kalabildikleri sürece varolmaktadır.

Su geçirimsiz kılıcı madde olarak doğrudan beton karışımına katılan maddelere "Kütle Hidrofüjleri" de denilmektedir.Bunlar,gözenek tıkaçıcı veya su kovucu ve suyu geçirmeyen maddelerdir.Berrak veya bulanık sıvılar,kıvamlı sıvılar,pastalar veya kuru tozlar halinde olabilirler.

Kimyasal bakımdan aktif veya inert olabilmektedirler. Aktif olanlar, çimento ile herhangi bir şekilde etkileşen maddelerdir. İnert dolgu maddeleri, basınç altındaki suya karşı geçirimsizliği azaltmaz ve hatta artırabilirler. Bununla birlikte, çoğu işlenebilirlik aracı olarak davranıp, betonun yerleştirme sırasındaki segregasyon olasılığını azaltırlar. Bu da betonda zayıf kısımların olmamasını sağlayacağından önemli bir durumdur.

Kütle hidroföjleri kabaca aşağıdaki sınıflarda gruplandırılabilirler(3):

1- İşlenebilirlik yardımcısı ve gözenek dolgusu olarak davranan inert maddeler: Hidratlaşmış kireç, killeri, öğütölmüş SiO_2 , silikatlar, talk, tebeşir, $BaSO_4$.

2- Boşluk tıkalıcı olarak kullanılan aktif maddeler: Sodyum ve potasyum silikatlar, silikoflorürler, NH_4Cl 'li demir talaşları, diatomeli silis.

3- Bazı durumlarda boşluk tıkalıcı olarak da davranabilen aktif katkıları olan klorür ve sülfatlar: Kalsiyum ve alüminyum klorürleri, alkali sülfatlar ve jips.

4- İnert su kovucu maddeler: Kalsiyum sabunları, vakslar, mineral yağlar, bitümlü emülsiyonlar, kömür katranı artıkları, zambak, sellöloz.

5- Aktif su kovucu maddeler: Sodyum, potasyum ve amonyum sabunları, serbest yağ asitleri, bütöl stearat, bitkisel yağlar ve reçineler.

6- Protein parçalanma ürünleri.

Kütle hidroföjlerinin başlıca etkileri şunlardır(4).

- Kılcal su emme azalır.
- Priz zamanı gecikir.
- Su tutuculuk özelliği artar.
- Mekanik mukavemetler bir miktar düşer.
- Rötre artar.

1.3.10.3. Beton Teknolojisinde Polimerlerin Kullanılması

Beton ve harçlarda polimerlerin kullanılması da yeni bir konu değildir.Eski devirlerde pek çok doğal organik madde,katkı maddesi ve inşaat malzemesi olarak kullanılmıştır.Örneğin,Hindistan'a özgü bir tür nohut olan"black gram" eskiden bu ülkede harç ve plasterlerde bağlayıcı olarak kullanılmaktaydı.Chandra ve Aavik(53),ana oluşturanları proteinler ve polisakkaritler olan bu maddenin bugün kullanılan diğer polimer katkı maddeleriyle paralel işleyiş gösterip göstermediğini incelemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Polimerlerin beton teknolojilerine girmeleri,asıl 1950'li yıllarda önem kazanmaya başlamıştır.1965'ten sonra çarpıcı gelişmeler elde edilen bu alandaki araştırmalar(54,55,56) halen güncelliğini korumaktadır.

Steinberg(55),polimerlerin beton teknolojisinde kullanımını üç ana grupta toplamaktadır:

- 1- PCC veya PPCC(Polymer Cement Concrete veya Polymer Portland Cement Concrete): Polimer-Portland çimentosu betonları.
- 2- PIC (Polymer Impregnated Concrete): Polimer emdirilmiş betonlar.
- 3- PC(Polymer Concrete): Sentetik reçine betonları.

Bunlardan 1.ve 2.gruptakilere "polimerle geliştirilmiş"(polymer modified)betonlar da denilmektedir.

PCC'da,polimer malzeme normal taze betonla karıştırılmaktadır.Bunlar,karışım suyunun bir kısmının yerini,emülsiyon halindeki polimerin aldığı beton ve harçlardır.Agregaların çevresinde bir polimer filmi oluşmakta ve kılcal boşlukların bir bölümü doldurulabilmektedir.Bu amaçla,önceleri PVA (Polivinil asetat) kullanılmıştır.Fakat mukavemetler ve elastiklik modüllerinde önemli düşmeler olması ve zamanla betonun suya karşı direcinin azalması nedeniyle başka polimerler aranmıştır.Bunlar arasında PVP(Polivinil propiyonat),SBR,(Stiren-Bütadien Lateksi),NBR(Akrilonitril-Bütadien Lateksi),PVC(Polivinil klorür)emülsiyonları,PAE(Poliakrilik ester) emülsiyonları ve Epoksi emülsiyonlarını sayabiliriz.

PIC'da önceden dökülmüş ve hidratlaşmış betona, monomer emdirilmekte ve beton içinde polimerleşme gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde tüm kılcal boşluklar, hatta jel boşluklarının bir kısmı bile polimerle doldurulabilmektedir.

PC'da ise, agregaları çevreleyen matriks tümüyle polimerdir ve Portland çimentosu hamuru yoktur. Bu nedenle de polimerle modifiye edilmiş Portland çimentosu sistemleri arasına girmemektedirler.

Wagner(57), Polimerle modifiye edilmiş Portland Çimentosu sistemlerinin önemli olanlarını 4 grupta toplamaktadır.

1- Su salmaz şerbet ve harçlar. Kullanılan malzemeler: Metil sellüloz, hidroksi metil sellüloz, polivinil alkol...

2- Lifle desteklenmiş betonlar. Kullanılan malzemeler: Naylon, propilen, saran, koton, asetat reyon, orlon, dakron...

3- Polimer emdirilmiş betonlar.

4- Polimer lateksi ile modifiye edilmiş harçlar.

Katılan polimerlerin fiziksel halleri sırasıyla toz, lif, monomer öncü ve sulu polimer emülsiyonları olmaktadır.

Polimerlerin inşaat mühendisliği alanında ve beton teknolojisinde bir diğer önemli uygulaması da "süperplastifiyan" adıyla anılan beton katkı maddeleridir(4). Bunlar, betona en çok çimentonun %3'ü kadar katılırlar ve taze betonun reholojisini etkilerler. Taze betonun su gereksinimini önemli ölçüde azaltırlar. Bu katkılarla, yüksek mukavemetli beton, akışkan beton, düşük dozajlı ancak aynı mukavette beton üretilmektedir.

Yukarda anlatılanların dışında, polimerlerin beton teknolojisinde farklı uygulamaları da vardır. Örneğin, termal ve diğer yalıtım amaçlarıyla kullanılan hafif betonlar arasında polistiren boncuklu hafif betonlar da bulunmaktadır. Burada polistiren, kararlı, absorplayıcı olmayan bir agrega olarak iş görmektedir(58). Polimerlerin beton teknolojisinde değişik uygulamaları ile ilgili araştırmalara örnek olarak, süper plastikleştirilmiş betona, donma-çözünme dayanımını artırmak amacıyla içi boş plastik mikroküreler katılmasını gösterebiliriz(59).

1.3.11. FAKTİS (Factice)

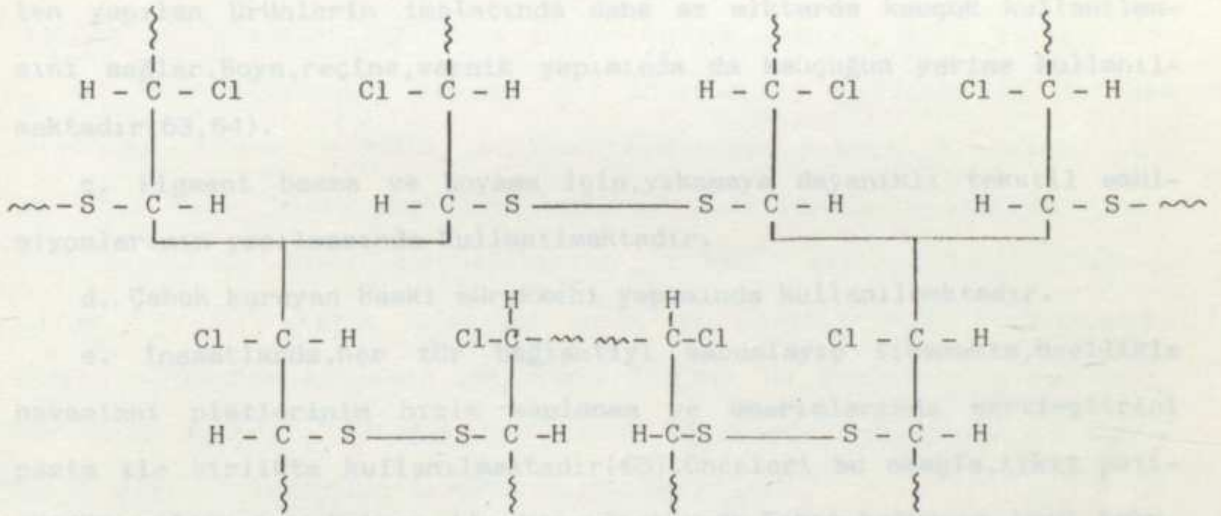
1.3.11.1. Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Faktis, bezir yağı, kolza yağı, soya fasülyesi yağı ve bazı doymamış yağların kükürt veya kükürt monoklorür (S_2Cl_2) ile reaksiyonundan elde edilen katı bir ürün olup "Vulkanize Yağ", "Vulkanize Bitkisel Yağ", "Rubber Substitute" veya kısaca "Sub" diye tanınmaktadır.

Faktis üretmek için başlıca iki ana proses ve buna göre de iki tip ürün vardır:

a. Sıcak vulkanizasyonda yağ, sıcakta kükürt (S) ile vulkanize edilmektedir. Ürün, koyu renkli olup, "Brown Factice" (kahverengi faktis) denilmektedir.

b. Soğuk vulkanizasyonda yağ, soğukta kükürt monoklorürle (S_2Cl_2) vulkanize edilmektedir. Ürün, açık renklidir ve "White Factice" (beyaz faktis) denilmektedir. Bunun olası kimyasal yapısı şöyledir (60).



Faktisin başlıca önemli özellikleri şunlardır:

- Termosettir.
- Mekaniksel basınç veya makaslama altında akabilme yada akmayı kolaylaştırma yeteneği vardır.
- Sıvı plastifiyanları absorplama kapasitesi yüksektir.
- Işık ve ozonun bozucu etkilerine karşı koruyucu özelliği vardır.
- İyi insilatördür.

f. Spesifik gravitesi düşüktür.

g. Suda ve bilinen organik çözücülerde çözünmez. Fakat, kahverengi faktis, %1'den daha az amin veya NH_3 ilavesiyle organik çözücülerde çözelti haline getirilebilmektedir(61). Faktisi çözmenin bir başka yolu(62), çözücü olarak bezir yağı veya kolza yağı kullanmaktır.

Faktisin birbirinden değişik oldukça çok sayıda kullanım alanı vardır. Bu kullanım alanlarından bazıları şu şekilde sıralanabilir:

a. Silgi yapımı. En fazla kullanıldığı alandır. Silgiye, kauçuğun 2-3 katı kadar faktis katılınca, yüze ye yenilenebilir bir özellik kazanır.

b. Doğal kauçuk ve sentetik elastomerlerde yardımcı ve modifiye edici olarak kullanılmaktadır. Bu amaçlarla kullanıldığı zaman, gerek işleme sırasında gerekse elde edilen üründe belirli iyi nitelikler sağlamaktadır. Ayrıca, spesifik gravitesinin düşük olması nedeniyle lateks-ten yapılan ürünlerin imalatında daha az miktarda kauçuk kullanılmasını sağlar. Boya, reçine, vernik yapımında da kauçuğun yerine kullanılmaktadır(63,64).

c. Pigment basma ve boyama için, yıkamaya dayanıklı tekstil emülsiyonlarının yapılmasında kullanılmaktadır.

d. Çabuk kuruyan baskı mürekkebi yapımında kullanılmaktadır.

e. İnşaatlarda, her tür bağlantıyı macunlayıp tıkamakta, özellikle havaalanı pistlerinin hızla kaplanma ve onarımlarında sertleştirici pasta ile birlikte kullanılmaktadır(65). Önceleri bu amaçla, likit polisülfür polimerler katran ile karıştırılırdı. Fakat, katranın kötü koku, koyu renk, kolay oksitlenme ve bazı çözücülere karşı dayanıksız oluşu gibi çeşitli olumsuzlukları vardır. Katran yerine faktis kullanılması bunları ortadan kaldırdığı gibi diğer bazı olumlu özellikler de sağlamaktadır.

Arambide ve Duriez(66), yol kaplamaları ile ilgili bağlayıcıları sınıflandırırken, faktise koruyucu malzemeler bölümünde sentetik kauçuklar arasında yer vermişlerdir.

1.3.11.2. Faktisin Yapay Sulu Dispersiyonlarının Hazırlanması

Doğal ve sentetik kauçuk ve kauçuk benzeri malzemelerin yapay sulu dispersiyonları genellikle şöyle yapılmaktadır: Disperslenecek malzeme plastik olana kadar öğütüldükten sonra bir içten karıştırıcı ve ön ısıtmalı karıştırıcıya aktarılır. Burada, bir hidrofilik kolloid ve su ilavesiyle sulu ortamda disperslenmiş duruma gelene kadar mastike edilir. Bu işlemde genellikle kolloidal killer, proteinler ve sabunlar olmak üzere üç tip hidrofilik madde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, çoğu kez fazla miktarda kil ya da protein bulunması istenmez. Ayrıca yüksek alifatik asitler ve KOH, NaOH veya NH_4OH aracılığıyla elde edilen sabunlar genellikle oldukça yüksek vizkoziteli dispersiyonlar vermektedirler. Talalay(67), bu sakıncaların söz konusu olmadığı bir yöntem geliştirmiş ve patent almıştır. Patentte bazı örnekler de verilmektedir. Bizim çalışmamızda faktisin sulu dispersiyonu, bu örneklerden birine göre hazırlanmış olup, izlenen yol şöyledir: 100 kısım faktis, önden ısıtmalı içten karıştırıcı-
lı bir cihaza (Örneğin Werner and Pfleiderer) yüklenir ve homojen oluncaya kadar mastike edilir. Plastifiyan olarak 5 kısım pine tar ve 5 kısım oleik asit karıştırılır. Bunlar faktis tarafından emildiği zaman 30 kısım su eklenir. Su da iyice absorplandıktan sonra yavaş yavaş 2 kısım trietanöl amin ve 1 kısım Na_2SiO_3 eklenir. Bu ekleme sırasında, kütlenin görünümü değişir ve başlangıçta dağılmış faz olan su, artık sürekli faz haline gelmiştir. Bundan sonra yapılacak olan iş istenilen oranda seyreltmektir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. MALZEMELERİN TANIMLANMASI

2.1.1. AGREGA ÖZELLİKLERİ

Harç karışımlarının hazırlanmasında Rilem-Cembureau standart kumu kullanılmış olup, granülometrisi aşağıda verildiği gibidir.

Elek delik açıklığı (mm)	Elek üzerinde kalan (%)
0,08	98 + 2
0,16	88 + 5
0,50	67 + 5
1,00	33 + 5
1,60	5 + 5
2,00	0

2.1.2. ÇİMENTO ÖZELLİKLERİ

Kullanılan çimento, Aslan Çimento Fabrikasının üretimi olan Normal Portland çimentosudur. Bu çimentonun T.S 24'e(68) göre yapılan deneylerle bulunan fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de, mekaniksel özellikleri ise Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Çimentonun x-Işınları Difraksiyonu ile tayin edilen kimyasal bileşim sonuçları Çizelge 2.3'de verilmiştir.

ÇİZELGE 2.1 : Çimentonun fiziksel özellikleri

Blaine özgül yüzeyi (cm^2/g)	: 2510
4900 delikli elekte kalan %	: 8
900 delikli elekte kalan %	: 1,8
Özgül ağırlık (g/cm^3)	: 2,98
Priz başlangıcı	: 3 saat 20 dakika
Priz sonu	: 4 saat 55 dakika

ÇİZELGE 2.2 : Çimentonun mekaniksel özellikleri (ortalama değerler)

	Numunenin Yaşı	
	7 gün	28 gün
Başınç mukavemeti (N/mm^2)	25,8	38,1
Eğilme mukavemeti (N/mm^2)	5,1	7,3

ÇİZELGE 2.3. : Çimentonun kimyasal bileşimi(%)

SiO_2 (Çözünen)	: 20,60
Çözünmeyen kalıntı	: 0,40
Al_2O_3	: 5,00
FeO	: 3,03
CaO (toplam)	: 65,25
MgO	: 1,40
SO_3	: 2,46
Kızdırma kaybı	: 1,16
Serbest kireç	: 0,70

Bogue formülleri(8) ile hesaplanmış karmaşık bileşen miktarları(%):

C_3S	: 64,06
C_2S	: 10,82
C_3A	: 8,13
C_4AF	: 9,21

2.1.3. KATKI ÖZELLİKLERİ

Çalışmada katkı olarak kullanılan beyaz faktis,Bürosan'dan sağlanmış olup özellikleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

ÇİZELGE 2.4. : Faktisin özellikleri

Aseton ekstraktı (%)	: 6
Sabunlaşmayan kalıntı(%)	: 0
Kül (%)	: 1,5
Aktif Kükürt (%)	: 0
Spesifik gravite(g/cm^3)	: 1,05

Faktisin harç karışımında homojen bir şekilde dağılabilmesi için sulu dispersiyonu hazırlanmıştır.Bu işlem,Yarımca Petrokimya Tesisleri Satış Müdürlüğü Laboratuvarında,yararlanılan yöntemde(67) önerildiği şekilde ve aynı tip cihazda yapılmıştır.İşlem,paragraf 1.3.11.2 de anlatıldığı gibidir.

2.2. HARÇ KARIŞIMLARI

2.2.1. KABUL EDİLEN İLKELER

Üretilecek harç örneklerinde kullanılacak katkı yüzdelerini saptamak amacıyla ön denemeler yapılmıştır.Bu denemelerde,tüm harç karışımları için çimento/kum oranı 1:3 olarak sabit tutulmuştur.Su/Çimento oranı 0,45 ve 0,60,katkı yüzdeleri çimento ağırlığına göre, %0,0 , 0,5 , 1,0 ve 3,0 olmak üzere sekiz tip harç üretilmiştir.Bu harçların 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç mukavemetleri saptanmıştır.Sonuçlar, katkı maddesinin,mukavemetin yanısıra kıvam üzerine de etkili olduğunu göstermiştir.Mukavemet sonuçlarına bakılarak katkı yüzdeleri 0,3, 0,6 , 1,0 ve 1,5 olarak seçilmiştir.Ancak boy değişim oranı deneyi için %0,3'lük katkı oranı kullanılmamıştır.

Kıvam üzerindeki etkiyi daha iyi görebilmek amacıyla ilave denemeler de yapılmıştır.Bu denemelerde çimento/kum oranı 1:3 ve su/çimento oranı 1:2 olarak sabit tutulup,katkısız ve seçilen yüzdelerde katkı içeren harç karışımları hazırlanmış ve kıvamları saptanmıştır.Alınan sonuçlar(Bölüm 3'de verilmiştir),katkının kıvam üzerinde etkili olduğunu açık bir şekilde göstermiştir.Bu nedenle,katkı maddesi ile üretilen harçların şahit harç ile aynı(± 5 tolerans sınırları içinde) kıvamı vermeleri için su miktarında azaltma yapılmasına karar verilmiştir.Böyle bir yol seçilmesinin nedeni,katkı maddelerini ilgilendiren Türk Standartlarının(69,70) deney karışımlarının hazırlanmasında bu yolu şart koşmuş olması ve katkı maddeleri ile yapılan birçok araştırmada (53,59,71) aynı yolun izlenmiş olmasıdır.Ayrıca Mikhail,Shater ve El-Akkad (72), polimer katılmasının işlenebilirlik üzerine önemli dere-

recede etkisi olduğu için,mukavemet değerlendirmelerinde su/çimento oranında aynı işlenebilirliği verecek şekilde değişiklik yapılması gerektiğini ifade etmektedirler.

2.2.2. KARIŞIMA GİRECEK MALZEME MİKTARLARININ SAPTANMASI

Tüm karışımlarda çimento ve kum miktarları aynı olup,su miktarı değişmektedir.Katkılı harçlarda kullanılacak su miktarını saptamak için,TS 24'de belirtildiği gibi 450 gram çimento,1350 gram kum ve 225 gram su ile hazırlanan katkısız harcın kıvamı esas alınmıştır.Buna bağlı olarak katkılı harçlarda,su miktarlarında gerekli azaltmalar yapılarak kıvamlarının(yayılma yüzdesi) katkısız harcinkine benzemesi ve tüm harçlarda kıvamların $\%60 \pm 5$ olması sağlanmıştır. Böylece herbir karışıma girecek su miktarları saptanmıştır.

Harç karıştırma kabının kapasitesi bir seferde ancak üç örnek için gerekli harç üretimine izin verdiğinden,harçlar üçer örneklik karışımlar halinde hazırlanmıştır.

Üretilen harçların bileşimine giren malzeme miktarları Çizelge 2.5 de verildiği gibidir.

ÇİZELGE 2.5 : Şahit ve katkılı harçların bileşenleri

Harç Türü (*)	Kum (g)	Çimento (g)	Su (g)	Katkı (g)	Su/Çimento oranı
H (0,0)	1350	450	225	-	0,50
H (0,3)	1350	450	215	1,35	0,48
H (0,6)	1350	450	210	2,70	0,46
H (1,0)	1350	450	210	4,50	0,46
H (1,5)	1350	450	210	6,75	0,46

(*) Harç türleri için kullanılan sembollerde parantez içindeki sayılar katkı oranını göstermektedir.Bundan sonra hep aynı gösteriliş şekli kullanılacaktır.

2.2.3. HARÇ ÜRETİMİ-KARIŞTIRMA,YERLEŞTİRME,SAKLAMA

Harçların karıştırılması TS 24'e göre ve resmi Şekil 2.1'de gösterilmiş olan RILEM Karıştırıcısında yapılmıştır.



ŞEKİL 2.1 : Harçların karıştırıldığı RILEM Karıştırıcısı

Karıştırma işleminin tamamlanmasından sonra taze harç deneyleri yapılıp,yine TS 24'e göre Sarsma Aletinde kalıplarına yerleştirilmişlerdir.Kalıpların üstü cam plakalarla kapatılıp sıcaklığı $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemi $\%60 \pm 5$ olan klima odasında 24 saat bekletilmişlerdir.Bu sürenin sonunda kalıplardan çıkarılan örnekler aşağıda belirtilen bakım koşullarında ve sürelerde tutulmuşlardır.

- Kılcallık ve su emme denemelerinde kullanılacak örneklerin yarısı,klima odası atmosferinde,diğer yarısı ise aynı yerde bulunan su havuzunda bekletilmişlerdir.Bekletme süresi 28 gündür.

- Mukavemet örnekleri, deney yaşına bağlı olarak 7,28 ve 90 gün su havuzunda bekletilmiştir.

- Boy değişimi deneyi örnekleri, kalıptan çıkarılır çıkarılmaz sıcaklığı $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemi $\%65 \pm 5$ olan bir başka ortama götürülmüşlerdir. İlk ölçümler alındıktan sonra, yarısı ortam atmosferinde, diğer yarısı ise aynı ortamdaki su havuzu içinde bekletilmişlerdir. Bekletme süresince her hafta boyları ölçülen bu örnekler için toplam bekletme süresi 90 gündür.

- Sülfat dayanımı deneyi örneklerinin tümü kalıplardan çıkarılarak klima odasındaki ortamda bulunan su havuzunda 28 gün bekletilmişlerdir. Bu ön bekletme süresinden sonra boy ve ağırlık değişimleri incelenecek örneklerin ilk ölçümleri alınmıştır. Ardından örneklerin yarısı destile suya, diğer yarısı $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ (%5 lik) çözeltisi içersine yerleştirilmiştir. Her hafta aynı ölçümler tekrarlanmak üzere, bu ortamlarda toplam 17 hafta bekletilen örneklerin bu süre sonunda mukavemetleri tayin edilmiştir. Mukavemet değişimini incelemek için hazırlanan örnekler ise, yarısı destile suya, diğer yarısı $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ çözeltisine yerleştirilerek, deney yaşına bağlı olarak 2,4,6 ve 8 hafta bekletilmişlerdir.

2.3. NUMUNE BOYUT VE SAYILARI

Kılcallık deneyleri dışında tüm deneylerde, $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ 'lük prizmalar kullanılmıştır. Kılcallık deneyleri için hazırlanan örnekler ise, $7 \times 7 \times 7 \text{ cm}^3$ 'lük küplerdir.

Üretilen her harç karışımından üç örnek hazırlanmıştır. Fakat boy değişimini ilgilendiren örneklerden bazılarının ölçüm çivilerinin yerinden çıkması nedeniyle bu deneyler daha az sayıda örnek üzerinde yapılabilmektedir.

Eğilme ve basınç mukavemeti örneklerinin önce eğilme mukavemetleri belirlenmiştir. Basınç deneyleri için, eğilme deneyinde iki parçaya bölünmüş olan yarım prizmalar kullanılmıştır.

2.4. DENEYLERİN TANIMLANMASI

2.4.1. KATKI MADDESİNİN PRİZ SÜRELERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN TAYİNİ

Priz deneyleri TS 24'e göre Vicat Aletiyle yapılmıştır.

Deneyin Yapılışı:

a. Normal çimento hamuru için gerekli su miktarının saptanması.

300 gram çimento, ağırlığının %25-30'u kadar su ile hamur haline getirilir. Bir cam levhaya oturtulmuş Vicat Halkası içersine yerleştirilen hamurun yüzeyi düzeltilir. Aletin göstergesi sıfıra getirilir ve aletin sondası yüzeye dokunacak kadar indirilip yavaşça serbest bırakılır. Normal kıvamlı hamur için gerekli su yeterli ise, sonda yarım dakika içinde cam levhaya 5-7 mm kalıncaya kadar iner. Mesafe 5 mm'den az ise su miktarı azaltılır, 7 mm den fazla ise artırılır. Böylece işlem çeşitli miktarlarda su ile tekrarlanarak gerekli su miktarı tayin edilir.

b. Priz başlama ve sona erme sürelerinin tayini.

Normal kıvamdaki çimento hamuru Vicat Halkasının içine yerleştirilir. Aletin iğnesi hamurun üst yüzeyine dokunacak kadar indirilir ve yan taraftaki vida sıkıştırılır. Sonra vida gevşetilip iğnenin hamur içersine serbestçe girmesi sağlanır. Bu işlem, her 5 dakikada bir tekrarlanarak, iğnenin cam levhaya 3-5 mm uzaklıkta kaldığı an saptanır. Bu anda priz başlamış sayılır ve suyun karıştırıldığı andan prizin başlangıç anına kadar geçen zaman "Priz Başlama Süresi"ni verir. Bundan sonra işlem 15 dakikada bir tekrarlanarak "Priz Sona Erme Süresi" saptanır. Bu süre, suyun karıştırıldığı andan itibaren iğne hamura en çok 1 mm girinceye kadar geçen süredir.

2.4.2. TAZE HARÇ DENEYLERİ

Taze harçların kıvam ve birim ağırlıkları tayin edilmiş ve hesaplamayla hava boşluğu miktarı bulunmuştur. Bu tayin ve hesaplamalarda Türk Standartlarından (73,74) yararlanılmıştır.

2.4.2.1. Kıvam Tayini

Kıvam tayinleri, resmi Şekil 2.2'de gösterilmiş olan Sarsma Tablası Aleti'nde yapılmış ve harçların yayılma yüzdeleri belirlenmiştir.



ŞEKİL 2.2 : Sarsma Tablası Aleti

Denemenin Yapılışı: Aletin üstü silinip temiz ve kuru duruma getirilir. Ortasına harç kalıbı konulur. Kalıbın içine harç örneğinden 2,5 cm yüksekliğinde bir tabaka yerleştirilir ve sıkılayıcı ile 20 kez hafifçe vurularak sıkılanır. Bundan sonra tamamen harçla doldurularak aynı şekilde sıkılanır. Harcın fazlası sıyrılarak alınır ve üst düzey düzgün hale getirilir. Bu işlemlerin tamamlanmasından 1 dakika sonra kalıp düşey olarak kaldırılır ve hemen Sarsma Tablası Aleti çalıştırılır. Sarsma, tablanın 15 saniye içinde 25 kez düşmesi ile sağlanır. Yayılmış olan harç kütlesinin ortalama çapı (R, cm), yapılan dört ölçümün ortalaması alınarak bulunur ve yayılma oranı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Yayılma oranı, } Y = \frac{R - 10}{10} \times 100 (\%)$$

2.4.2.2. Birim Ağırlıkların Tayini

500 ml.lik ölçme kabı musluk suyu ile tamamen doldurulur ve tartılır.Bu tartımdan kabın darası düşülerek kabı dolduran suyun net ağırlığı bulunur.Bu ağırlık aracılığıyla kabın net hacmi(V_k) hesaplanır. Bundan sonra taze harç,kabın içine iki tabaka halinde ve şişleme çubuğu ile şişlenip sıkıştırılarak yerleştirilir.Her tabaka şişleme çubuğunun 20 darbesi ile sıkıştırılır.Sıkıştırılmış harç yüzeyi,kabı tam üst seviyeye kadar doldurulacak şekilde sıyrılarak düzeltilir ve dolu kap tartılır.Brüt ağırlıktan,kabın darası çıkarılarak kaptaki harcın net ağırlığı(W_n) bulunur.Taze harcın birim ağırlığı (Δ) aşağıdaki formülle hesaplanır ve sonuç Kg/m^3 olarak ifade edilir:

$$\text{Birim Ağırlık , } \Delta = \frac{W_n}{V_k} \quad (Kg/m^3)$$

2.4.2.3. Hava Miktarının Hesaplanması

Yüzde hava miktarı,

$$A = \frac{V - V_t}{V} \times 100$$

formülü ile hesaplanır.

Burada V, elde edilen taze harcın gerçek hacmi olup,harcı oluşturan maddelerin ağırlıkları(kg) toplamını birim ağırlığa (kg/m^3) bölmek suretiyle bulunur.

$$V = \frac{W_{çim} + W_{kum} + W_{su} + W_{katkı}}{\Delta} \quad (m^3)$$

V_t , karışımda hava hariç,harcı oluşturan maddelerin mutlak hacimleri toplamıdır ve aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$V_t = \frac{W_{çim.}}{\rho_{çim.}} + \frac{W_{kum}}{\rho_{kum}} + \frac{W_{su}}{\rho_{su}} + \frac{W_{katkı}}{\rho_{katkı}} \quad (m^3)$$

2.4.3. SERTLEŞMİŞ HARÇ DENEYLERİ

2.4.3.1. Eğilme ve Basınç Mukavemeti Deneyleri

Mukavemet deneyleri TS 24'e göre aşağıda anlatıldığı şekilde yapılmışlardır.

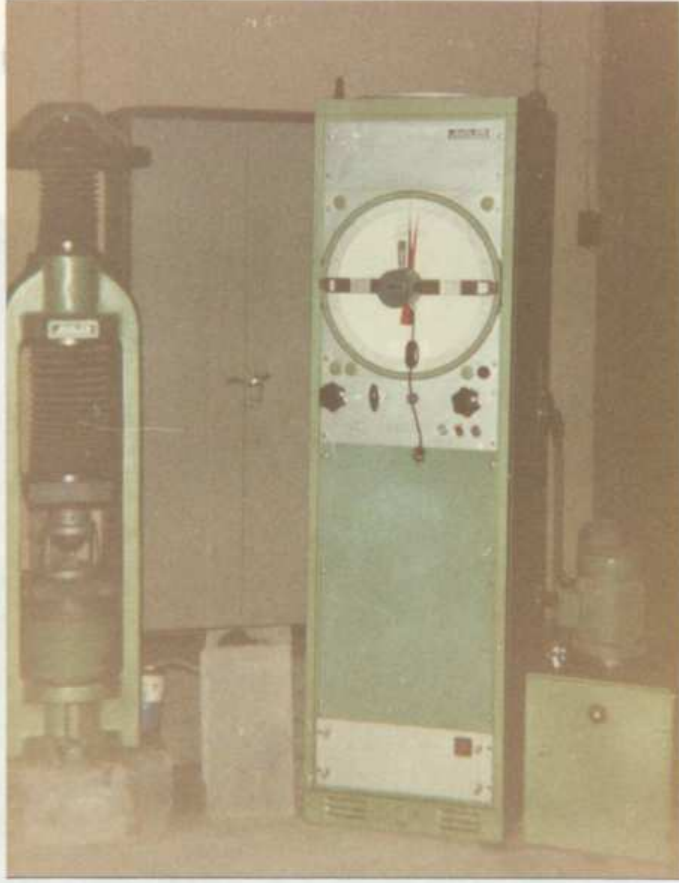
Eğilme deneyleri, resmi Şekil 2.3. de gösterilmiş olan Eğilme Aletinde yapılmıştır. Deneylerde mesnet açıklığı, $l = 10$ cm tutulmuştur.



ŞEKİL 2.3 : Eğilme mukavemeti aleti

Harç prizması, eğilme aletinin destek silindirleri üstüne, kalıpla temas eden yan yüzeylerinden biri üzerine yerleştirilir. Prizmanın uzunluğuna eksenine, destek silindirleri eksenine dik konumlu olmalıdır. P yükü, yükleyici silindir aracılığıyla karşı yüzden dik olarak uygulanır.

Basınç deneyleri, resmi Şekil 2.4'de verilmiş olan 500 ton kapasiteli Amsler marka pres ile yapılmıştır. Bu deneylerde, eğilme mukavemeti deneylerinde iki parçaya bölünmüş olan yarım prizmalar kullanılmıştır. Prizmalar, kalıpla temas etmiş yan yüzleri 4×4 cm'lik çelik plakalar arasına yerleştirilerek basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Deneylerde yükleme hızı, gerilme artışı saniyede $0,3 \text{ N/mm}^2$ olacak şekilde sabit tutulmuştur.



ŞEKİL 2.4 : Basınç mukavemetlerinin tayin edildiği pres

2.4.3.2. Su emme,görünen boşluk oranı ve birim ağırlık tayinleri

Bu tayinlerin yapılışı için başvurulacak kaynaklara göre işlem ve hesaplamalar şöyle olmaktadır(75,76):

Deney örnekleri $100-110^{\circ}\text{C}$ arasında sıcaklıkta tutulan etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulurlar. Etüvden çıkartılan örnekler desikatörde soğutulup tartılırlar. Tartım değeri, etüv kurusu ağırlık (W_0) olarak kaydedilir.

Etüv kurusu ağırlıkları saptanmış örnekler $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ deki su içine batırılırlar. 24 saat sonra sudan çıkarılan örnekler, yüzey ıslaklıkları bir havlu ile kurulananarak tartılırlar. Tartım değeri,

suya doygun ağırlık (W_d) olarak kaydedilir.

Su içindeki ağırlıkların (W_s) saptanması,örneğin su dolu bir kap içine asılmasıyla yapılır.Bu ölçüm için,resmi Şekil 2.5'de verilmiş olan Arşimet Terazisi kullanılmıştır.



ŞEKİL 2.5 : Arşimet Terazisi

Hesaplamalarda kullanılan formüller aşağıda verilmiştir.

Ağırlıkça su emme oranı, $m = \frac{W_d - W_o}{W_o} \times 100 (\%)$

Hacmen görünen boşluk oranı, $B = \frac{W_d - W_o}{W_d - W_s} \times 100 (\%)$

Birim ağırlık (kuru özgül ağırlık), $\Delta = \frac{W_o}{W_d - W_o} (\text{kg/dm}^3)$

lan örnek tartılarak suya doygun ağırlığı (W_d) saptanır. Toplam boşluğa göre kılcal boşluk yüzdesi, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

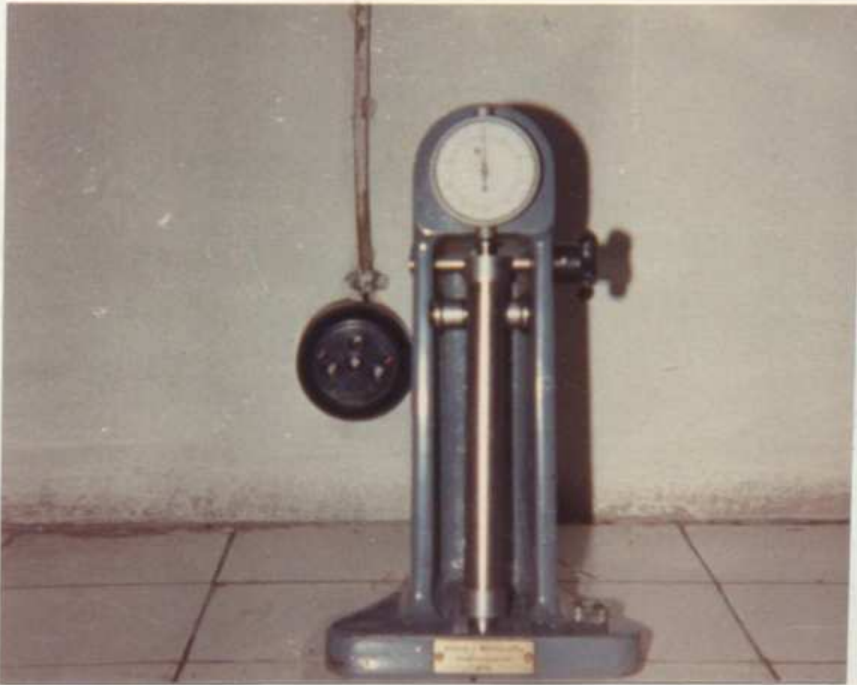
$$\text{Toplam boşluğa göre kılcal boşluk yüzdesi} = \frac{W_k - W_o}{W_d - W_o} \times 100$$

Yapılan çalışmada, örneklerin etüvde bekletilme süreleri 48 saattir. Tartımlar deney başlangıcından itibaren 1,4,9,16,25 ve 36.dakikalarda ve duyarlılığı $1000 \pm 0,01$ g olan bir terazi ile yapılmıştır.

2.4.3.4. Boy Değişimi Deneyleri

Bu deneylerde harçların hem suda hem de havada bekletme ile boy değişimleri incelenmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu deneylerde %0,3 katkı oranı kullanılmamıştır. Ayrıca, bazı örneklerde ölçüm çivilerinin yerlerinden oynaması nedeniyle, deneyler ikişer örnek üzerinde gerçekleştirilebilmiştir.

Boy ölçümleri, resmi Şekil 2.6 da verilmiş olan Boy Ölçer ile gerçekleştirilmiştir.



ŞEKİL 2.6 : Boy ölçümlerinin yapıldığı alet

Ölçümler,örnekler kalıptan çıkarıldığı günden başlayarak haftada bir yapılmıştır.Her deney günü,önce ayar çubuğu kullanılarak aletin boy ölçme aralığı ayarlanmış,daha sonra ölçüm çivileri içeren örneklerin boyları ölçülmüştür.Boy değişimi oranı hesaplamaları aşağıdaki formül aracılığıyla yapılmıştır.

$$B_d = \frac{l_1 - l_d}{l_1} \times 100 = \frac{\Delta l}{l_1} \times 100 \quad (\%)$$

B_d : Deney örneğinin d günlük iken saptanan boy değişim oranı (%)

l_1 : Örneğin ilk ölçülen boyu (mm)

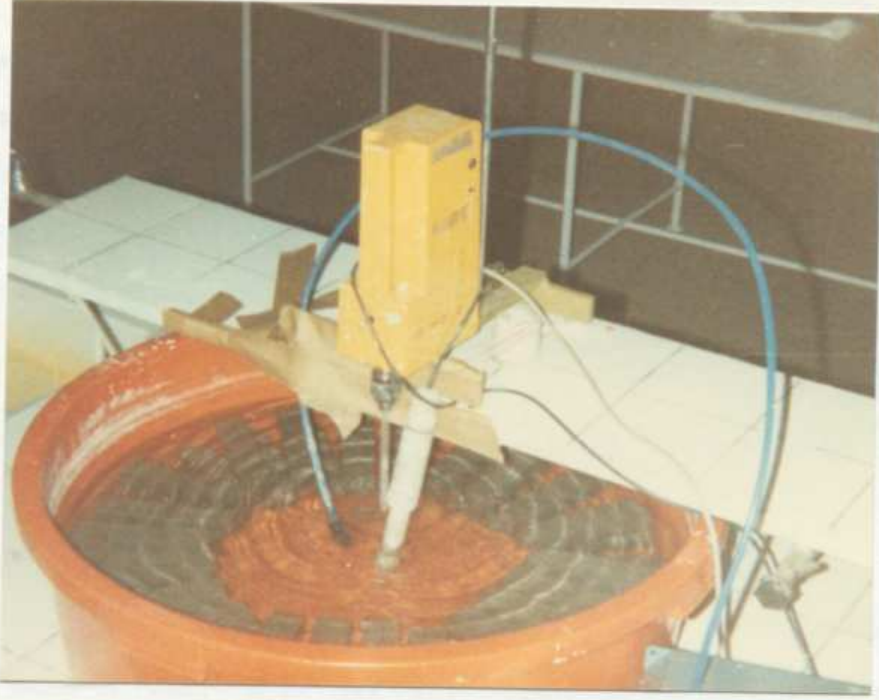
l_d : Örneğin d günlük iken ölçülen boyu (mm)

2.4.3.5. Sülfat Dayanımı Deneyleri

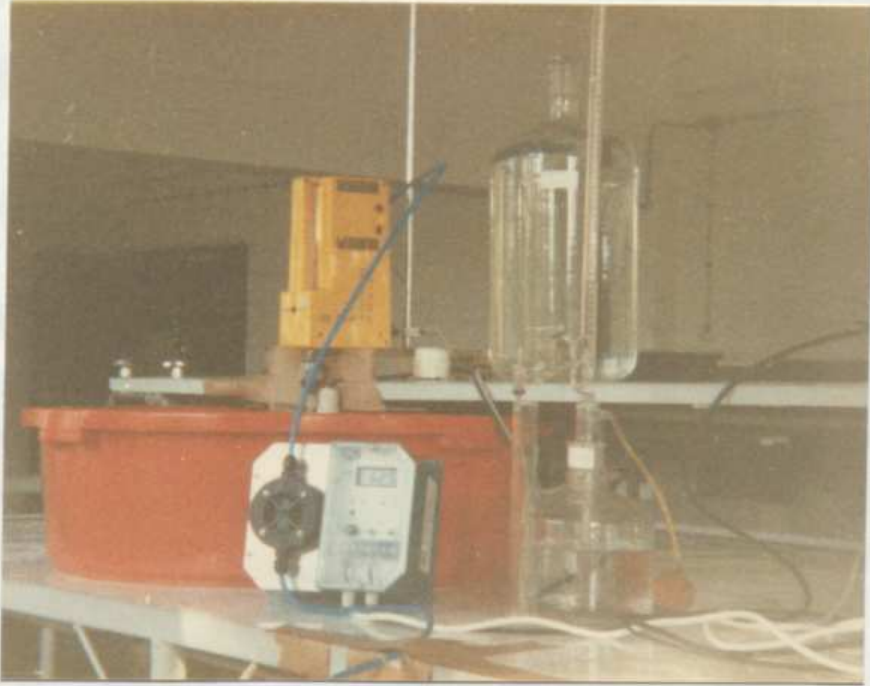
Katkısız ve katkılı harçlar üzerine sülfat etkisini incelemek için şu deneyler yapılmıştır:

- Sülfat etkisinde bırakılan örnek üzerinde eğilme ve basınç mukavemetleri değişimleri,
- Boy ve ağırlık değişimlerinin tayini,
- Mineralojik yapıdaki değişikliklerin x-Işınları Difraksiyonu ve DTA ile incelenmesi.

Sülfat etkisini oluşturmak için,Mehta tarafından geliştirilen yöntem(45) esas alınmıştır.Numunelerin içinde bekletildikleri 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinin pH'sı sürekli $6,2^{+0,5}$ 'de sabit tutulmuştur.Bu amaçla resmi Şekil 2.7 (a)ve (b) de gösterilmiş olan düzenden yararlanılmıştır.



ŞEKİL 2.7(a) : Sülfat etkisinin oluşturulduğu otomatik pH kontrollü düzenek(üstten görünüş)



ŞEKİL 2.7(b) : Sülfat etkisinin oluşturulduğu otomatik pH kontrollü düzenek (cepheden görünüş)

pH kontrolü,pH-metreye bağlı olan dozaj pompası aracılığıyla, sürekli olarak $0,1 \text{ N H}_2\text{SO}_4$ ile titrasyon yapılarak sağlanmıştır.Böylece deney süresince ortamın pH'sı ve SO_4^{2-} iyonu konsantrasyonu sabit tutulmaya çalışılmıştır.Ayrıca çözelti bir karıştırıcı ile sürekli olarak karıştırılarak homojenlik sağlanmaya çalışılmıştır.

Etkilerin değerlendirilmesinde izlenilen yollar aşağıda anlatılmaktadır.

2.4.3.5.1. Sülfat Etkisiyle Mekanik Mukavemet Değişimlerinin İncelenmesi

Bu amaçla,her yaş için katkısız ve katkılı harçlardan 6'şar tane örnek hazırlanmıştır.Örneklerin tümü kalıplardan çıkarıldıktan sonra klima odasındaki su havuzuna yerleştirilmişler ve 28 gün burada tutulmuşlardır.Bu sürenin sonunda 3'er tanesi destile suya,3'er tanesi de yukarıda tanımlanmış olan sülfat çözeltisine yerleştirilmişlerdir.Bu ortamlara yerleştirilmelerinden itibaren 2,4,6 ve 8.haftalarda mukavemet deneyleri yapılmıştır.

2.4.3.5.2. Boy ve Ağırlık Değişimleri Tayini

Bu denemeler için,boy ölçüm çivileri olan örnekler hazırlanmıştır. Örneklerden bazılarının ölçüm çivilerinin oynamış ya da yerlerinden çıkmış olması nedeniyle deneyler genellikle 3 yerine 2 şer örnek üzerinden gerçekleştirilebilmiştir.

Mukavemet deneylerinde olduğu gibi 28 gün normal su kürü uygulanmıştır.Bu süre sonunda,ilk boy ve ağırlık ölçümleri yapılmış ve yarısı destile suya ve diğer yarısı da sülfat çözeltisine yerleştirilmiştir. Deney süresince her hafta boy ve ağırlık ölçümleri tekrarlanmış ve 17. hafta sonunda da mukavemet ölçümleri yapılmıştır.

2.4.3.5.3. x-Işınları Difraksiyonu ve DTA İncelemeleri

x-Işınları incelemeleri,katkısız ve %0,3 ile %1,0 katkı içeren örnekler için yapılmıştır.

İncelemelerde, 28 gün normal su kürü görmüş örnekler, 28 günlük su kürüne ilave olarak 17 hafta destile suda bekletilmiş örnekler ve 28 günlük su küründen sonra 17 hafta sülfat çözeltisinde bekletilmiş örnekler kullanılmıştır.

İncelemelerde, önce örnekler öğütülüp ince toz haline getirilmiş ve x-Işınları Difraksiyon diyagramları çekilmiştir. Ayrıca, aynı toz örnekleri ıslatılıp bir de ıslak olarak diyagramları alınmıştır. Belirtilen koşullarda hazırlanan örneklerin x-Işınları Difraksiyon diyagramlarının elde edilmesinde bakır hedef maddeli Philips marka (PW 1140/90) x-Işınları Difraktometresi kullanılmıştır. 40 kv-30mA de çalıştırılan cihazda elde edilecek K_{β} ışınımlarının etkisini azaltmak amacıyla Ni filtre kullanılmıştır. Örneklerle ait x-Işınları Difraksiyon diyagramları $2\theta=6-67^{\circ}$ aralığında kaydedilmiş ve elde edilen veriler, söz konusu örneklerde oluşan fazların karakteristik çizgilerinin belirlenmesi için yeterli olmuştur.

DTA incelemeleri yapılan örnekler, 28 gün normal su küründen sonra Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilenlerden katkısız ve %0,3 ile %1 katkı içerenlerdir. Destile suda bekletilen örneklerin DTA incelemeleri ise katkısız ve %0,3 katkılı olanlar için yapılmıştır.

Söz konusu örnekler öğütüldükten sonra, sıcaklığı $50^{\circ}C$ olan etüvde 2 saat bekletilerek kurutulmuşlardır. DTA grafikleri çekimlerindeki çalışma koşulları aşağıda verildiği gibidir:

Tartım	: 20 mg
Kağıt hızı	: 100 mm/saat
Isıtma hızı	: $20^{\circ}C$ /dak
ΔT	: 0,1 mV

Referans : Al_2O_3

Atmosfer : Hava

Çekilmiş olan grafiklerde, DTA eğrilerinin yanısına TGA (Termal Gravimetrik Analiz) eğrileri de bulunmaktadır. Böylece sıcaklığa karşı madde kaybı da incelenmiş olmaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Bu bölümde, önceki bölümde açıklanan yöntemlerle yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, çizelge ve grafikler halinde verilecek, ancak gerekli görülen yerlerde açıklamalar yapılacaktır.

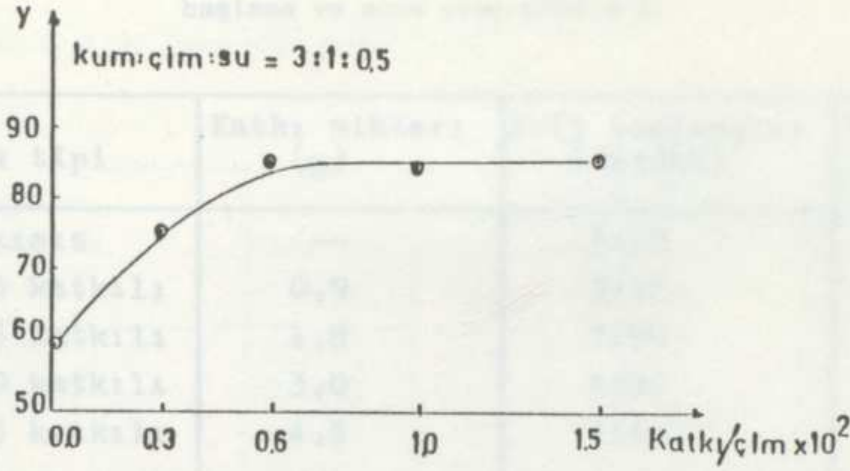
3.1. KIVAM DENEYİ SONUÇLARI

Katkı maddesinin kıvam üzerine etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerde, çimento:kum oranı 1/3 ve su:çimento oranı 0,50 olan katkısız ve katkılı harçların yayılma yüzdeleri tayin edilmiştir. Ayrıca bu harçlarda birim ağırlık deneyleri yapılarak hava miktarları hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.1. de verilmiştir.

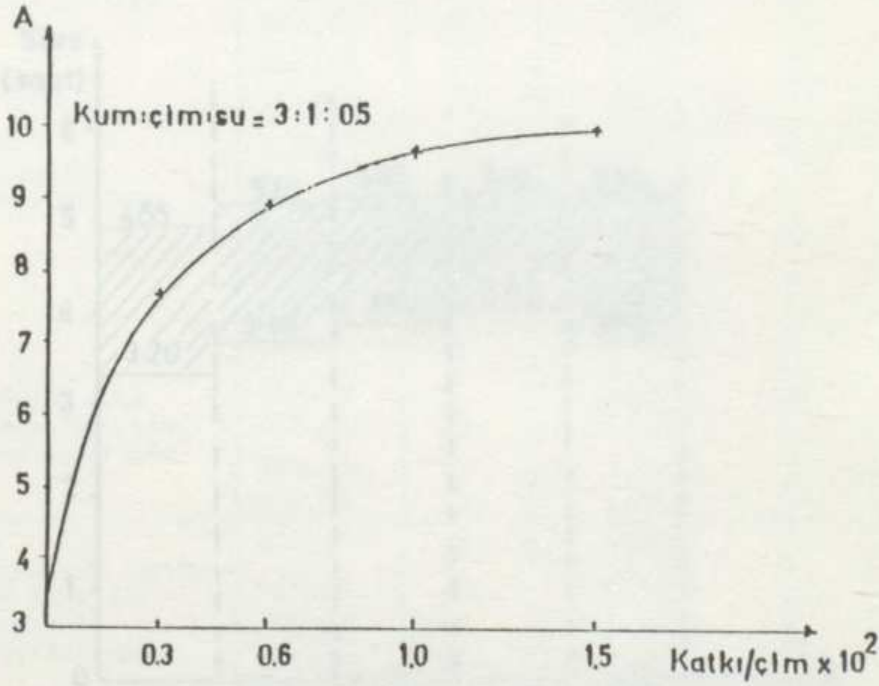
Katkı miktarına bağlı olarak kıvam değişmesi Şekil 3.1 de, hava miktarı değişmesi ise Şekil 3.2 de grafiksel olarak gösterilmiştir.

ÇİZELGE 3.1: Su/Çimento oranı 0,5 olan katkısız ve katkılı harçların kıvam, birim ağırlık ve hesapla bulunan hava miktarları

Harç türü	Kıvam, Y (Yayılma yüzdesi)	Birim ağırlık, Δ (kg/dm ³)	Hava miktarı, Λ (%)
H(0,0)	59	2,21	3,37
H(0,3)	75	2,11	7,66
H(0,6)	85	2,08	8,89
H(1,0)	84	2,06	9,66
H(1,5)	85	2,05	9,77



ŞEKİL 3.1 : Katkı oranına bağlı olarak kıvamın değişmesi



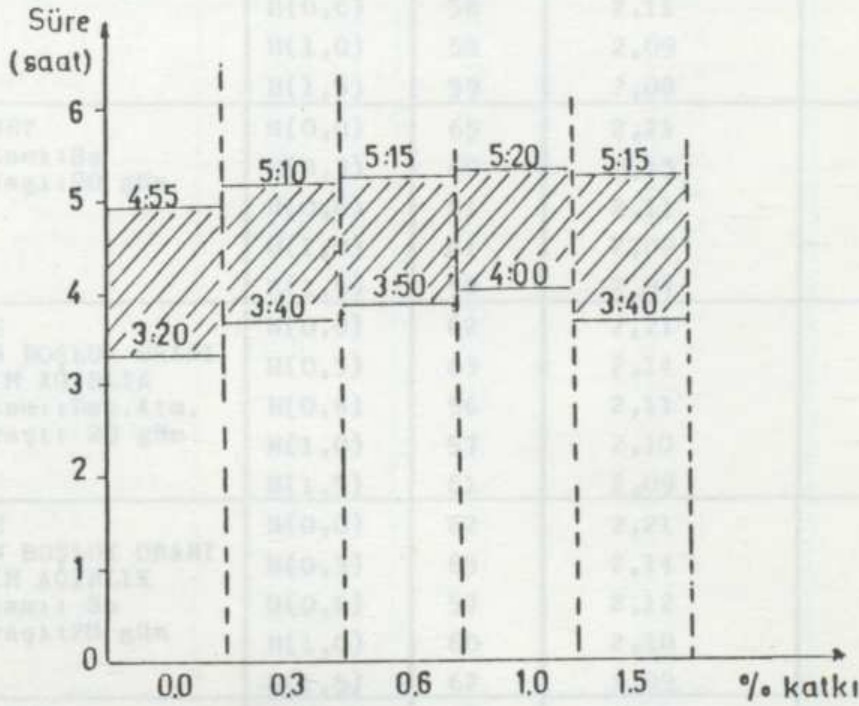
ŞEKİL 3.2 : Katkı oranına bağlı olarak hava miktarı değişmesi

3.2. PRİZ DENEYİ SONUÇLARI

Bu deneylerde normal kıvam suyu, katkısız harç için %26, yani 78 gram olarak saptanmıştır. Buna bağlı olarak, tüm çimento pastaları 300 gram çimento ve 78 gram su ile hazırlanmıştır. Tek fark, katkılı olanların çimento ağırlığına göre, belirlenmiş yüzdelerde katkı maddesi içermesidir. Deney sonuçları Çizelge 3.2 de verilmiştir. Ayrıca, Şekil 3.3'de grafiksel olarak da gösterilmiştir.

ÇİZELGE 3.2 : Katkısız ve katkılı çimento pastalarının priz başlama ve sona erme süreleri.

Pasta tipi	Katkı miktarı (g)	Priz başlangıcı (sa:dak)	Priz sonu (sa:dak)
Katkısız	—	3:20	4:55
% 0,3 katkılı	0,9	3:40	5:10
% 0,6 katkılı	1,8	3:50	5:15
% 1,0 katkılı	3,0	4:00	5:20
% 1,5 katkılı	4,5	3:40	5:15



ŞEKİL 3.3 : Priz süresinin katkı maddesinin oranına bağlı olarak değişmesi.

3.3. TAZE HARÇ ÖZELLİKLERİ

Üretilen harçların taze harç özellikleri ve kullanıldıkları denemeler Çizelge 3.3'de toplu olarak gösterilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.4'de taze harçlar için ortalama birim ağırlık ve hava miktarı değerleri verilmiştir.

ÇİZELGE 3.3: Taze harç özellikleri

DENEY ADI	HARÇ TÜRÜ	TAZE HARÇ ÖZELLİKLERİ		
		Kıvam, Y (%)	Birim ağırlık, (kg/dm ³)	Hava miktarı, A (%)
MUKAVEMET Kür ortamı: Su Deney yaşı: 7 gün	H(0,0)	62	2,21	3,37
	H(0,3)	65	2,13	7,38
	H(0,6)	56	2,11	8,46
	H(1,0)	60	2,10	8,79
	H(1,5)	55	2,09	9,09
MUKAVEMET Kür ortamı: Su Deney yaşı: 28 gün	H(0,0)	56	2,21	3,37
	H(0,3)	59	2,13	7,38
	H(0,6)	56	2,11	8,46
	H(1,0)	58	2,09	9,22
	H(1,5)	59	2,08	9,52
MUKAVEMET Kür ortamı: Su Deney Yaşı: 90 gün	H(0,0)	65	2,21	3,37
	H(0,3)	60	2,13	7,38
	H(0,6)	61	2,11	8,46
	H(1,0)	61	2,09	9,22
	H(1,5)	58	2,07	9,96
SU EMME GÖRÜNEN BOŞLUK ORANI ve BİRİM AĞIRLIK Kür ortamı: Lab. Atm. Deney yaşı: 28 gün	H(0,0)	62	2,21	3,37
	H(0,3)	63	2,14	6,94
	H(0,6)	56	2,11	8,46
	H(1,0)	57	2,10	8,79
	H(1,5)	61	2,09	9,09
SU EMME GÖRÜNEN BOŞLUK ORANI ve BİRİM AĞIRLIK Kür ortamı: Su Deney yaşı: 28 gün	H(0,0)	62	2,21	3,37
	H(0,3)	65	2,14	6,94
	H(0,6)	57	2,12	8,03
	H(1,0)	60	2,10	8,79
	H(1,5)	62	2,09	9,09
KILCALLIK Kür ortamı: Lab. Atm. Deney yaşı: 28 gün	H(0,0)	57	2,21	3,37
	H(0,3)	63	2,13	7,38
	H(0,6)	61	2,11	8,46
	H(1,0)	64	2,09	9,22
	H(1,5)	64	2,07	9,96

ÇİZELGE 3.3 : Taze harç özellikleri (devam)

DENEY ADI Kür ortamı ve Deney Yaşı	HARÇ TÜRÜ	TAZE HARÇ ÖZELLİKLERİ		
		Kıvam, %	Birim ağırlık, (kg/dm ³)	Hava miktarı, %
KILÇALLIK Kür ortamı: Su Deney yaşı: 28 gün	H(0,0)	61	2,21	3,37
	H(0,3)	61	2,13	7,38
	H(0,6)	56	2,10	8,90
	H(1,0)	62	2,10	8,79
	H(1,5)	62	2,07	9,96
Havada Bekletme ile BOY DEĞİŞİM ORANI (RÜTRE) Kür ortamı: Lab. Atm.	H(0,0)	58	2,21	3,37
	H(0,6)	60	2,11	8,46
	H(1,0)	61	2,09	9,22
	H(1,5)	60	2,08	9,52
Suda bekletme ile BOY DEĞİŞİM ORANI Kür ortamı: Su	H(0,0)	60	2,21	3,37
	H(0,6)	58	2,11	8,46
	H(1,0)	63	2,09	9,22
	H(1,5)	60	2,08	9,52
SÜLFAT DAYANIMI * Mukavemet Değişimi Bekletme ortamı: Destile su Süre: 2 hafta	H(0,0)	59	2,21	3,37
	H(0,3)	63	2,13	7,38
	H(0,6)	61	2,10	8,90
	H(1,0)	59	2,10	8,79
	H(1,5)	59	2,09	9,09
SÜLFAT DAYANIMI * Mukavemet Değişimi Bekletme ortamı: 0,35 M. Na ₂ SO ₄ çöz. Süre: 2 hafta	H(0,0)	62	2,21	3,37
	H(0,3)	58	2,13	7,38
	H(0,6)	60	2,11	8,46
	H(1,0)	58	2,10	8,79
	H(1,5)	57	2,09	9,09
SÜLFAT DAYANIMI * Mukavemet Değişimi Bekletme ortamı: Destile su Süre: 4 hafta	H(0,0)	64	2,21	3,37
	H(0,3)	61	2,13	7,38
	H(0,6)	59	2,12	8,03
	H(1,0)	56	2,10	8,79
	H(1,5)	58	2,09	9,09
SÜLFAT DAYANIMI * Mukavemet Değişimi Bekletme Ortamı: 0,35 M. Na ₂ SO ₄ çöz. Süre: 4 hafta	H(0,0)	56	2,21	3,37
	H(0,3)	60	2,13	7,38
	H(0,6)	63	2,12	8,03
	H(1,0)	65	2,09	9,22
	H(1,5)	59	2,09	9,09

(*) Bu örnekler, belirtilen ortamlara konulmadan önce 28 gün su havuzunda bekletilmişlerdir.

ÇİZELGE 3.3 : Taze harç özellikleri (devam)

DENEY ADI Kur ortamı ve Deney Yağı	HARÇ TÜRÜ	TAZE HARÇ ÖZELLİKLERİ		
		Kıvam, γ (%)	Birim ağırlık, (kg/dm^3)	Hava miktarı, A (%)
SÜLFAT DAYANIMI * Mukavemet Değişimi Bekletme ortamı: Destile su Süre : 6 hafta	H(0,0)	56	2,21	3,37
	H(0,3)	59	2,14	6,94
	H(0,6)	58	2,11	8,46
	H(1,0)	62	2,10	8,79
	H(1,5)	56	2,09	9,09
SÜLFAT DAYANIMI * Mukavemet Değişimi Bekletme ortamı: 0,35 M. Na_2SO_4 çöz. Süre:6 hafta	H(0,0)	65	2,21	3,37
	H(0,3)	65	2,13	7,38
	H(0,6)	56	2,12	8,03
	H(1,0)	58	2,10	8,79
	H(1,5)	57	2,09	9,09
SÜLFAT DAYANIMI * Mukavemet Değişimi Bekletme ortamı: Destile su Süre : 8 hafta	H(0,0)	64	2,22	3,23
	H(0,3)	62	2,14	6,94
	H(0,6)	61	2,11	8,46
	H(1,0)	63	2,10	8,79
	H(1,5)	60	2,09	9,09
SÜLFAT DAYANIMI * Mukavemet Değişimi Bekletme ortamı: 0,35 M. Na_2SO_4 çöz. Süre:8 hafta	H(0,0)	58	2,22	3,23
	H(0,3)	62	2,13	7,38
	H(0,6)	65	2,11	8,46
	H(1,0)	59	2,10	8,79
	H(1,5)	62	2,09	9,09
SÜLFAT DAYANIMI * Boy ve Ağırlık Değişimi ve Mukavemet Değişimi Bekletme ortamı: Destile su Süre : 17 hafta	H(0,0)	62	2,21	3,37
	H(0,3)	65	2,13	7,38
	H(0,6)	63	2,11	8,46
	H(1,0)	60	2,09	9,22
	H(1,5)	65	2,07	9,96
SÜLFAT DAYANIMI * Boy ve Ağırlık Değişimi ve Mukavemet Değişimi Bekletme ortamı: 0,35 M Na_2SO_4 çöz. Süre: 17 hafta	H(0,0)	63	2,21	3,37
	H(0,3)	65	2,13	7,38
	H(0,6)	62	2,12	8,03
	H(1,0)	60	2,09	9,22
	H(1,5)	61	2,07	9,96

ÇİZELGE 3.4 : Taze harçların ortalama birim ağırlık ve hava miktarı değerleri

HARÇ TÜRÜ	Birim ağırlık, Δ (kg/dm ³)	Hava miktarı, A (%)
H(0,0)	2,21	3,36
H(0,3)	2,13	7,28
H(0,6)	2,11	8,39
H(1,0)	2,10	8,97
H(1,5)	2,08	9,39

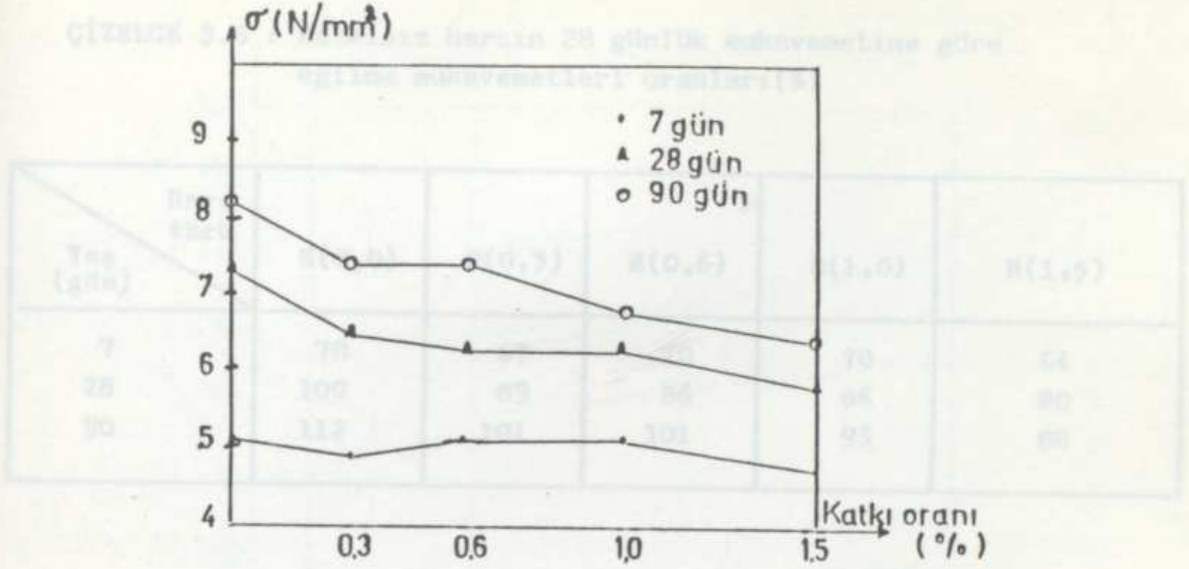
3.4. SERTLEŞMİŞ HARÇ DENEY SONUÇLARI

3.4.1. EĞİLME VE BASINÇ MUKAVEMETLERİ DENEY SONUÇLARI

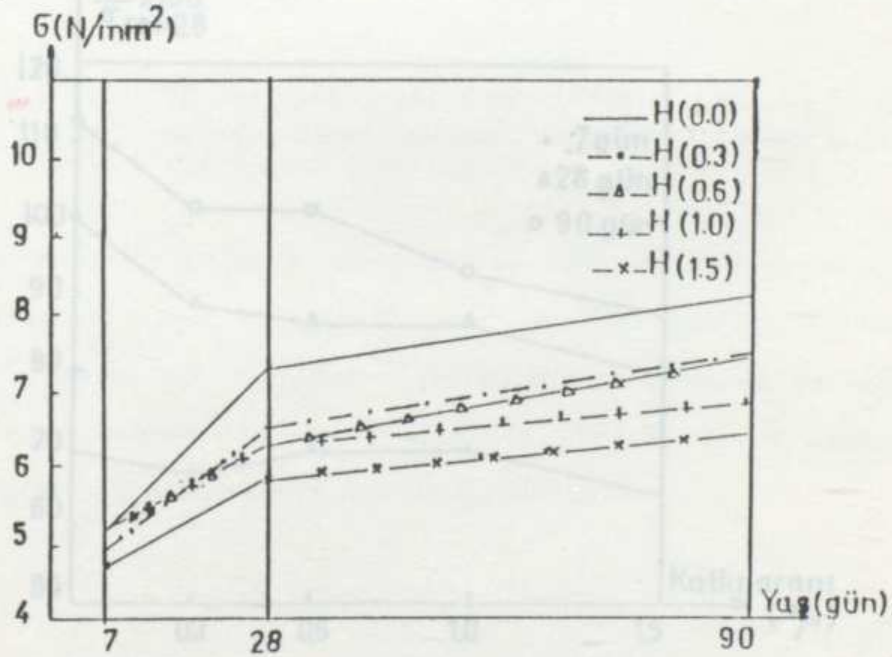
Bu deney sonuçları, 3 örnekten elde edilen değerlerin ortalamalarıdır. Eğilme mukavemeti deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 3.5' de verilmiştir. Ayrıca bu çizelgede katkısız harcın mukavemetinin yüzdesi olarak mukavemet oranları da gösterilmiştir. Bu değerlere göre, eğilme mukavemetlerinin katkı oranına bağlı olarak değişimi grafiği Şekil 3.4 de gösterilmiştir. Mukavemetlerin zamanla değişimi grafiği ise Şekil 3.5 de verilmiştir.

ÇİZELGE 3.5 : Katkısız ve katkılı harçların eğilme mukavemetleri ve katkısız harca göre mukavemet oranları.

Harç türü	Yaş (gün)	7		28		90	
		σ (N/mm ²)	$\sigma/\sigma_{ref} \times 100$	σ (N/mm ²)	$\sigma/\sigma_{ref} \times 100$	σ (N/mm ²)	$\sigma/\sigma_{ref} \times 100$
H(0,0)		5,1	100	7,3	100	8,2	100
H(0,3)		4,9	96	6,5	89	7,4	90
H(0,6)		5,1	100	6,3	86	7,4	90
H(1,0)		5,1	100	6,3	86	6,8	83
H(1,5)		4,7	92	5,8	79	6,4	78



ŞEKİL 3.4 : Eğilme mukavemetlerinin katkı oranına bağlı olarak değişimi

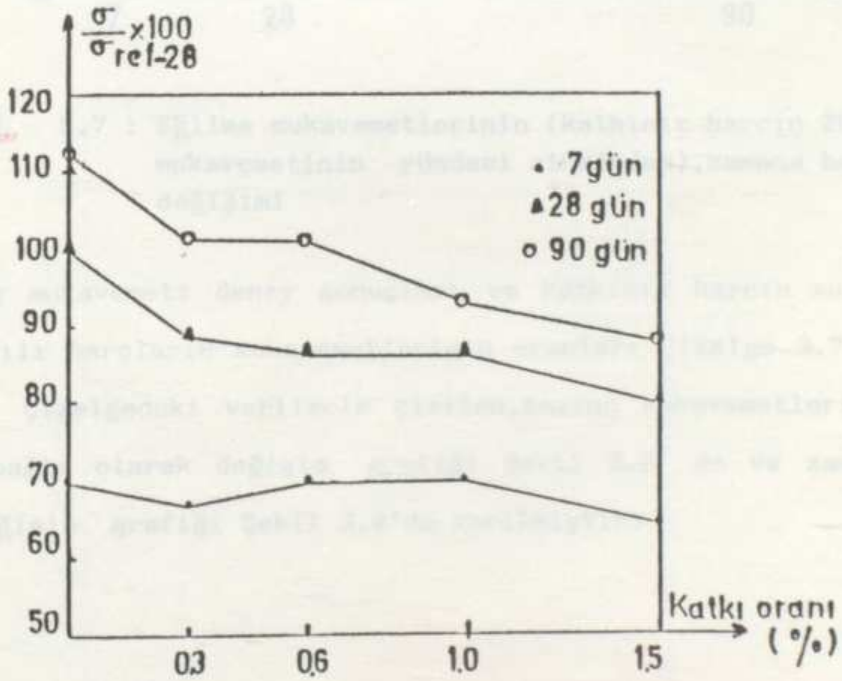


ŞEKİL 3.5: Eğilme mukavemetlerinin zamanla değişimi

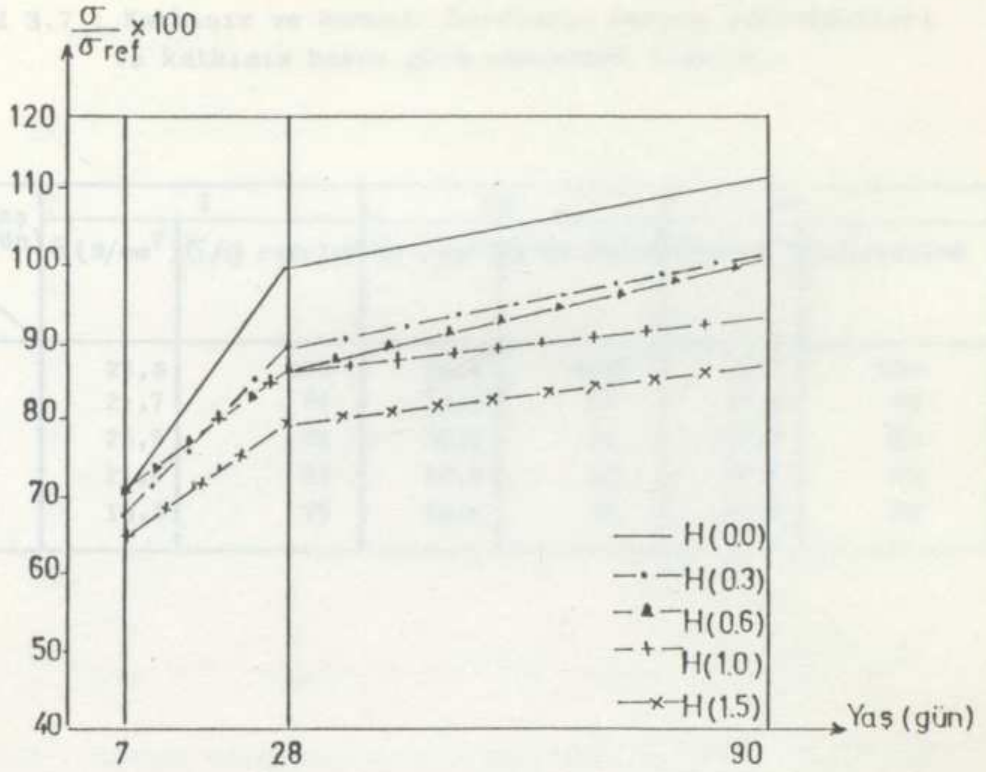
Çizelge 3.6 da katkısız harcın 28 günlük mukavemetine göre, mukavemet oranları verilmektedir. Bu değerlere göre mukavemetlerin, katkı oranına bağlı olarak değişimi Şekil 3.6 da, zamana bağlı değişimi ise Şekil 3.7. de gösterildiği gibi olmaktadır.

ÇİZELGE 3.6 : Katkısız harcın 28 günlük mukavemetine göre eğilme mukavemetleri oranları(%)

Yaş (gün) \ Harç türü	H(0,0)	H(0,3)	H(0,6)	H(1,0)	H(1,5)
7	70	67	70	70	64
28	100	89	86	86	80
90	112	101	101	93	88



ŞEKİL : 3.6 : Eğilme mukavemetlerinin (katkısız harcın 28 günlük mukavemetinin yüzdesi cinsinden), katkı oranına bağlı olarak değişimi



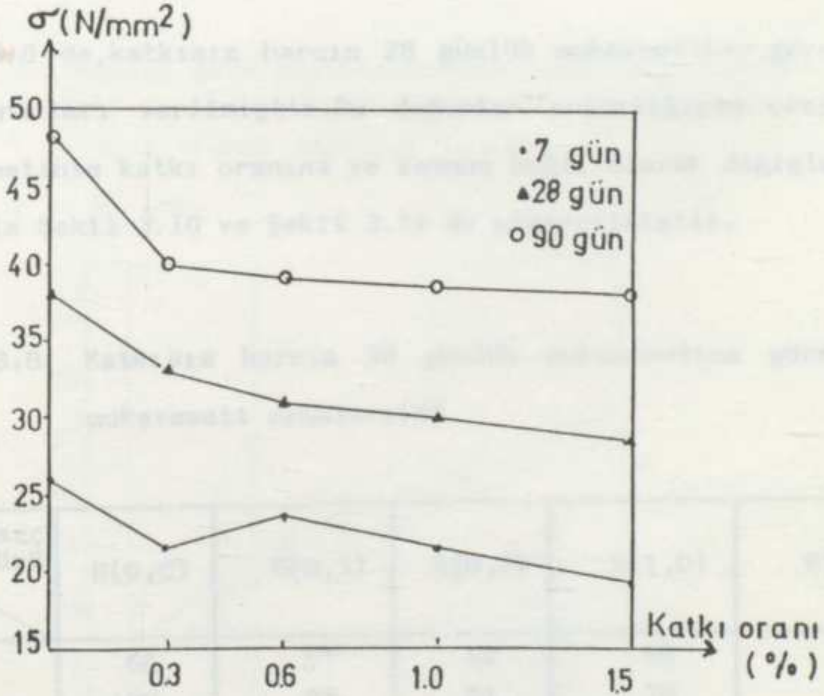
ŞEKİL 3.7 : Eğilme mukavemetlerinin (katkısız harcın 28 günlük mukavemetinin yüzdesi cinsinden), zamana bağlı olarak değişimi

Basınç mukavemeti deney sonuçları ve katkısız harcın mukavemetine göre katkılı harçların mukavemetlerinin oranları Çizelge 3.7'de verilmiştir. Bu çizelgedeki verilerle çizilen, basınç mukavemetlerinin katkı oranına bağlı olarak değişim grafiği Şekil 3.8' de ve zamana bağlı olarak değişim grafiği Şekil 3.9'da verilmiştir.

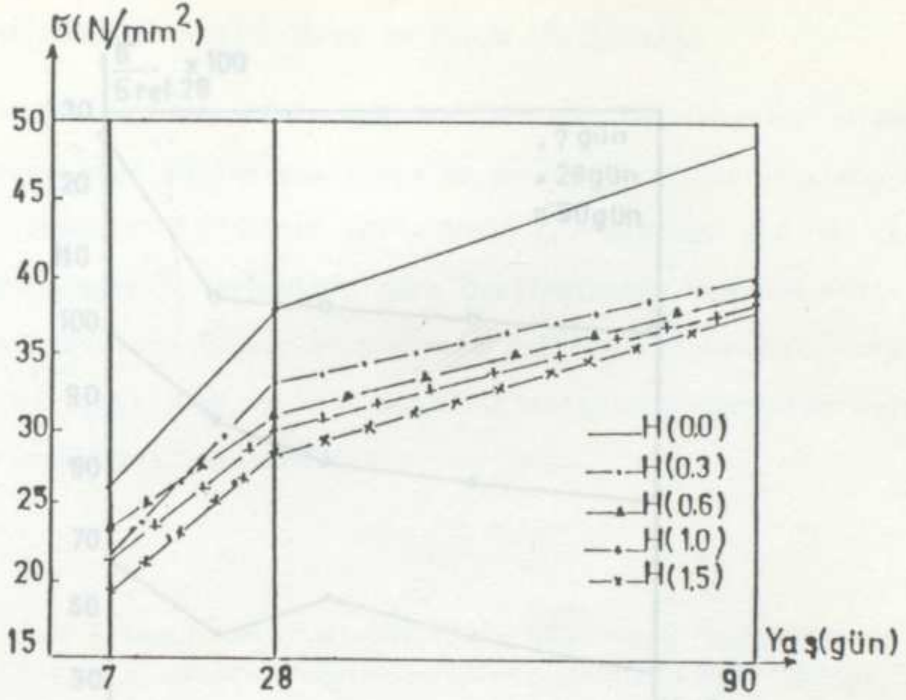
ÇİZELGE 3.7 : Katkısız ve katkılı harçların basınç mukavemetleri ve katkısız harca göre mukavemet oranları.

Harç türü	Yaş (gün)	7		28		90	
		σ (N/mm ²)	$\sigma/\sigma_{ref} \times 100$	σ (N/mm ²)	$\sigma/\sigma_{ref} \times 100$	σ (N/mm ²)	$\sigma/\sigma_{ref} \times 100$
H(0,0)		25,8	100	38,1	100	48,2	100
H(0,3)		21,7	84	33,1	87	39,8	83
H(0,6)		23,5	91	30,9	81	39,2	81
H(1,0)		21,4	83	29,9	78	38,5	80
H(1,5)		19,3	75	28,6	75	37,8	78

ŞEKİL 3.8 : Basınç mukavemetlerinin katkı oranına bağlı olarak değişimi



ŞEKİL 3.8 : Basınç mukavemetlerinin katkı oranına bağlı olarak değişimi

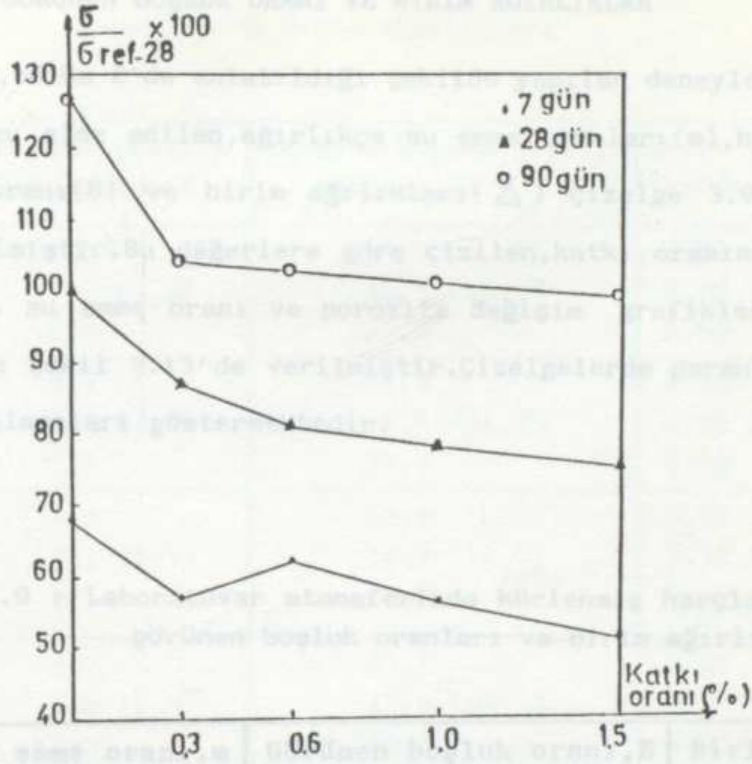


ŞEKİL 3.9 : Basınç mukavemetlerinin zamana bağlı olarak değişimi

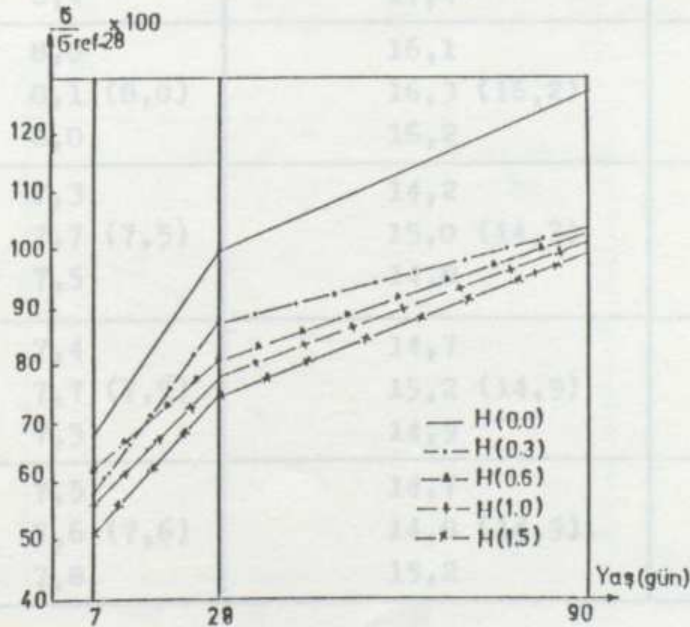
Çizelge 3.8'de, katkısız harcın 28 günlük mukavemetine göre basınç mukavemeti oranları verilmiştir. Bu değerler aracılığıyla çizilen basınç mukavemetinin katkı oranına ve zamana bağlı olarak değişim grafikleri sırasıyla Şekil 3.10 ve Şekil 3.11 de gösterilmiştir.

ÇİZELGE 3.8: Katkısız harcın 28 günlük mukavemetine göre basınç mukavemeti oranları(%)

Yaş (gün) \ Harç türü	H(0,0)	H(0,3)	H(0,6)	H(1,0)	H(1,5)
7	68	57	62	56	51
28	100	87	81	78	75
90	127	104	103	101	99



ŞEKİL 3.10 : Basınç mukavemetlerinin(katkısız harcın 28 günlük mukavemetinin yüzdesi cinsinden),katkı oranına bağlı olarak değişimi



ŞEKİL 3.11 : Basınç mukavemetlerinin (katkısız harcın 28 günlük mukavemetinin yüzdesi cinsinden),zamana bağlı olarak değişimi

3.4.2.SU EMME,GÖRÜNEN BOŞLUK ORANI VE BİRİM AĞIRLIKLAR

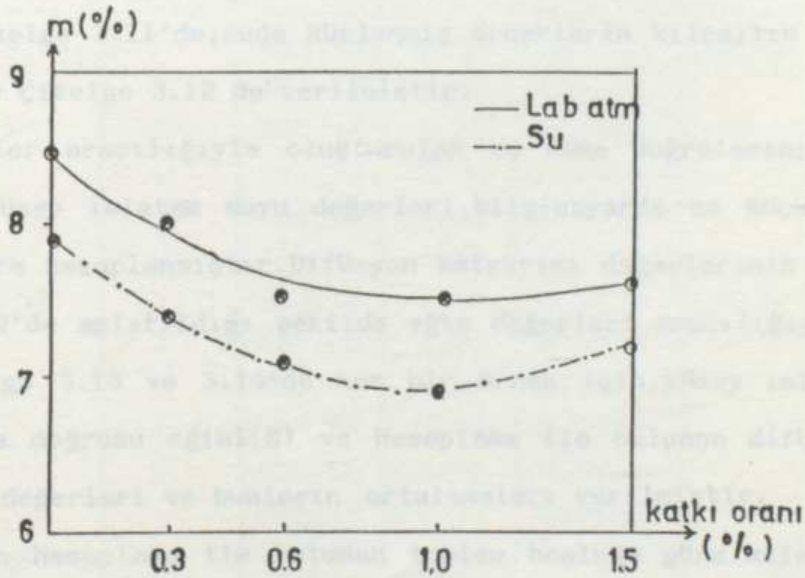
Harçların,bölüm 2'de anlatıldığı şekilde yapılan deneyler ve hesaplamalar sonucu elde edilen,ağırlıkça su emme oranları(m),hacimce görünen boşluk oranı(B) ve birim ağırlıkları(Δ) çizelge 3.9 ve çizelge 3.10'da verilmiştir.Bu değerlere göre çizilen,katkı oranına bağlı olarak,ağırlıkça su emme oranı ve porozite değişim grafikleri sırasıyla Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de verilmiştir.Çizelgelerde parantez içindeki değerler ortalamaları göstermektedir.

ÇİZELGE 3.9 : Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş harçların su emme, görünen boşluk oranları ve birim ağırlıkları

Harç türü	Su emme oranı,m (Ağırlıkça %)	Görünen boşluk oranı,B (Hacmen %)	Birim ağırlık, Δ (kg/dm ³)
H(0,0)	8,3	17,3	2,52
	8,5 (8,4)	17,7 (17,5)	2,52 (2,52)
	8,4	17,4	2,51
H(0,3)	8,0	16,1	2,41
	8,1 (8,0)	16,3 (16,2)	2,41 (2,41)
	8,0	16,2	2,40
H(0,6)	7,3	14,2	2,28
	7,7 (7,5)	15,0 (14,7)	2,30 (2,29)
	7,5	14,8	2,30
H(1,0)	7,4	14,7	2,33
	7,7 (7,5)	15,2 (14,9)	2,33 (2,33)
	7,5	14,9	2,33
H(1,5)	7,5	14,7	2,29
	7,6 (7,6)	14,8 (14,9)	2,29 (2,29)
	7,8	15,2	2,30

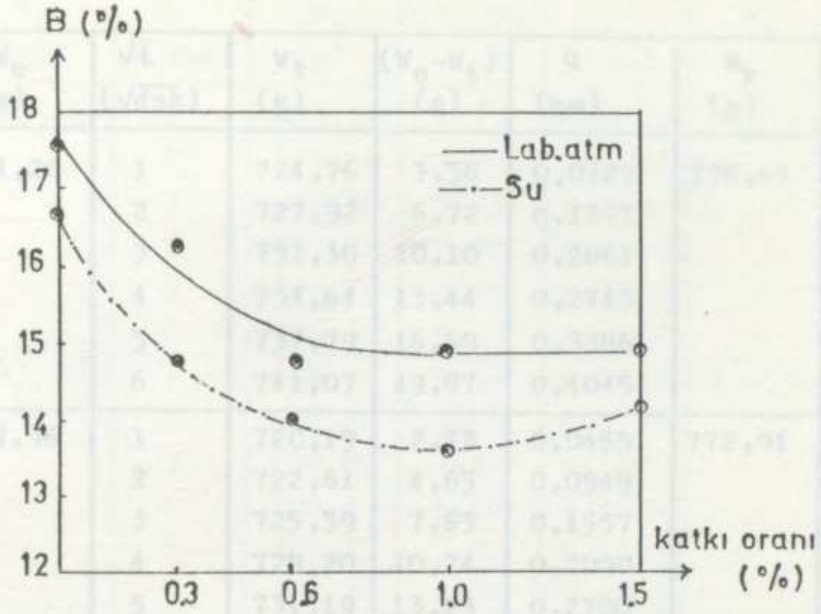
ÇİZELGE 3.10 : Suda kürlenmiş harçların su emme,görünen boşluk oranları ve birim ağırlıkları

Harç türü	Su emme oranı,m (Ağırlıkça %)	Görünen boşluk oranı,B (Hacmen %)	Birim ağırlık, Δ (kg/dm ³)
H(0,0)	7,9 7,8 (7,9) 8,0	16,5 16,3 (16,5) 16,6	2,50 2,50 (2,50) 2,50
H(0,3)	7,4 7,3 (7,4) 7,4	14,7 14,6 (14,7) 14,7	2,33 2,34 (2,33) 2,33
H(0,6)	7,0 7,1 (7,1) 7,1	13,9 14,1 (14,0) 14,0	2,30 2,31 (2,30) 2,30
H(1,0)	7,0 6,8 (6,9) 7,0	13,7 13,4 (13,6) 13,7	2,27 2,27 (2,27) 2,27
H(1,5)	7,2 7,2 (7,2) 7,3	14,0 14,1 (14,1) 14,2	2,27 2,27 (2,27) 2,27



ŞEKİL: 3.12 : Katkı miktarına bağlı olarak su emme oranı değişimi

ÇİZELGE 3.11 : Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri



ŞEKİL 3.13 : Katkı miktarına bağlı olarak görünen boşluk oranı değişimi

3.4.3.KILCALLIK DENEYLERİ SONUÇLARI

Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri Çizelge 3.11'de,suda kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri ise Çizelge 3.12 de'verilmiştir.

Bu veriler aracılığıyla oluşturulan su emme doğrularının eğimleri ve Q_0 yüzey ıslatma suyu değerleri,bilgisayarda en küçük kareler metoduna göre hesaplanmıştır.Difüzyon katsayısı değerlerinin hesaplanması Bölüm 2'de anlatıldığı şekilde eğim değerleri aracılığıyla yapılmıştır.Çizelge 3.13 ve 3.14'de her bir örnek için,yüzey ıslatma suyu (Q_0),su emme doğrusu eğimi(S) ve hesaplama ile bulunan difüzyon katsayısı (D') değerleri ve bunların ortalamaları verilmiştir.

Harçların hesaplama ile bulunan toplam boşluğa göre kılcal boşluk yüzdesi değerleri Çizelge 3.15 ve 3.16'da verilmiştir.

ÇİZELGE 3.11 : Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri

Harc türü	W_o (g)	$\sqrt{t}$ ($\sqrt{\text{dak}}$)	W_t (g)	$(W_o - W_t)$ (g)	Q (cm)	W_k (g)	W_d (g)
H(0,0)	721,20	1	724,76	3,56	0,0727	776,65	778,20
		2	727,92	6,72	0,1371		
		3	731,30	10,10	0,2061		
		4	734,64	13,44	0,2743		
		5	737,79	16,59	0,3386		
		6	741,07	19,87	0,4045		
	717,96	1	720,19	2,23	0,0455	772,91	774,26
		2	722,61	4,65	0,0949		
		3	725,59	7,63	0,1557		
		4	728,20	10,24	0,2090		
		5	731,19	13,23	0,2700		
		6	734,10	16,14	0,3294		
	713,16	1	716,00	2,84	0,0580	765,90	767,42
		2	718,60	5,44	0,1110		
		3	721,51	8,35	0,1704		
		4	724,67	11,50	0,2349		
		5	727,62	14,46	0,2951		
		6	730,31	17,15	0,3500		
H(0,3)	678,04	1	680,79	2,75	0,0561	727,41	728,83
		2	683,11	5,07	0,1035		
		3	685,11	7,27	0,1484		
		4	687,78	9,74	0,1988		
		5	689,85	11,81	0,2410		
		6	692,06	14,02	0,2861		
	680,95	1	683,69	2,74	0,0559	730,64	732,30
		2	685,68	4,73	0,0965		
		3	687,73	6,78	0,1384		
		4	689,69	8,74	0,1784		
		5	691,56	10,61	0,2165		
		6	693,52	12,57	0,2565		
	677,06	1	679,47	2,41	0,0492	724,40	725,98
		2	681,42	4,36	0,0890		
		3	683,25	6,19	0,1263		
		4	683,05	7,99	0,1631		
		5	686,99	9,93	0,2027		
		6	689,14	12,08	0,2465		

ÇİZELGE 3.11 : Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri(devam)

Harc türü	W_o (g)	t (dak)	W_t (g)	$(W_o - W_t)$ (g)	Q (cm)	W_k (g)	W_d (g)
H(0,6)	680,76	1	683,21	2,45	0,0514	725,98	729,93
		2	685,00	4,24	0,0865		
		3	686,38	5,62	0,1147		
		4	687,46	6,70	0,1367		
		5	688,70	7,94	0,1620		
		6	690,10	9,34	0,1906		
	693,92	1	696,06	2,14	0,0437	738,78	743,14
		2	697,48	3,56	0,0727		
		3	698,83	4,91	0,1002		
		4	700,47	6,55	0,1337		
		5	701,75	7,83	0,1598		
		6	702,96	9,04	0,1845		
	673,32	1	675,34	2,02	0,412	716,70	720,21
		2	676,69	3,37	0,0688		
		3	678,09	4,77	0,0973		
		4	679,43	6,11	0,1247		
		5	680,87	7,55	0,1545		
		6	682,24	8,92	0,1821		
	670,17	1	671,99	1,82	0,0371	699,00	714,61
		2	672,83	2,66	0,0543		
		3	673,55	3,88	0,0690		
		4	674,38	4,21	0,0859		
		5	675,24	5,07	0,1035		
		6	675,70	6,53	0,1333		
	673,94	1	675,14	1,20	0,0245	701,08	719,72
		2	675,97	2,03	0,0414		
		3	676,62	2,68	0,0547		
		4	677,30	3,36	0,0686		
		5	677,99	4,00	0,0816		
		6	678,65	4,71	0,0961		
	677,43	1	678,84	1,41	0,0288	703,62	722,55
		2	679,34	1,91	0,0390		
		3	680,22	2,79	0,0569		
		4	681,04	3,61	0,0737		
		5	681,93	4,51	0,0920		
		6	682,55	5,12	0,1045		

ÇİZELGE 3.12 : Suda kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri

ÇİZELGE 3.11 : Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri(devam)

Harç türü	W_o (g)	$\sqrt{t}$ ($\sqrt{\text{dak}}$)	W_t (g)	$(W_o - W_t)$ (g)	Q (cm)	W_k (g)	W_d (g)
H(1,5)	647,31	1	648,69	1,38	0,0282	672,23	690,65
		2	649,33	2,02	0,0412		
		3	649,94	2,63	0,0537		
		4	650,66	3,35	0,0684		
		5	651,24	3,93	0,0802		
		6	651,92	4,91	0,0941		
	655,95	1	657,49	1,54	0,0314	682,00	700,90
		2	658,10	2,15	0,0439		
		3	657,77	2,82	0,0576		
		4	659,39	3,44	0,0702		
		5	660,00	4,05	0,0827		
		6	660,65	4,70	0,0959		
	650,74	1	652,54	1,80	0,0365	674,71	695,23
		2	653,50	2,66	0,0563		
		3	653,81	3,07	0,0627		
		4	654,30	3,56	0,0727		
		5	654,82	4,08	0,0833		
		6	655,29	4,55	0,0929		

ÇİZELGE 3.12 : Suda kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri

Harc türü	W_0 (g)	$\sqrt{t}$ ($\sqrt{\text{dak}}$)	W_t (g)	$(W_0 - W_t)$ (g)	Q (cm)	W_k (g)	W_d (g)
H(0,0)	721,51	1	723,15	1,64	0,0335	767,99	774,51
		2	724,09	2,58	0,0527		
		3	725,49	3,98	0,0812		
		4	726,92	5,41	0,1104		
		5	728,27	6,76	0,1380		
		6	729,53	8,02	0,1637		
	730,94	1	732,81	1,87	0,0382	776,97	784,30
		2	734,06	3,12	0,0637		
		3	735,28	4,34	0,0886		
		4	736,71	5,77	0,1178		
		5	737,86	6,92	0,1412		
		6	739,09	8,15	0,1663		
	713,08	1	714,77	1,69	0,0345	757,84	764,90
		2	716,01	2,93	0,0592		
		3	717,36	4,28	0,0873		
		4	718,60	5,52	0,1127		
		5	719,87	6,79	0,1386		
		6	721,10	8,02	0,1637		
H(0,3)	693,42	1	695,05	1,63	0,0333	725,12	742,94
		2	696,09	2,67	0,0545		
		3	697,10	3,68	0,0751		
		4	698,12	4,70	0,0959		
		5	699,16	5,74	0,1171		
		6	700,20	6,78	0,1384		
	689,14	1	690,83	1,69	0,0345	720,85	737,96
		2	691,82	2,68	0,0547		
		3	692,80	3,66	0,0747		
		4	693,81	4,67	0,0953		
		5	694,80	5,66	0,1155		
		6	695,77	6,63	0,1353		
	689,92	1	691,47	1,55	0,0316	720,96	737,47
		2	692,29	2,37	0,0484		
		3	693,56	3,64	0,0743		
		4	694,31	4,39	0,0896		
		5	695,25	5,33	0,1088		
		6	696,21	6,29	0,1284		

ÇİZELGE 3.12 : Suda kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri(devam)

Harc türü	W_0 (g)	$\sqrt{t}$ ($\sqrt{\text{dak}}$)	W_t (g)	$(W_0 - W_t)$ (g)	Q (cm)	W_k (g)	W_d (g)
H(0,6)	692,82	1	694,25	1,43	0,0292	717,20	739,32
		2	694,97	2,15	0,0429		
		3	695,76	2,94	0,0600		
		4	696,54	3,72	0,0759		
		5	697,14	4,32	0,0882		
		6	697,90	5,08	0,1037		
	676,87	1	678,22	1,35	0,0276	700,15	722,54
		2	678,90	2,03	0,0414		
		3	679,63	2,76	0,0563		
		4	680,36	3,49	0,0712		
		5	681,10	4,23	0,0863		
		6	681,76	4,89	0,0998		
	679,92	1	681,28	1,36	0,0278	705,00	725,99
		2	682,03	2,11	0,0431		
		3	682,77	2,85	0,0582		
		4	683,53	3,61	0,0732		
		5	684,38	4,46	0,0910		
		6	684,92	5,00	0,1020		
H(1,0)	666,65	1	668,00	1,35	0,0276	686,60	709,80
		2	668,66	2,01	0,0410		
		3	669,28	2,63	0,0537		
		4	669,87	3,22	0,0657		
		5	670,48	3,83	0,0782		
		6	671,04	4,39	0,0896		
	677,54	1	678,86	1,32	0,0269	697,68	722,54
		2	679,52	1,98	0,0405		
		3	680,12	2,58	0,0527		
		4	680,92	3,38	0,0690		
		5	681,34	3,80	0,0776		
		6	681,89	4,35	0,0888		
	666,36	1	667,67	1,31	0,0267	686,36	710,42
		2	668,25	1,89	0,0386		
		3	668,79	2,43	0,0496		
		4	669,31	2,95	0,0602		
		5	669,96	3,60	0,0735		
		6	670,48	4,12	0,0841		

ÇİZELGE 3.12 : Suda kürlenmiş örneklerin kılcallık deneyleri verileri (devam)

Harç türü	W_o (g)	$\sqrt{t}$ ($\sqrt{\text{dak}}$)	W_t (g)	$(W_o - W_t)$ (g)	Q (cm)	W_k (g)	W_d (g)
H(1,5)	664,85	1	666,43	1,58	0,0322	682,69	707,53
		2	667,13	2,28	0,0465		
		3	667,56	2,71	0,0553		
		4	668,02	3,17	0,0647		
		5	668,60	3,75	0,0765		
		6	668,85	4,00	0,0816		
	658,53	1	659,88	1,35	0,0276	676,09	701,16
		2	660,39	1,86	0,0380		
		3	660,86	2,33	0,0476		
		4	661,35	2,82	0,0576		
		5	661,90	3,37	0,0688		
		6	662,36	3,83	0,0782		
	656,89	1	657,94	1,05	0,0214	673,58	698,19
		2	658,56	1,67	0,0341		
		3	659,07	2,18	0,0445		
		4	659,60	2,71	0,0553		
		5	660,17	3,28	0,0669		
		6	660,60	3,71	0,0757		

ÇİZELGE 3.13 : Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş harçların
difüzyon katsayısı değerleri

Harç türü	Eğim, S (cm/√dak.)	Q ₀ (cm ³ /cm ² =cm)	Dif.katsayısı, D' (cm ² / dak.)	ortalama D' (cm ² /dak.)
H(0,0)	6676x10 ⁻⁵ 5709x10 ⁻⁵ 5934x10 ⁻⁵	538x10 ⁻⁵ -1573x10 ⁻⁵ - 444x10 ⁻⁵	350x10 ⁻⁵ 256x10 ⁻⁵ 276x10 ⁻⁵	294x10 ⁻⁵
H(0,3)	4608x10 ⁻⁵ 4009x10 ⁻⁵ 3898x10 ⁻⁵	1103x10 ⁻⁵ 1673x10 ⁻⁵ 969x10 ⁻⁵	167x10 ⁻⁵ 126x10 ⁻⁵ 119x10 ⁻⁵	137x10 ⁻⁵
H(0,6)	2699x10 ⁻⁵ 2854x10 ⁻⁵ 2826x10 ⁻⁵	2920x10 ⁻⁵ 1587x10 ⁻⁵ 1253x10 ⁻⁵	57x10 ⁻⁵ 64x10 ⁻⁵ 63x10 ⁻⁵	61x10 ⁻⁵
H(1,0)	1844x10 ⁻⁵ 1407x10 ⁻⁵ 1584x10 ⁻⁵	1579x10 ⁻⁵ 1190x10 ⁻⁵ 1039x10 ⁻⁵	27x10 ⁻⁵ 16x10 ⁻⁵ 20x10 ⁻⁵	21x10 ⁻⁵
H(1,5)	1318x10 ⁻⁵ 1290x10 ⁻⁵ 1062x10 ⁻⁵	1485x10 ⁻⁵ 1847x10 ⁻⁵ 3023x10 ⁻⁵	14x10 ⁻⁵ 13x10 ⁻⁵ 9x10 ⁻⁵	12x10 ⁻⁵

ÇİZELGE 3.14 : Suda kürlenmiş harçların difüzyon katsayısı değerleri

Harç türü	Eğim, θ (cm/ $\sqrt{\text{dak.}}$)	Q_0 (cm ³ /cm ² =cm)	Dif.katsayısı, D' (cm ² / dak.)	ortalama D' (cm ² /dak.)
H(0,0)	2675x10 ⁻⁵ 2578x10 ⁻⁵ 2594x10 ⁻⁵	297x10 ⁻⁵ 1241x10 ⁻⁵ 865x10 ⁻⁵	56x10 ⁻⁵ 52x10 ⁻⁵ 53x10 ⁻⁵	54x10 ⁻⁵
H(0,3)	2097x10 ⁻⁵ 2020x10 ⁻⁵ 1944x10 ⁻⁵	1231x10 ⁻⁵ 1430x10 ⁻⁵ 1213x10 ⁻⁵	35x10 ⁻⁵ 32x10 ⁻⁵ 30x10 ⁻⁵	32x10 ⁻⁵
H(0,6)	1498x10 ⁻⁵ 1459x10 ⁻⁵ 1513x10 ⁻⁵	1422x10 ⁻⁵ 1271x10 ⁻⁵ 1291x10 ⁻⁵	18x10 ⁻⁵ 17x10 ⁻⁵ 18x10 ⁻⁵	18x10 ⁻⁵
H(1,0)	1239x10 ⁻⁵ 1249x10 ⁻⁵ 1149x10 ⁻⁵	1594x10 ⁻⁵ 1554x10 ⁻⁵ 1522x10 ⁻⁵	12x10 ⁻⁵ 12x10 ⁻⁵ 10x10 ⁻⁵	11x10 ⁻⁵
H(1,5)	990x10 ⁻⁵ 1045x10 ⁻⁵ 1088x10 ⁻⁵	2483x10 ⁻⁵ 1743x10 ⁻⁵ 1158x10 ⁻⁵	8x10 ⁻⁵ 8x10 ⁻⁵ 9x10 ⁻⁵	8x10 ⁻⁵

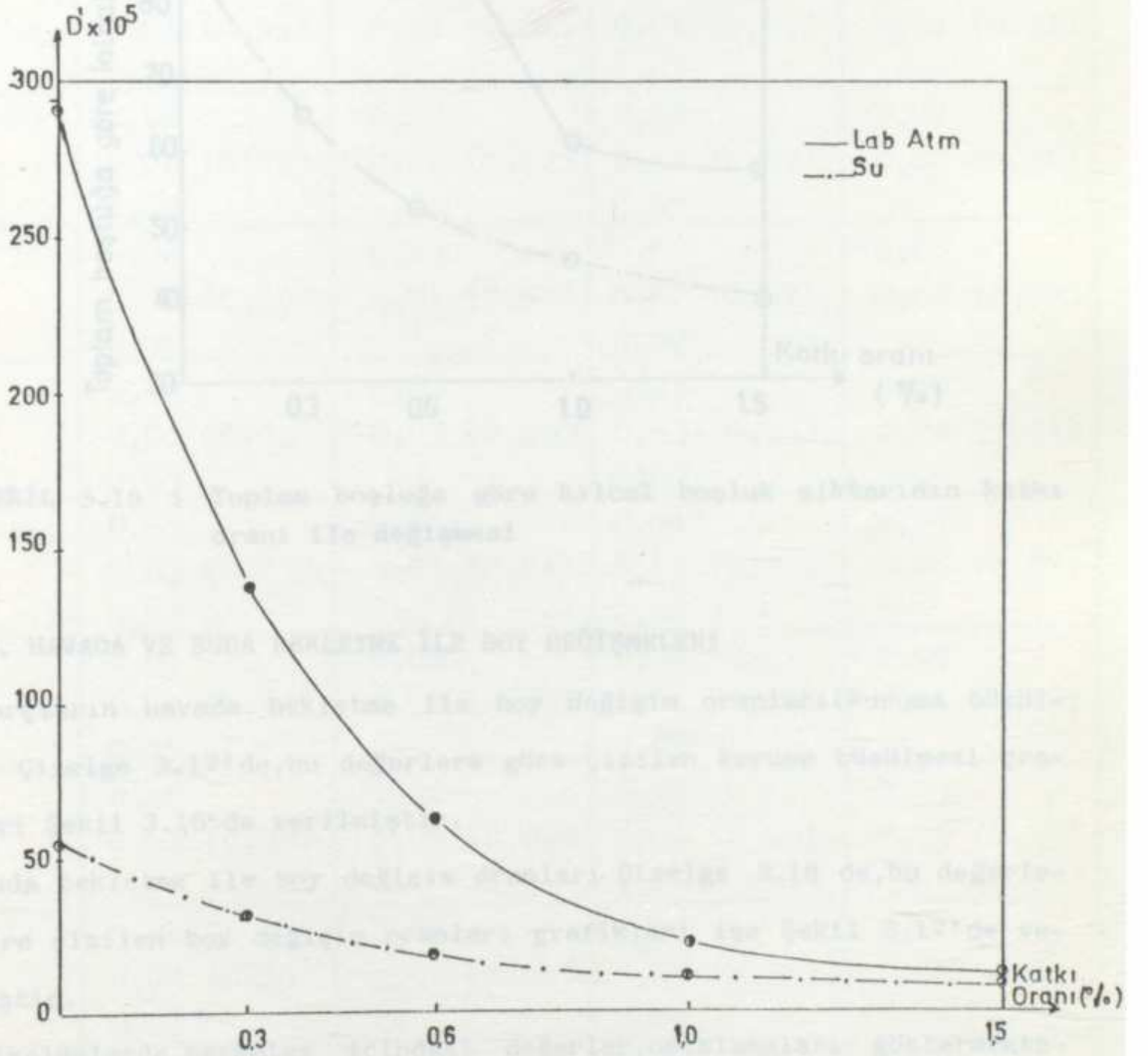
ÇİZELGE 3.15 : Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş harçlarda
toplam boşluğa göre kılcal boşluk yüzdesi

Harç türü	W_o (g)	W_k (g)	W_d (g)	$\frac{W_k - W_o}{W_d - W_o} \times 100$	ortalama
H(0,0)	721,20	776,65	778,20	97,28	97,4
	717,96	772,91	774,26	97,60	
	713,16	765,90	767,42	97,20	
H(0,3)	678,04	727,41	728,83	97,20	96,9
	680,95	730,64	732,30	96,77	
	677,06	724,40	725,98	96,77	
H(0,6)	680,76	725,98	729,93	91,97	91,9
	693,92	738,78	743,14	91,14	
	673,32	716,70	720,21	92,51	
H(1,0)	670,17	699,00	714,61	64,87	60,7
	673,94	701,08	719,72	59,28	
	677,43	703,62	722,55	58,05	
H(1,5)	647,31	672,23	690,65	57,50	56,4
	655,95	682,00	700,90	57,95	
	650,74	674,71	695,23	53,88	

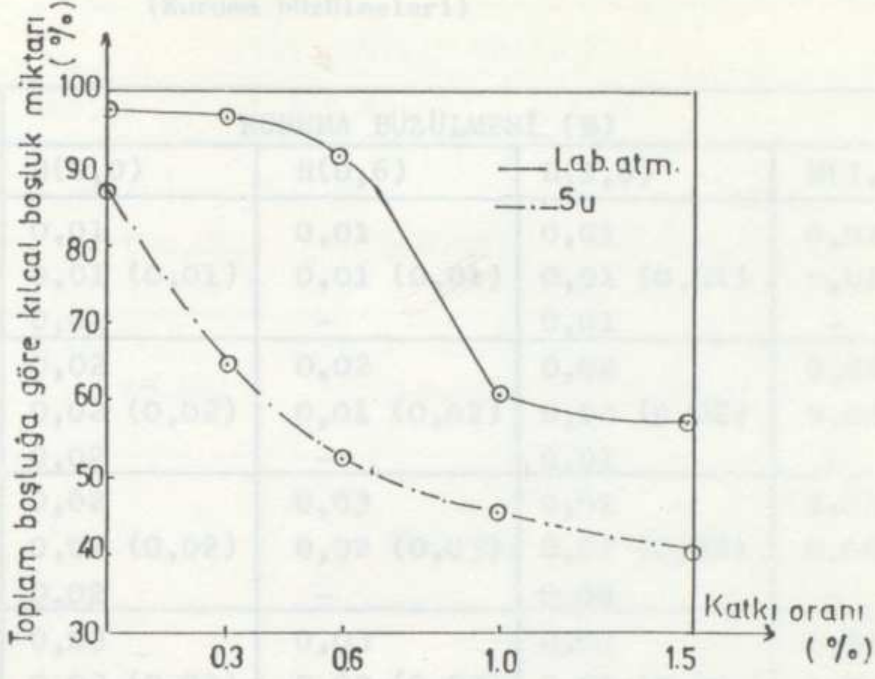
ÇİZELGE 3.16 : Suda kürlenmiş harçlarda toplam boşluğa göre kılcal boşluk yüzdesi

Harç türü	W_o (g)	W_k (g)	W_d (g)	$\frac{W_k - W_o}{W_d - W_o} \times 100$	ortalama
H(0,0)	721,51 730,94 713,08	767,99 776,97 757,84	774,51 784,30 764,90	87,70 86,26 86,38	86,8
H(0,3)	693,42 689,14 689,92	725,12 720,85 720,96	742,94 737,96 737,47	64,01 64,95 65,28	64,7
H(0,6)	692,82 676,87 679,82	717,20 700,15 705,00	739,32 722,54 725,99	52,43 50,97 54,44	52,6
H(1,0)	666,65 677,54 666,36	686,60 697,68 686,36	709,80 722,54 710,42	46,23 44,76 45,39	45,5
H(1,5)	664,85 658,53 656,89	682,69 676,09 673,58	707,53 701,16 698,19	41,80 41,19 40,41	41,1

Çizelge 3.13 ve 3.14'de verilmiş olan ortalama difüzyon katsayılarının, katkı oranına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 3.14'de verilmiştir. Şekil 3.15'de harçlarda toplam boşluğa göre kılcal boşluk miktarının katkı oranına bağlı olarak değişim grafiği verilmiştir.



ŞEKİL 3.14 : Difüzyon katsayılarının katkı oranına bağlı olarak değişimi



ŞEKİL 3.15 : Toplam boşluğa göre kılcal boşluk miktarının katkı oranı ile değişmesi

3.4.4. HAVADA VE SUDA BEKLETME İLE BOY DEĞİŞMELERİ

Harçların havada bekletme ile boy değişim oranları(kuruma büzülmesi) Çizelge 3.17'de,bu değerlere göre çizilen kuruma büzülmesi grafikleri Şekil 3.16'da verilmiştir.

Suda bekletme ile boy değişim oranları Çizelge 3.18 de,bu değerlere göre çizilen boy değişim oranları grafikleri ise Şekil 3.17'de verilmiştir.

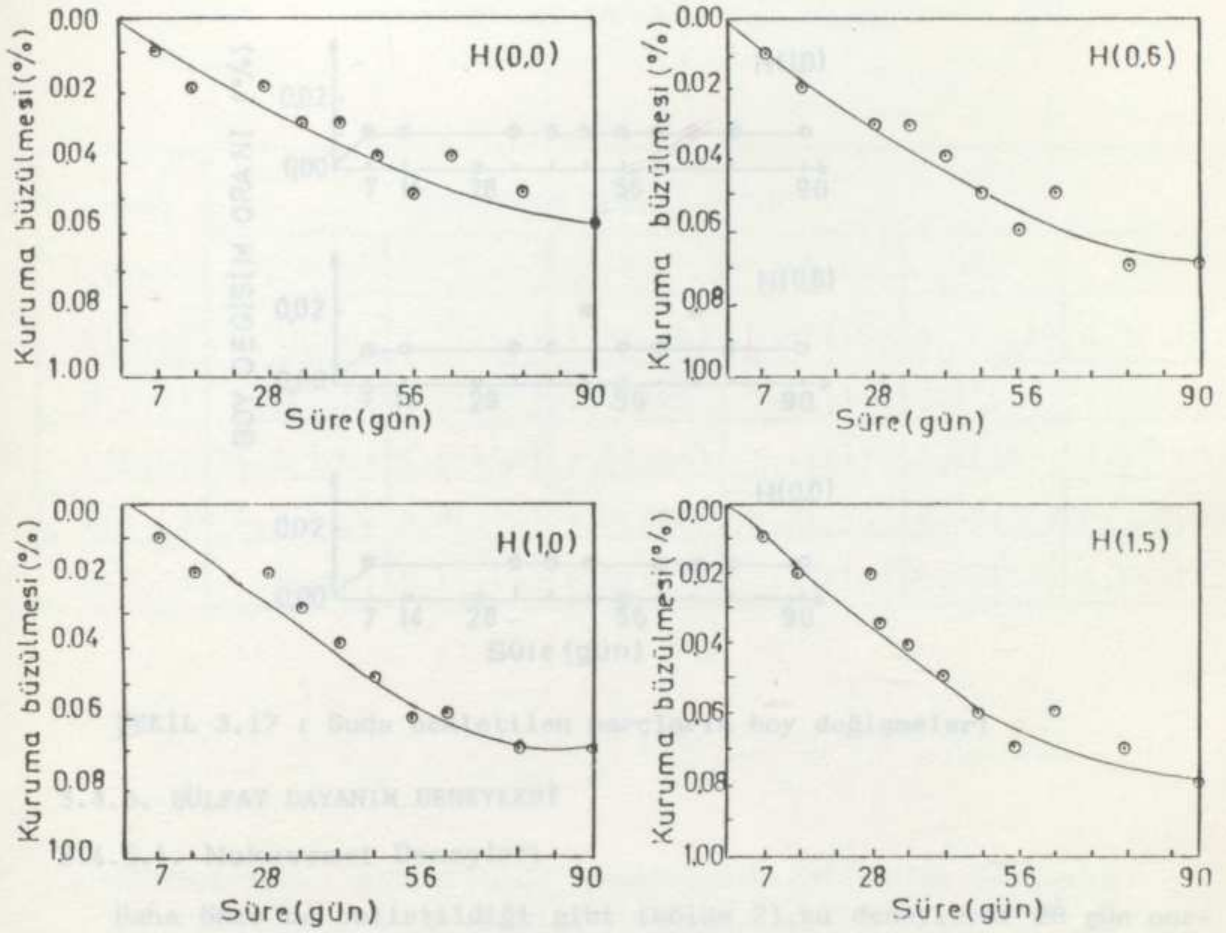
Çizelgelerde,parantez içindeki değerler,ortalamaları göstermektedir.

ÇİZELGE 3.17 : Harçların havada bekletme ile boy değişim oranları
(Kuruma büzölmeleri)

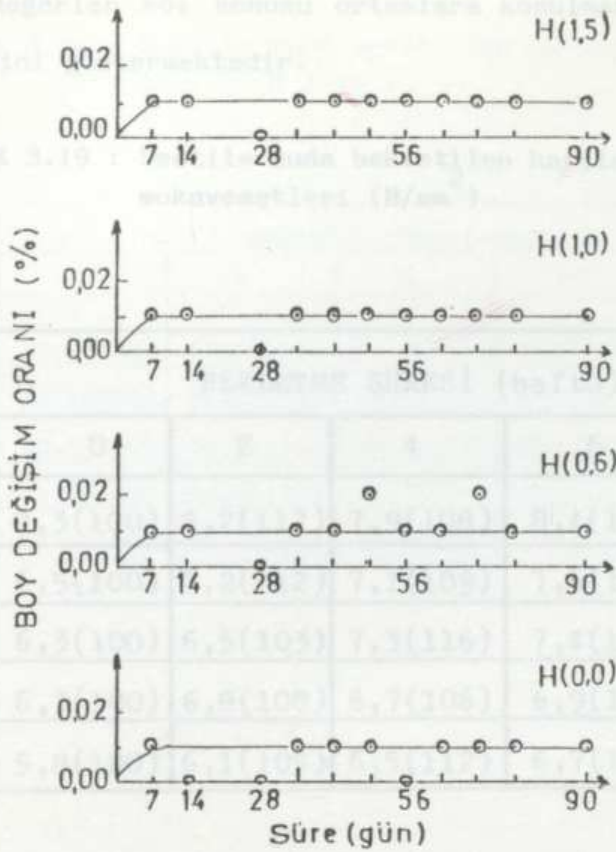
Süre (gün)	KURUMA BÜZÜLMESİ (%)			
	H(0,0)	H(0,6)	H(1,0)	H(1,5)
7	0,01 0,01 (0,01) 0,01	0,01 0,01 (0,01) -	0,01 0,01 (0,01) 0,01	0,01 0,01 (0,01) -
14	0,02 0,02 (0,02) 0,02	0,02 0,01 (0,02) -	0,02 0,02 (0,02) 0,01	0,02 0,02 (0,02) -
28	0,02 0,02 (0,02) 0,02	0,03 0,02 (0,03) -	0,02 0,02 (0,02) 0,02	0,02 0,02 (0,02) -
35	0,03 0,03 (0,03) 0,03	0,03 0,03 (0,03) -	0,03 0,03 (0,03) 0,03	0,04 0,04 (0,04) -
42	0,03 0,03 (0,03) 0,03	0,04 0,03 (0,04) -	0,04 0,04 (0,04) 0,04	0,05 0,05 (0,05) -
49	0,04 0,04 (0,04) 0,05	0,05 0,04 (0,05) -	0,05 0,05 (0,05) 0,05	0,05 0,06 (0,06) -
56	0,05 0,04 (0,05) 0,05	0,06 0,05 (0,06) -	0,06 0,06 (0,06) 0,06	0,07 0,07 (0,07) -
64	0,04 0,04 (0,04) 0,05	0,05 0,05 (0,05) -	0,06 0,06 (0,06) 0,06	0,06 0,06 (0,06) -
77	0,05 0,05 (0,05) 0,06	0,07 0,06 (0,07) -	0,07 0,07 (0,07) 0,07	0,07 0,07 (0,07) -
90	0,06 0,06 (0,06) 0,06	0,07 0,07 (0,07) -	0,08 0,07 (0,07) 0,07	0,08 0,07 (0,08) -

ÇİZELGE : 3.18 : Harçların suda bekletme ile boy değişim oranları

Süre (gün)	BOY DEĞİŞİM ORANI (%)			
	H(0,0)	H(0,6)	H(1,0)	H(1,5)
7	+0,01 (+0,01) -	+0,01 (+0,01) -	+0,01 (+0,01) +0,01	+0,01 (+0,01) +0,01
14	0,00 (0,00) -	+0,01 (+0,01) -	0,00 (+0,01) +0,01	+0,01 (+0,01) 0,00
28	0,00 (0,00) -	0,00 (0,00) -	0,00 (0,00) 0,00	0,00 (0,00) 0,00
35	+0,01 (+0,01) -	+0,01 (+0,01) -	+0,01 (+0,01) +0,01	+0,01 (+0,01) +0,01
42	+0,01 (+0,01) -	+0,01 (+0,01) -	+0,01 (+0,01) +0,01	+0,01 (+0,01) +0,01
49	+0,01 (+0,01) -	+0,02 (+0,02) -	+0,01 (+0,01) +0,01	+0,01 (+0,01) +0,01
56	0,00 (0,00) -	+0,01 (+0,01) -	0,00 (+0,01) +0,01	+0,01 (+0,01) +0,01
63	+0,01 (+0,01) -	+0,01 (+0,01) -	0,00 (+0,01) +0,01	+0,01 (+0,01) +0,01
70	+0,01 (+0,01) -	+0,02 (+0,02) -	+0,01 (+0,01) +0,01	+0,01 (+0,01) +0,01
77	+0,01 (+0,01) -	+0,01 (+0,01) -	0,00 (+0,01) +0,01	+0,01 (+0,01) +0,01
90	+0,01 (+0,01) -	+0,01 (+0,01) -	0,00 (+0,01) +0,01	+0,01 (+0,01) +0,01



ŞEKİL 3.16 : Harçların havada bekletme ile boy değişimleri
(kuruma büzülmeleri)



ŞEKİL 3.17 : Suda bekletilen harçların boy değişimleri

3.4.5. SÜLFAT DAYANIM DENEYLERİ

3.4.5.1. Mukavemet Deneyleri

Daha önce de belirtildiği gibi (bölüm 2), bu deneylerde 28 gün normal su kürü görmüş katkısız ve katkılı harçlar, paralel olarak destile su ve pH kontrollü 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilmişlerdir. Söz konusu ortamlarda 2,4,6,8 ve 17 hafta bekletme sonunda harçların mukavemetleri ölçülmüştür. Bu deneylerden elde edilen eğilme mukavemeti değerleri Çizelge 3.19 ve 3.20'de, basınç mukavemeti değerleri ise 3.21 ve 3.22'de verilmiştir. Değerler, üç örnekten elde edilen sonuçların ortalamasıdır. Örneklerin ilgili ortamlara konulmadan önceki mukavemetleri katkı maddesinin mukavemet üzerine etkisini incelemek için yapılmış olan deneylerden elde edilen değerlerdir. 17 haftalık bekletme süresi sonundaki mukavemet değerleri için boy ve ağırlık değişimi deneylerinin yapıldığı aynı örneklerden yararlanılmıştır. Çizelgelerde parantez

içindeki değerler söz konusu ortamlara konulmadan önceki mukavemetlerin yüzdesini göstermektedir.

ÇİZELGE 3.19 : Destile suda bekletilen harçların eğilme mukavemetleri (N/mm²)

Harç türü	BEKLETME SÜRESİ (hafta)					
	0	2	4	6	8	17
H(0,0)	7,3(100)	8,2(112)	7,9(108)	8,4(115)	8,2(112)	8,3(114)
H(0,3)	6,5(100)	7,2(112)	7,1(109)	7,6(117)	7,4(114)	7,5(115)
H(0,6)	6,3(100)	6,5(103)	7,3(116)	7,4(117)	7,4(117)	7,5(119)
H(1,0)	6,3(100)	6,8(108)	6,7(106)	6,9(110)	6,7(106)	6,9(110)
H(1,5)	5,8(100)	6,1(105)	6,5(112)	6,7(116)	6,6(114)	6,6(114)

ÇİZELGE 3.20 : 0,35 M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen harçların eğilme mukavemetleri

Harç türü	BEKLETME SÜRESİ (hafta)					
	0	2	4	6	8	17
H(0,0)	7,3(100)	9,0(123)	9,2(126)	9,7(133)	9,3(127)	8,4(115)
H(0,3)	6,5(115)	7,5(115)	7,5(115)	7,1(125)	8,0(123)	8,0(123)
H(0,6)	6,3(100)	6,8(108)	7,7(122)	7,9(125)	8,0(127)	8,0(127)
H(1,0)	6,3(100)	7,0(111)	7,1(113)	7,4(117)	7,3(116)	7,4(117)
H(1,5)	5,8(100)	6,3(109)	6,8(117)	7,1(122)	6,9(119)	7,0(121)

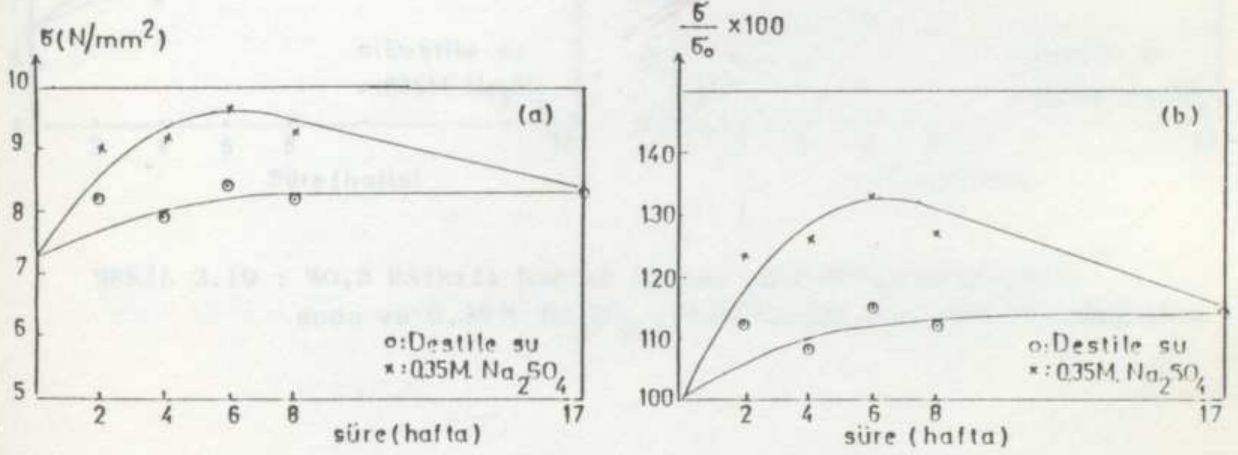
ÇİZELGE 3.21 : Destile suda bekletilen harçların basınç mukavemetleri (N / mm^2)

Harç türü	BEKLETME SÜRESİ (hafta)					
	0	2	4	6	8	17
H(0,0)	38,1(100)	40,3(106)	45,3(119)	47,5(125)	48,6(128)	50,4(132)
H(0,3)	33,1(100)	36,0(109)	38,6(117)	39,9(121)	39,0(118)	41,2(124)
H(0,6)	30,9(100)	34,5(112)	36,2(117)	38,0(123)	38,0(123)	41,6(135)
H(1,0)	29,9(100)	33,5(112)	34,3(115)	38,0(127)	37,5(125)	41,3(138)
H(1,5)	28,6(100)	31,2(109)	34,6(121)	36,4(127)	36,5(128)	38,8(136)

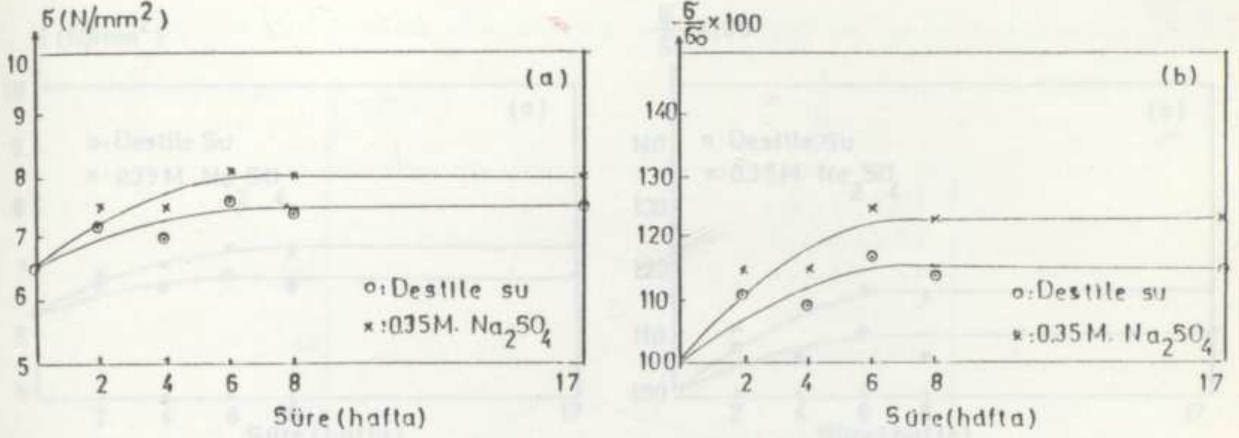
ÇİZELGE 3.22 : 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harçların basınç mukavemetleri (N / mm^2)

Harç türü	BEKLETME SÜRESİ (hafta)					
	0	2	4	6	8	17
H(0,0)	38,1(100)	41,8(110)	45,6(120)	46,9(123)	46,6(122)	44,6(122)
H(0,3)	33,1(100)	35,2(106)	39,6(120)	39,2(118)	38,8(117)	38,8(117)
H(0,6)	30,9(100)	35,8(116)	35,2(114)	39,0(126)	38,6(125)	39,2(127)
H(1,0)	29,9(100)	34,3(115)	34,0(114)	35,8(120)	36,4(120)	39,8(133)
H(1,5)	28,6(100)	32,3(113)	33,3(116)	35,4(124)	37,0(129)	37,2(130)

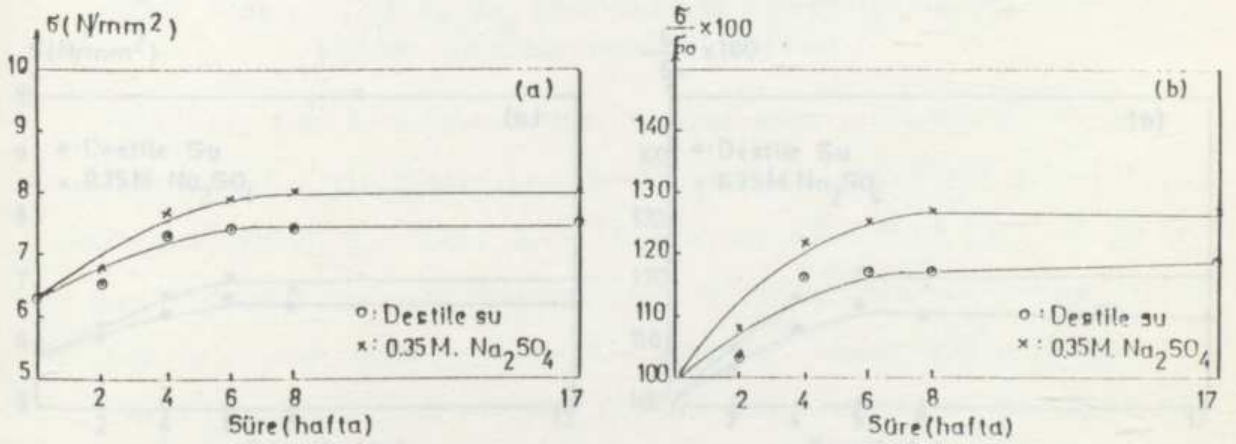
Harçların eğilme mukavemetlerinin destile suda ve $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ çözeltisinde bekletme ile değişimleri Şekil 3.18 [H(0,0)], Şekil 3.19 [H(0,3)], Şekil 3.20 [H(0,6)], Şekil 3.21 [H(1,0)] ve Şekil 3.22 [H(1,5)] de verilmiştir. Herbir şekilde mukavemetler, (a) N/mm^2 olarak ve (b) ilgili ortama konulmadan önceki mukavemetin yüzdesi olarak gösterilmiştir.



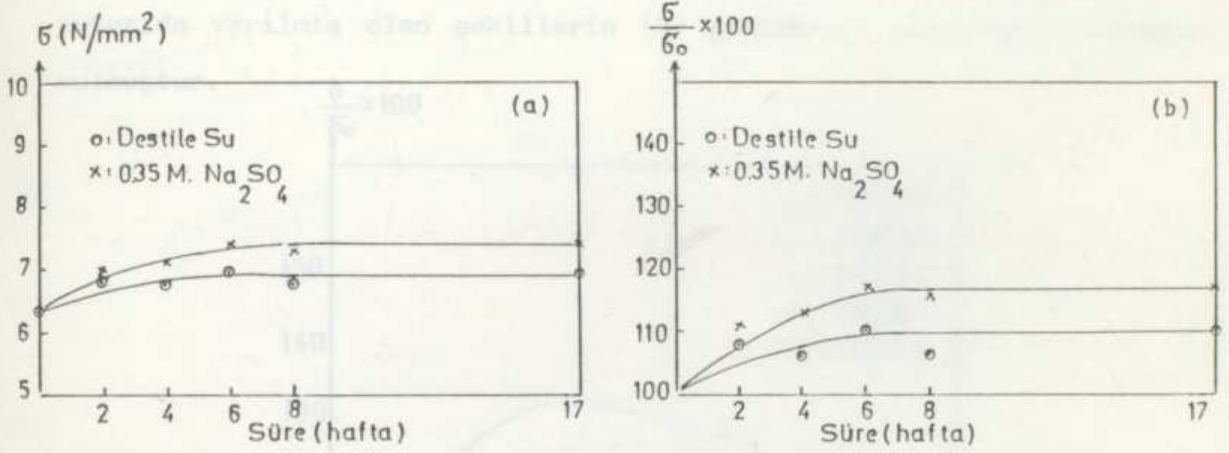
ŞEKİL 3.18 : Katkısız harcın eğilme mukavemetinin, destile suda ve $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ çözeltisinde bekletme ile değişimi



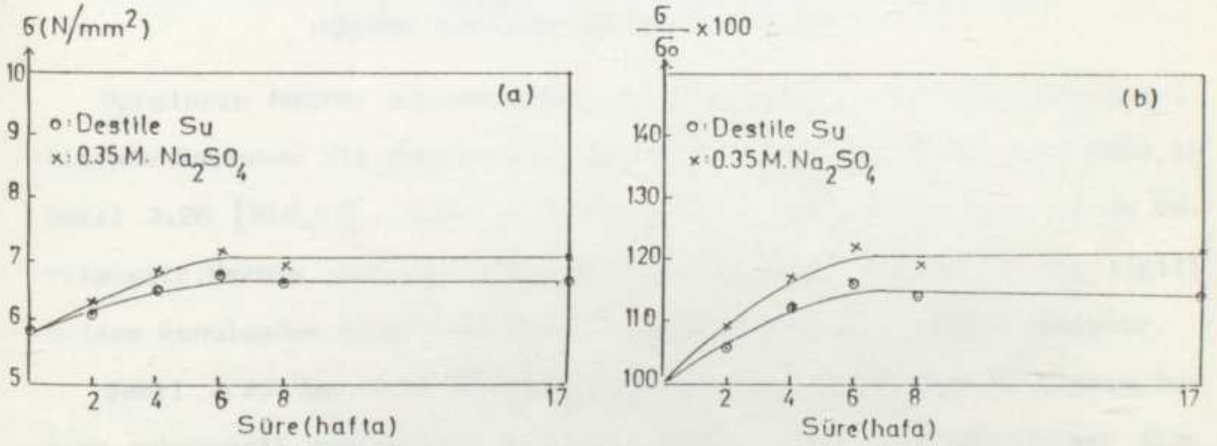
ŞEKİL 3.19 : %0,3 katkılı harcın eğilme mukavemetinin, destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi



ŞEKİL 3.20 : %0,6 katkılı harcın eğilme mukavemetinin, destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi

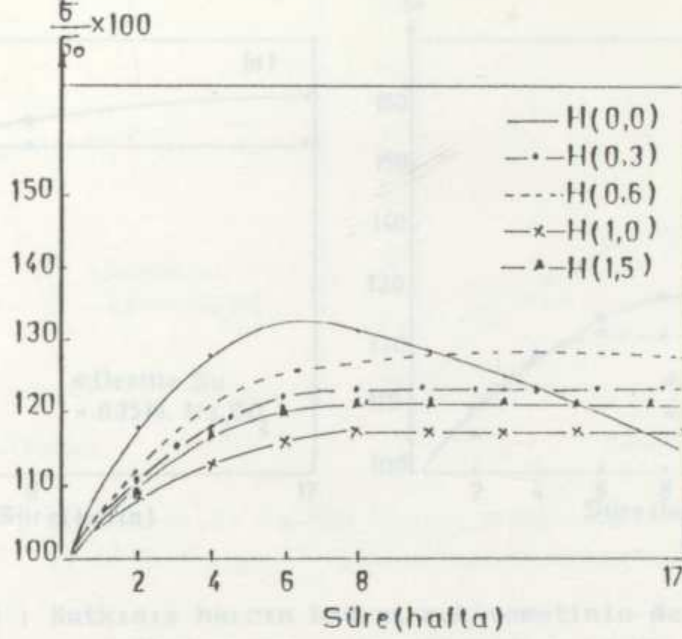


ŞEKİL 3.21 : %1,0 katkılı harcın eğilme mukavemetinin destile suda ve 0,35 M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletme ile değişimi.



ŞEKİL 3.22 : %1,5 katkılı harcın eğilme mukavemetinin destile suda ve 0,35 M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletme ile değişimi.

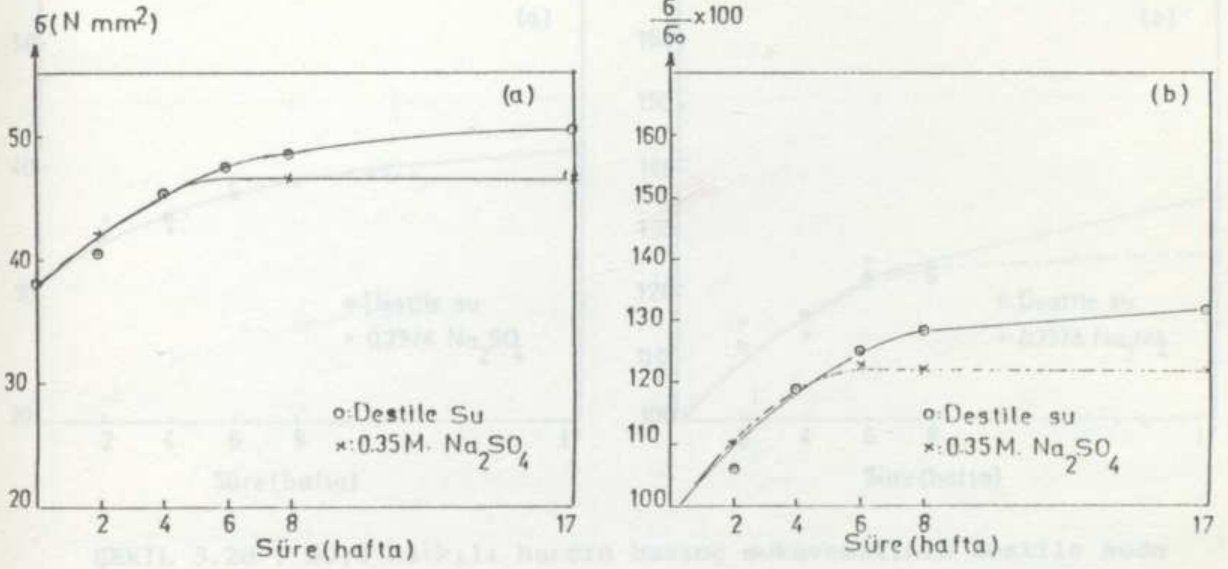
Şekil 3.23'de, 0,35M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harçların eğilme mukavemeti değişimleri birarada gösterilmiştir. Buradaki eğriler, yukarıda verilmiş olan şekillerin (b) grafikleri aracılığıyla oluşturulmuştur.



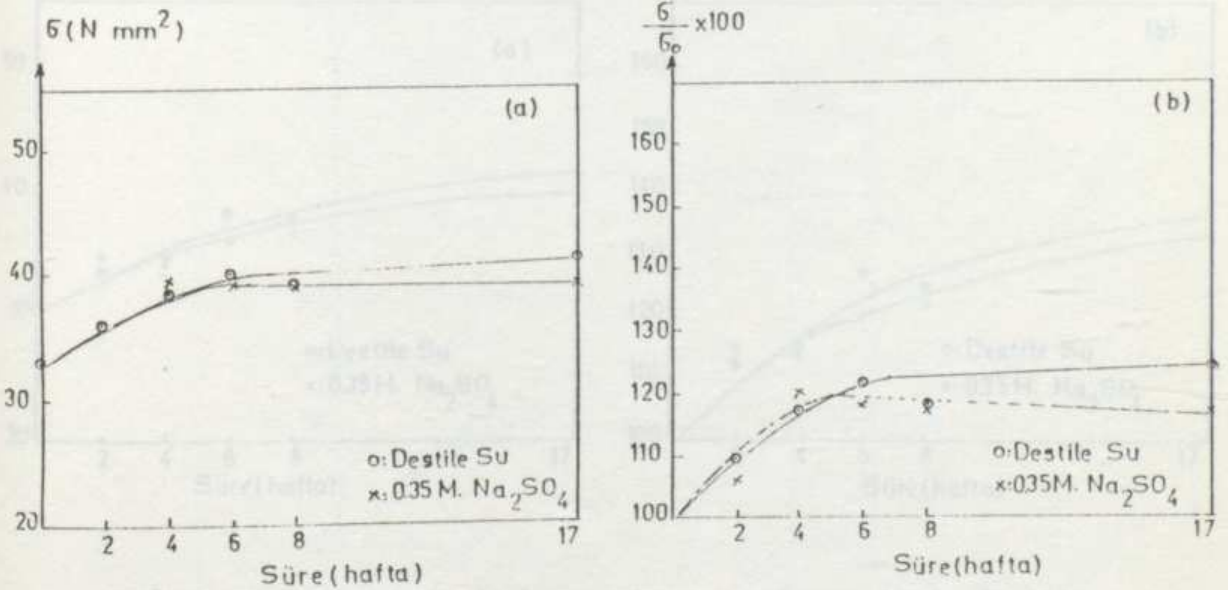
ŞEKİL 3.23 : 0,35M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harçların eğilme mukavemetlerinin değişimi

Harçların basınç mukavemetinin destile suda ve 0,35M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimleri Şekil 3.24 [H(0,0)], Şekil 3.25 [H(0,3)] Şekil 3.26 [H(0,6)], Şekil 3.27 [H(1,0)] ve Şekil 3.28 [H(1,5)]'de verilmiştir. Herbir şekilde mukavemetler, (a) N/mm^2 olarak ve (b) ilgili ortama konulmadan önceki mukavemetin yüzdeleri olarak gösterilmiştir.

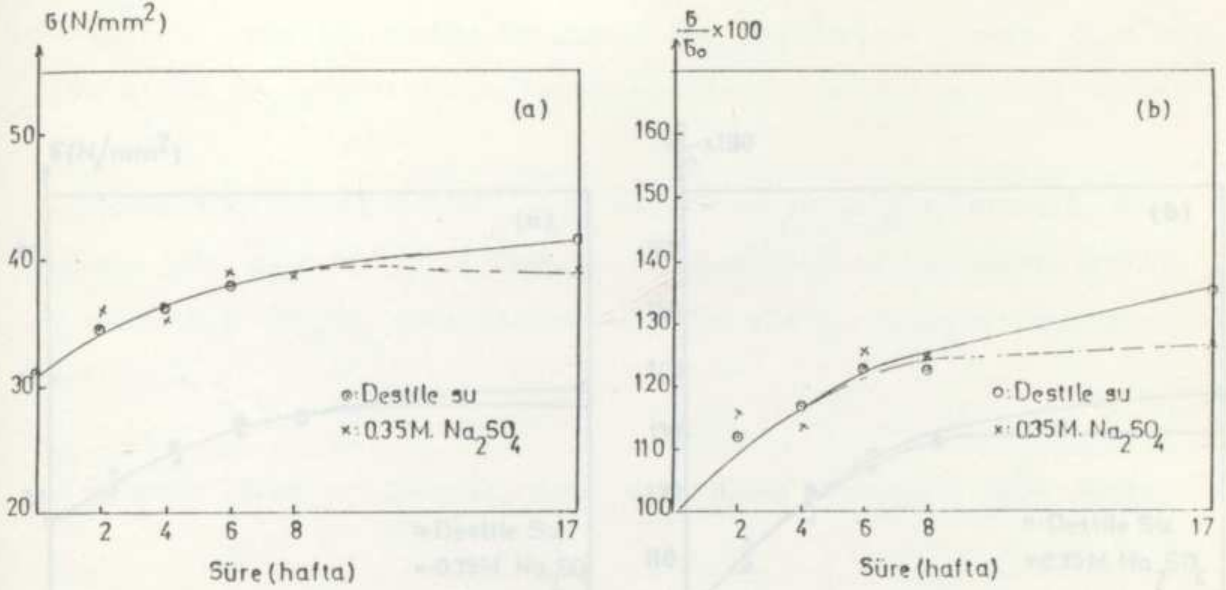
Şekil 3.29'da, 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harçların basınç mukavemeti değişimleri birarada gösterilmiştir. Bu şekilde yer alan eğriler yukarıda belirtilen şekillerin (b) grafikleri aracılığıyla oluşturulmuştur.



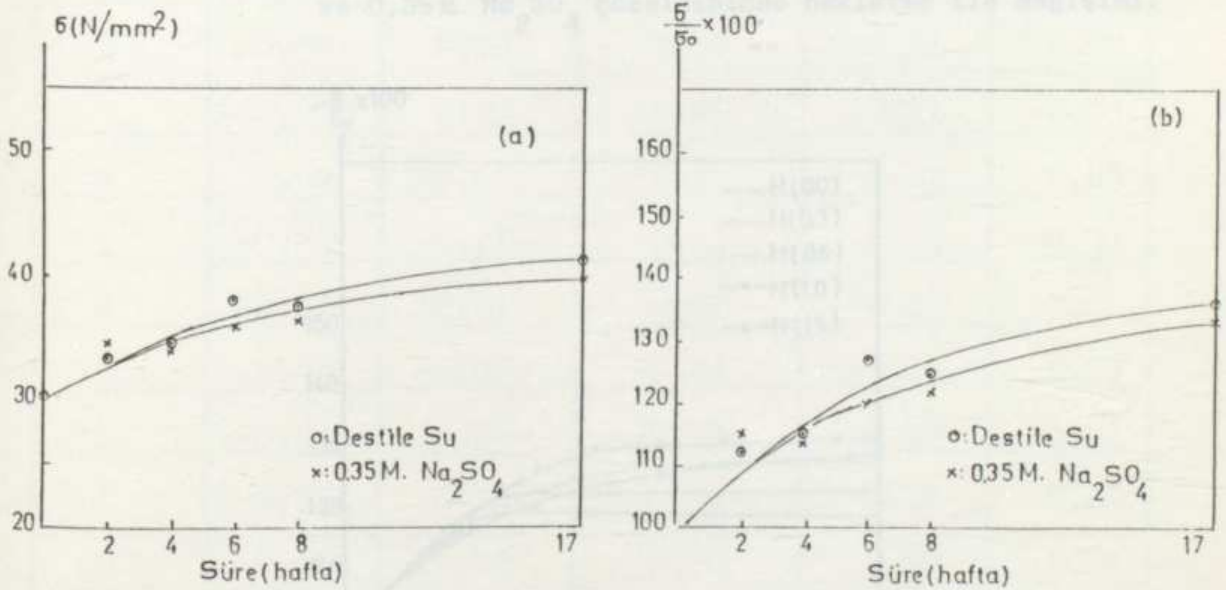
ŞEKİL 3.24 : Katkısız harcın basınç mukavemetinin destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi



ŞEKİL 3.25 : %0,3 katkılı harcın basınç mukavemetinin destile suda ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi.



ŞEKİL 3.26 : %0,6 katkılı harcın basınç mukavemetinin destile suda ve 0,35 M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletme ile değişimi.



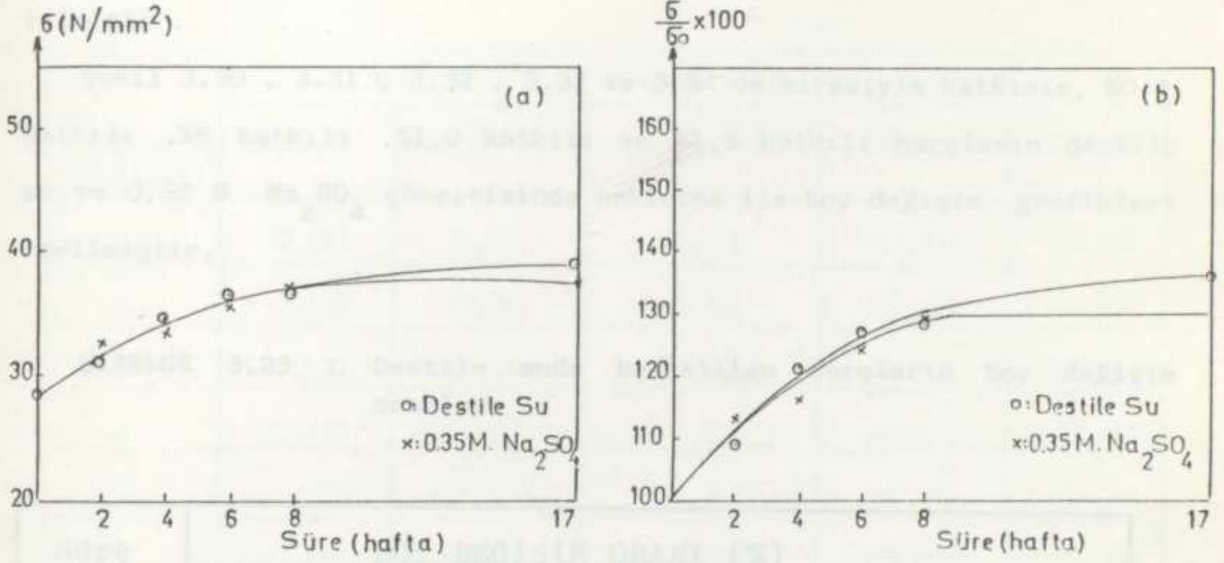
ŞEKİL 3.27 : %1,0 katkılı harcın basınç mukavemetinin destile suda ve 0,35M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletme ile değişimi.



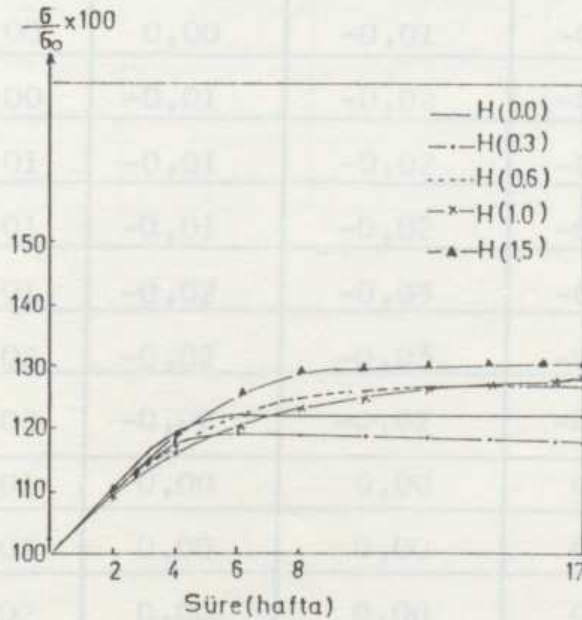
3.4.5.2. Boy ve Ağırlık Değişimleri

Destile suya bekletilen harcın basınç mukavemeti 0,24'ne

0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harcın basınç mukavemeti 0,24'ne



ŞEKİL 3.28 : %1,5 katkılı harcın basınç mukavemetinin destile suda ve 0,35M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile değişimi.



ŞEKİL 3.29 : 0,35M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harçların basınç mukavemetlerinin değişimi.

3.4.5.2. Boy ve Ağırlık Değişimleri

Destile suda bekletilen harçların boy değişimleri Çizelge 3.23'de 0,35 M Na_2SO_4 çözeltilerin boy değişimleri ise Çizelge 3.24'de verilmiştir.

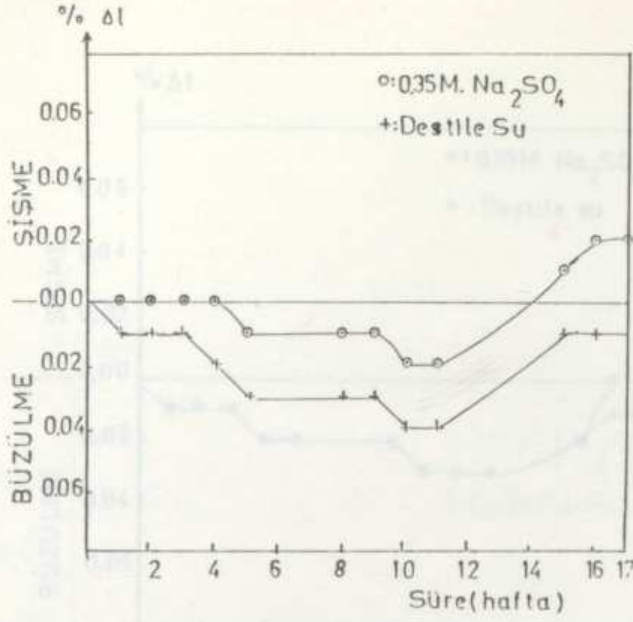
Şekil 3.30 , 3.31 , 3.32 , 3.33 ve 3.34 de sırasıyla katkısız, %0,3 katkılı ,%6 katkılı ,%1,0 katkılı ve %1,5 katkılı harçların destile su ve 0,35 M Na_2SO_4 çözeltilisinde bekletme ile boy değişim grafikleri verilmiştir.

ÇİZELGE 3.23 : Destile suda bekletilen harçların boy değişim oranları

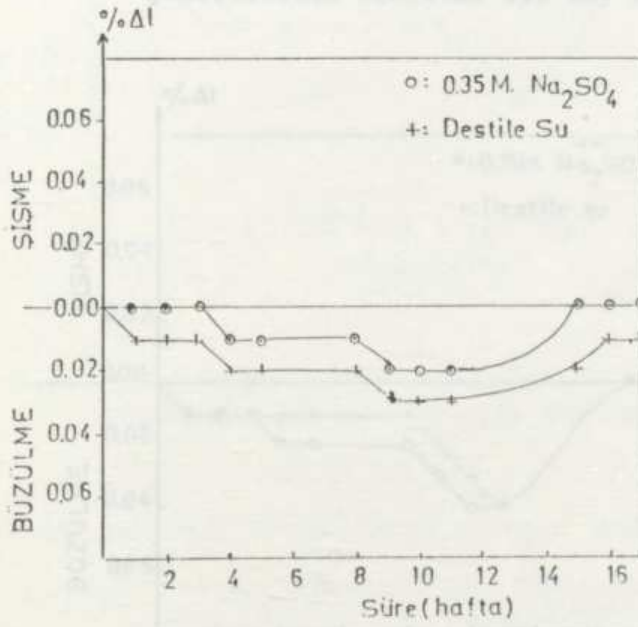
Süre (hafta)	BOY DEĞİŞİM ORANI (%)				
	H(0,0)	H(0,3)	H(0,6)	H(1,0)	H(1,5)
1	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01
2	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02
3	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,03
4	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03
5	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03
8	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01
9	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03
10	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,04
11	-0,02	-0,02	-0,02	-0,04	-0,05
15	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
16	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
17	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00

ÇİZELGE 3.24 : 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harçların boy değişim oranları

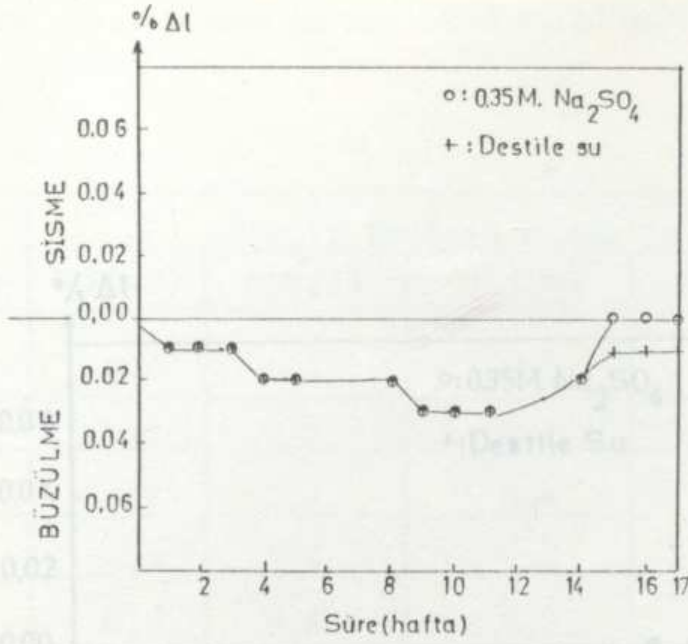
Süre (hafta)	BOY DEĞİŞİM ORANI (%)				
	H(0,0)	H(0,3)	H(0,6)	H(1,0)	H(1,5)
1	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01
2	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02
3	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,03
4	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03
5	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03
8	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01
9	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03
10	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,04
11	-0,02	-0,02	-0,02	-0,04	-0,05
15	+0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
16	+0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
17	+0,02	0,00	0,00	0,00	0,00



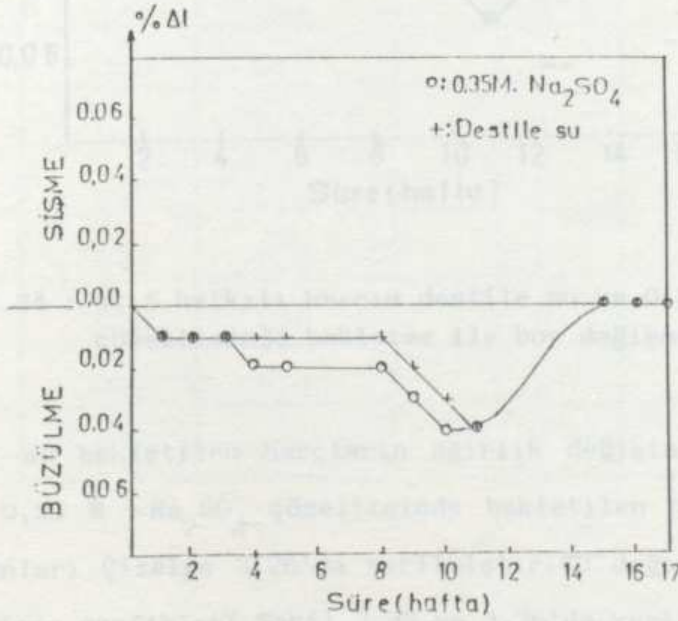
ŞEKİL 3.30 : Katkısız harcın destile su ve 0,35 M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletme ile boy değişimleri.



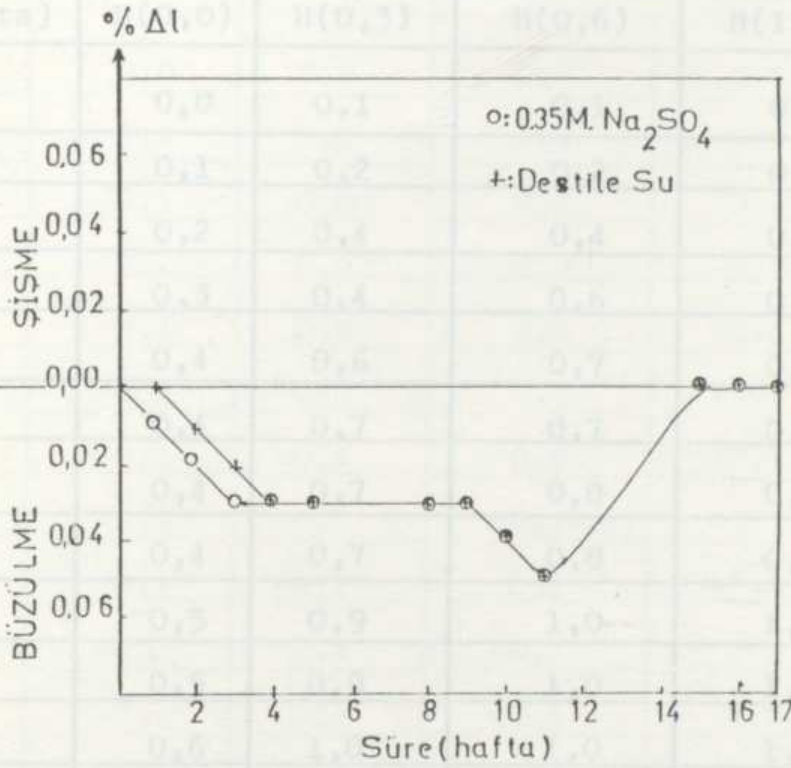
ŞEKİL 3.31 : %0,3 katkılı harcın destile su ve 0,35 M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletme ile boy değişimleri.



ŞEKİL 3.32 : %0,6 katkılı harcın destile su ve 0,35 M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletme ile boy değişimleri.



ŞEKİL 3.33 : %1,0 katkılı harcın destile su ve 0,35 M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletme ile boy değişimleri



ŞEKİL 3.34 : %1,5 katkılı harcın destile su ve 0,35 M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletme ile boy değişimleri

Destile su bekletilen harçların ağırlık değişim oranları Çizelge 3.25'de , 0,35 M Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen örneklerin ağırlık değişim oranları Çizelge 3.26'da verilmiştir. Bu değerlere göre çizilen ağırlık değişim grafikleri Şekil 3.35 ve 3.36'da verilmiştir.

ÇİZELGE 3.25 : Destile suda bekletilen harçların ağırlık değişim oranları

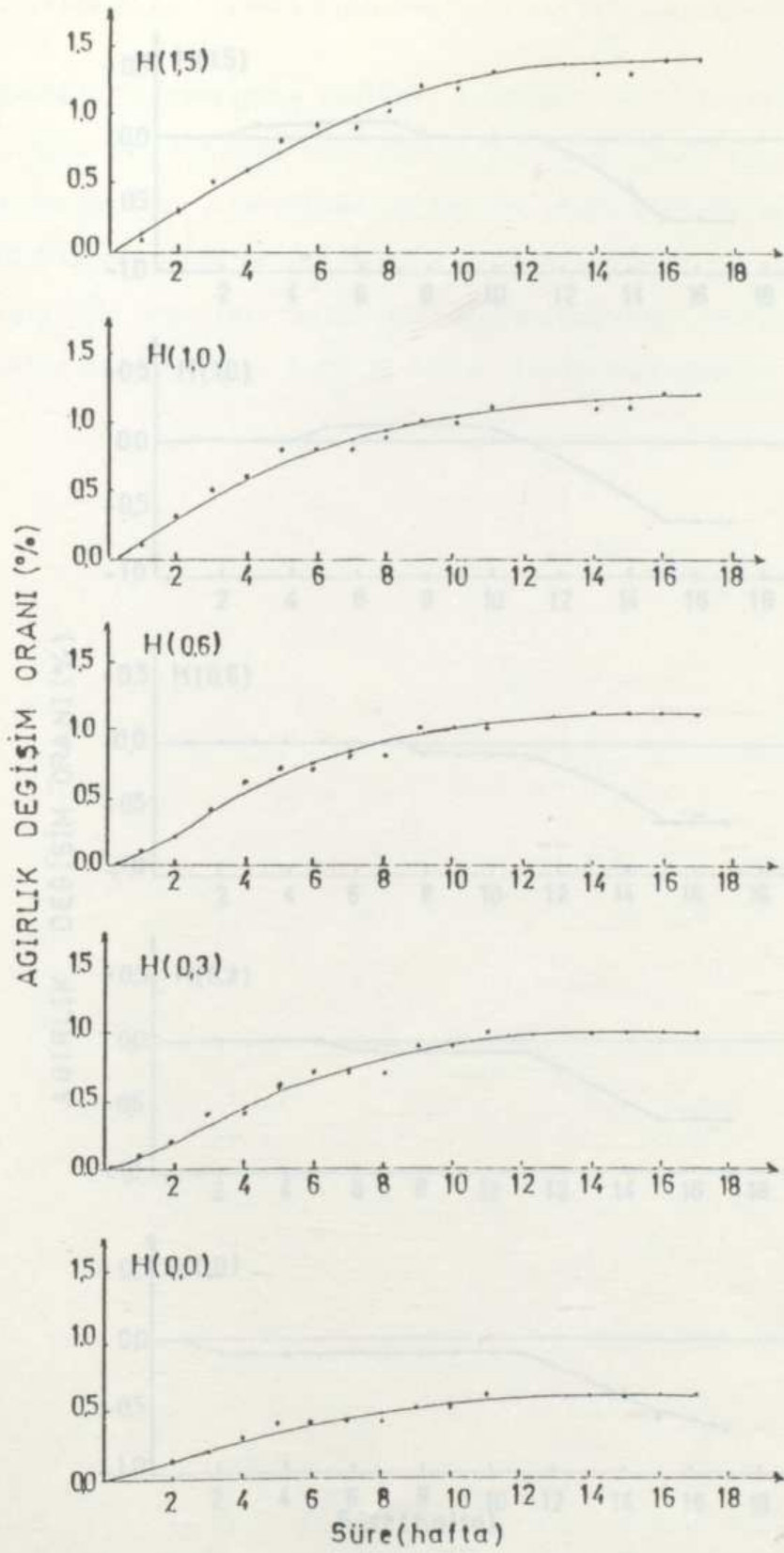
Süre (hafta)	AĞIRLIK DEĞİŞİM ORANI (%)				
	H(0,0)	H(0,3)	H(0,6)	H(1,0)	H(1,5)
1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
3	0,2	0,4	0,4	0,5	0,5
4	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6
5	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8
6	0,4	0,7	0,7	0,8	0,9
7	0,4	0,7	0,8	0,8	0,9
8	0,4	0,7	0,8	0,9	1,0
9	0,5	0,9	1,0	1,0	1,2
10	0,5	0,9	1,0	1,0	1,2
11	0,6	1,0	1,0	1,1	1,3
14	0,6	1,0	1,1	1,1	1,3
15	0,6	1,0	1,1	1,1	1,3
16	0,6	1,0	1,1	1,2	1,4
17	0,6	1,0	1,1	1,2	1,4

ÇİZELGE 3.26 : 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harçların
ağırlık değişim oranları

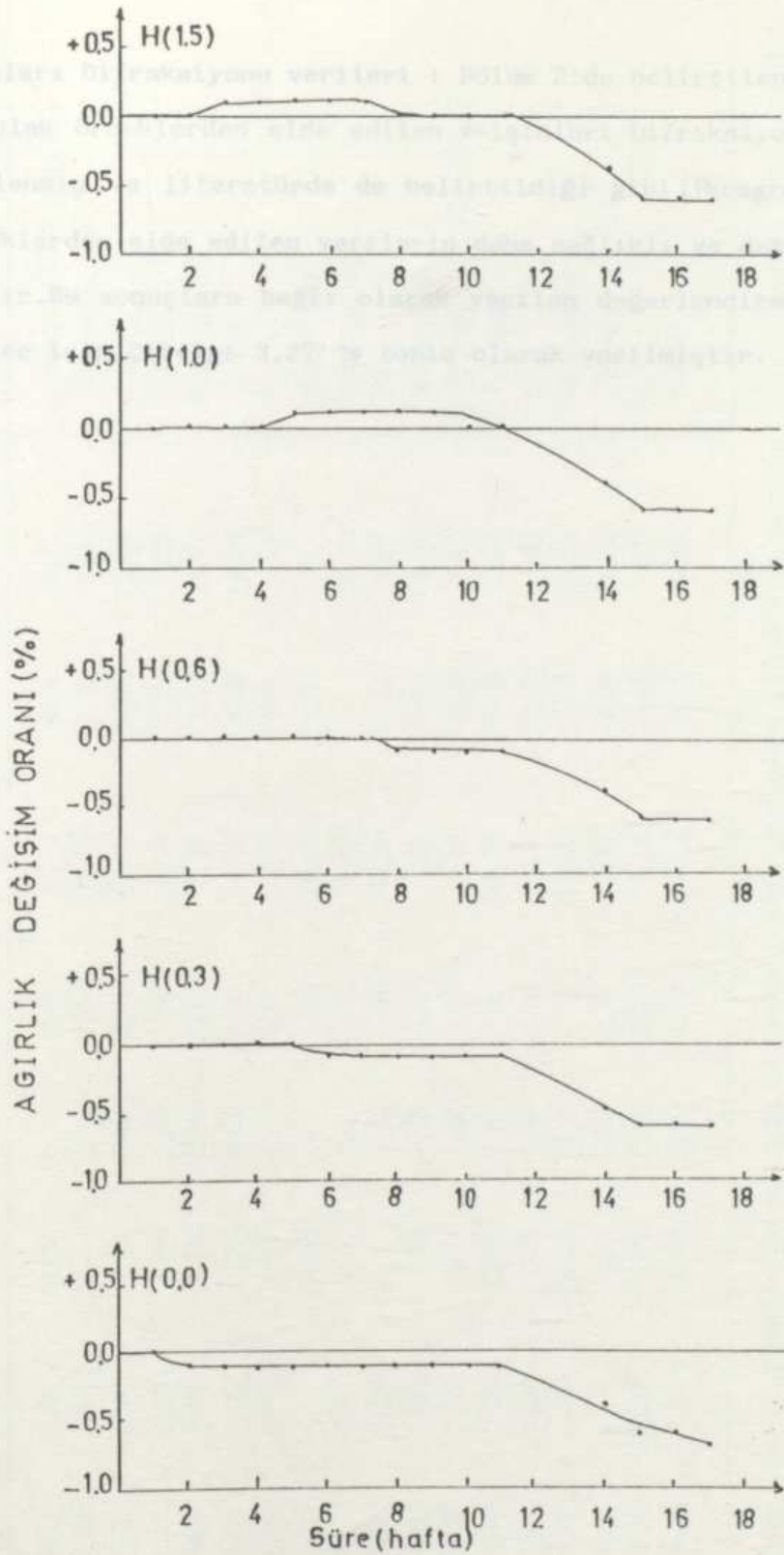
Süre (hafta)	AĞIRLIK DEĞİŞİM ORANI (%)				
	H(0,0)	H(0,3)	H(0,6)	H(1,0)	H(1,5)
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
3	-0,1	0,0	0,0	0,0	+0,1
4	-0,1	0,0	0,0	0,0	+0,1
5	-0,1	0,0	0,0	+0,1	+0,1
6	-0,1	-0,1	0,0	+0,1	+0,1
7	-0,1	-0,1	0,0	+0,1	+0,1
8	-0,1	-0,1	-0,1	+0,1	0,0
9	-0,1	-0,1	-0,1	+0,1	0,0
10	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0
11	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0
14	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4
15	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
16	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
17	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6



ŞEKİL 3.25 : Harçların bekletildiği süreye göre ağırlık değişimleri



ŞEKİL 3.35 : Harçların destile suda bekletme ile ağırlık değişimleri



ŞEKİL 3.36 : Harçların 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletme ile ağırlık değişimleri

3.4.5.3. X-Işınları Difraksiyonu verileri ve DTA incelemeleri

X-Işınları Diffraksiyonu verileri : Bölüm 2'de belirtilen yöntemle kuru ve ıslak örneklerden elde edilen x-Işınları Diffraksiyon diyagramları incelenmiş ve literatürde de belirtildiği gibi (Paragraf 1.3.4.5) ıslak örneklerden elde edilen verilerin daha sağlıklı ve detaylı olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlara bağlı olarak yapılan değerlendirme, incelenen tüm örnekler için Çizelge 3.27'de toplu olarak verilmiştir.

GİZELGE 3.27 : X-Işınları Difraksiyonu verileri [$d(A^\circ)$]

İNCELENEN ÖRNEK *									SAPTANAN BİLEŞİK
B(0,0)	B(0,3)	B(1,0)	D(0,0)	D(0,3)	D(1,0)	N(0,0)	N(0,3)	N(1,0)	
9,71	9,71	9,71	9,81	9,71	9,73	9,73	9,81	9,71	Etringit, CSH(I), CSH(II)
9,09	9,04	8,94	-	9,02	9,04	9,05	9,05	9,00	Monosülfat, CSH(I)
6,47	6,46	6,45	6,46	6,45	6,43	6,49	6,46	6,45	C ₃ S ₂ H ₃
-	5,62	5,60	5,62	5,61	5,60	5,62	5,64	5,65	Etringit
5,06	5,09	5,09	5,10	5,08	5,10	5,10	5,10	5,10	Hidrogamet
4,91	4,92	4,91	4,92	4,92	4,90	4,93	4,92	4,95	Ca(OH) ₂
4,72	4,72	4,72	4,73	4,71	4,67	4,72	4,71	4,73	C ₃ S ₂ H ₃
-	-	-	4,48	-	4,48	4,50	4,53	-	Monosülfat
-	-	4,40	4,42	4,41	4,43	4,42	-	4,42	Hidrogamet
4,26	4,28	4,26	4,27	4,26	4,26	4,28	4,27	4,27	SiO ₂
4,06	4,00	3,96	3,99	4,03	4,05	4,00	4,04	4,02	Monosülfat
3,90	3,89	3,89	3,90	3,88	3,89	3,89	3,88	3,88	Etringit, C ₃ A.½CO ₂ .12H ₂ O
3,48	3,49	3,50	3,49	3,49	3,49	3,50	3,49	3,50	Etringit
3,35	3,36	3,34	3,35	3,35	3,36	3,34	3,35	3,36	SiO ₂
3,30	3,30	-	3,28	-	-	3,30	3,31	3,30	Hidrogamet
3,27	3,25	-	3,25	3,25	3,25	3,25	3,24	3,26	Etringit
3,20	3,19	3,20	3,20	3,19	3,20	3,19	3,19	3,19	C ₃ S ₂ H ₃
3,12	3,11	3,11	3,15	3,12	3,11	3,11	3,12	3,13	Ca(OH) ₂

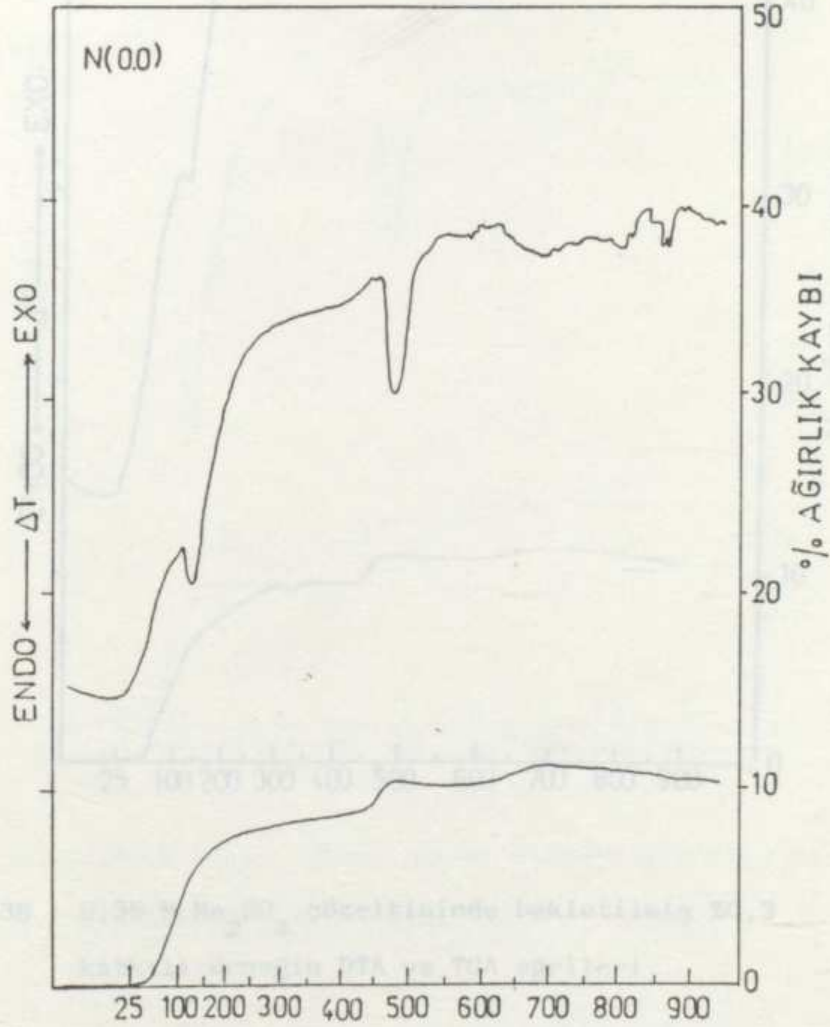
* Örnekleri temsil etmek için kullanılan sembollerde parantez içindeki değerler katkı oranını göstermektedir. Harfler, örneklerin bekletildiği ortam ve bekletme süresini temsil etmekte olup, şu anlamlara gelmektedirler:

B : 28 gün normal su

D : 28 gün normal su kürine ilave 17 hafta destile su

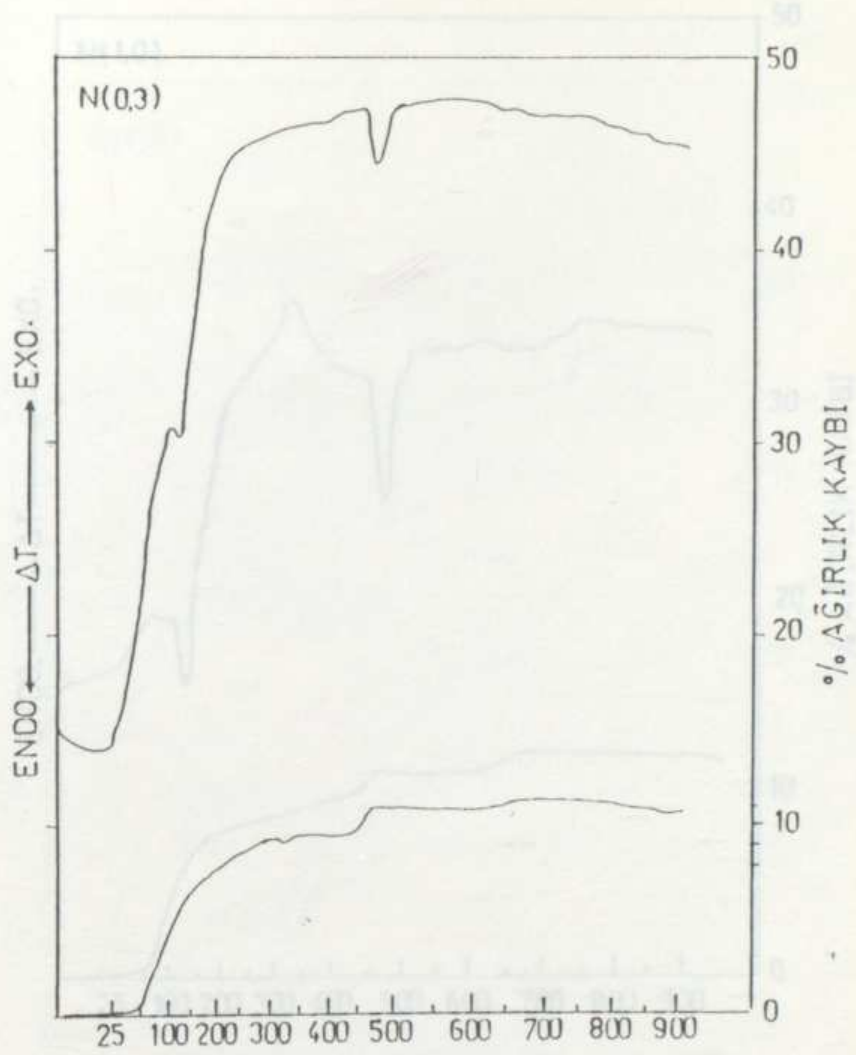
N : 28 gün normal su kürine ilave 17 hafta 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisi

DTA ve TGA eğrileri : DTA incelemeleri için,Bölüm 2'de belirtilen çalışma koşullarında çekilmiş DTA grafikleri Şekil 3.37 , 3.38 , 3.39, 3,40 ve 3.41'de verilmiştir.Şekillerin üst kısmında DTA eğrileri,alt kısmında TGA eğrileri bulunmaktadır.

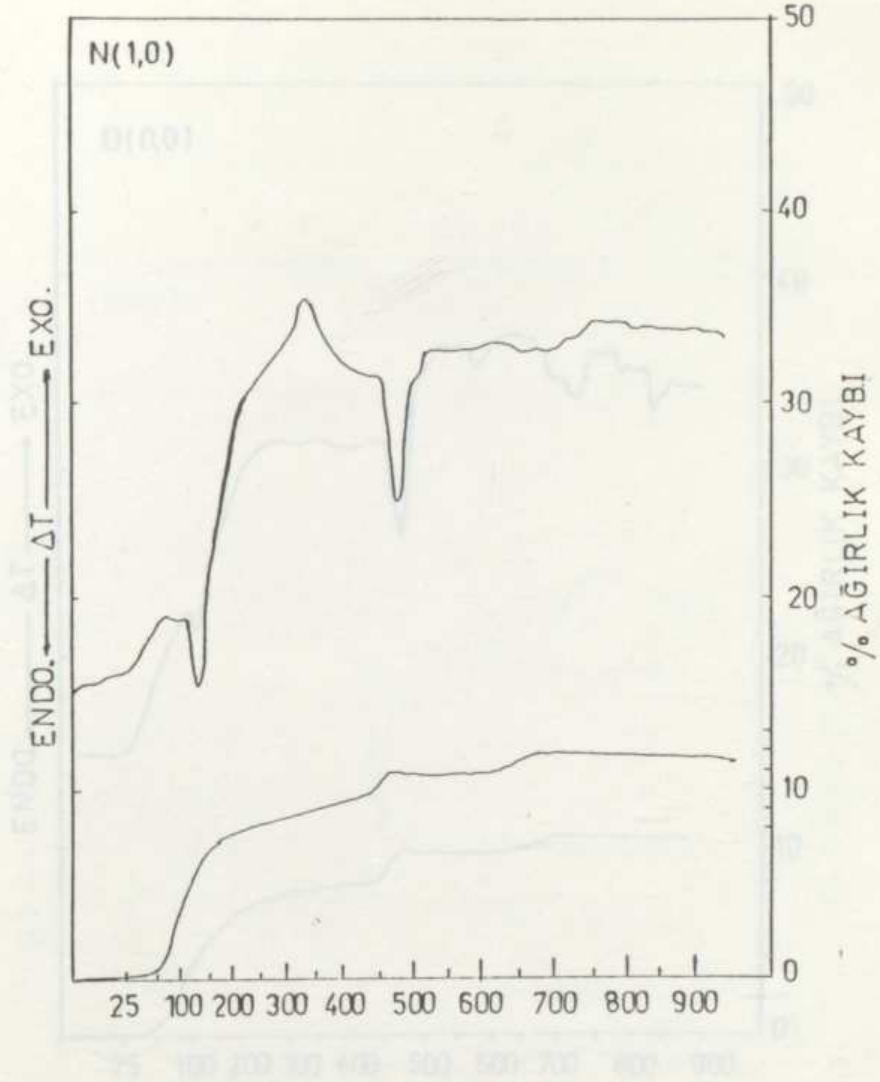


ŞEKİL 3.37: 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilmiş katkısız örneğin DTA ve TGA eğrileri.



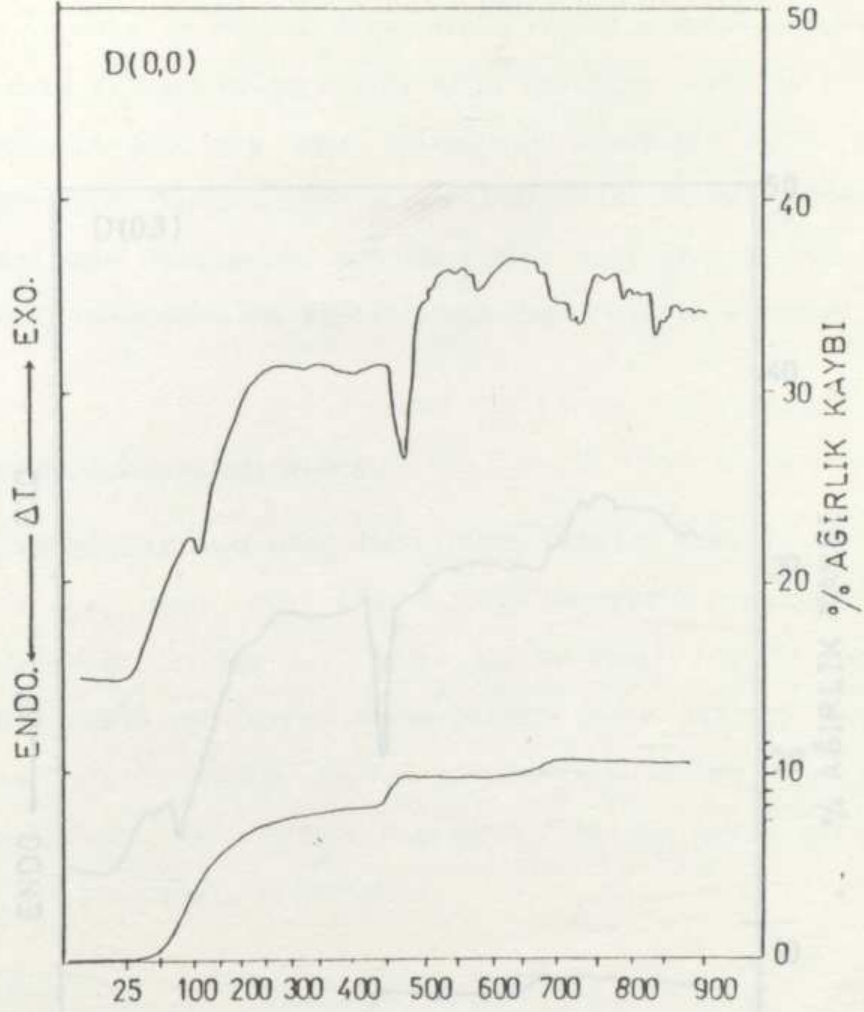


ŞEKİL 3.38 : 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilmiş %0,3 katkılı örneğin DTA ve TGA eğrileri.



ŞEKİL 3.39 : 0,35 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilmiş %1,0 katkılı

örneğin DTA ve TGA eğrileri.



ŞEKİL 3.40 : Destile suda bekletilmiş katkısız örneğin DTA ve TGA eğrileri.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Normal Portland çimentosuna katkı maddesi olarak faktis katılması-
nın,kılcallık,su emme ve sülfat dayanımının yanısıra,mukavemet,boy de-
ğişimi,kıvam,priz ve hava miktarı gibi diğer özellikler üzerine etkisini
incelemek amacıyla yapılmış olan deneylerin sonuçları Bölüm 3'deki
çizelge ve şekillerde toplu olarak gösterilmiştir.Bu bölümde,önce katkı
maddesinin incelenen özellikler üzerine etkisi ayrı ayrı tartışılacak,
daha sonra genel sonuçlandırma yapılip,buna bağlı olarak öneriler veri-
lecektir.

4.1. DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI

4.1.1. KATKI MADDESİNİN TAZE HARÇ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Su/çimento oranı aynı (0,5) olan 1:3 lük harçların taze harç özel-
liklerinin verildiği Çizelge 3.1, Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'nin incelen-
mesinden,katkı maddesinin gerek kıvam,gerekse hava miktarı üzerinde
artırıcı yönde etkili olduğu açıkça görülmektedir.Deney sonuçlarına
göre,su/çimento oranı aynı kalmak koşuluyla,katkısız harca göre hava
miktarındaki artışlar şöyle olmaktadır:

Harç Türü	A (%)
H(0,0)	-
H(0,3)	4,39
H(0,6)	5,52
H(1,0)	6,29
H(1,5)	6,60

Beton veya harca hava sürüklenmesi kıvamda artışa neden olmaktadır
(51).Bu nedenle kıvam artışının sürüklenmiş havadan kaynaklanmış olduğu
düşünülebilir.

Kıvam aynı olacak şekilde karışım suyu miktarı azaltılarak hazır-
lanmış harçların taze harç özelliklerinin verildiği Çizelge 3.3'ün

incelenmesi, aynı harç tiplerinin özelliklerinin birbirleriyle oldukça uyumlu olduğunu göstermektedir. Ancak farklı harç tipleri için birim ağırlık ve hava miktarları farklı olmaktadır. Katkılı harçlarda, birim ağırlıklar daha düşük ve hava miktarları daha fazladır. Sürüklenmiş hava nedeniyle, katkılı harçların birim ağırlıklarının azalmış olması normaldir.

4.1.2. KATKI MADDESİNİN PRİZ ÜZERİNE ETKİSİ

Çizelge 3.2 ve Şekil 3.3 incelenecek olursa, katkı maddesinin priz üzerindeki etkisinin pek fazla olmadığı görülür. Bununla birlikte, priz başlama ve sona erme sürelerinde çok az da olsa bir azalma vardır. Bu durum, kütle hidroföjlerinin priz üzerindeki etkisi ile uyumludur (Paragraf 1.3.10.2)

4.1.3. KATKI MADDESİNİN EĞİLME VE BASINÇ MUKAVEMETLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Çizelge 3.5, Şekil 3.4 ve Şekil 3.6'nın incelenmesinden görülebileceği gibi, katkı ilavesi eğilme mukavemetinde azalmaya neden olmaktadır. 28 günlük değerlere göre, %0,3 , 0,6 ve 1,0'lik katkı ilavelerinin oluşturduğu mukavemet azalmaları arasında pek fark yoktur ve bu azalmalar %11-14 arasında olmaktadır. Ancak %1,5'lik katkı oranı için azalma oranı %21 dir. 90 günlük değerlerin incelenmesi de hemen hemen aynı sonucu ortaya koymaktadır. Buna göre, %1,0'e kadar katkı ilavesinin eğilme mukavemetini %10-15 azalttığı ve %1,5'lik ilave için bu azalmanın %20 dolayında olduğu söylenebilir. Ayrıca sülfat dayanımı deneylerinde destile suda bekletilen harçların eğilme mukavemeti deneyleri de aynı sonucu desteklemektedir. Bu değerlere göre katkı ilavesi ile mukavemet azalmaları, %0,3 ve 1,5 katkı oranları için sırasıyla %10 ve %20 olmaktadır.

Sonuç olarak, katkı ilavesiyle ortaya çıkan etki zamanla değişmemektedir. Eğilme mukavemetlerinin zamanla değişimlerinin gösterildiği Şekil 3.5 ve 3.7 de aynı sonucu doğrulamaktadır. Şekillerden görüldüğü gibi,

tüm harçlar mukavemet gelişmelerini zaman süreci içinde,birbirlerine paralel bir şekilde sürdürmektedirler.

Çizelge 3.7, Şekil 3.8 ve 3.10 incelendiğinde,basınç mukavemetlerinde katkı ilavesiyle ortaya çıkan azalmanın,eğilme mukavemetlerindeki azalmaya benzediği görülmektedir.Ancak bu azalma,incelenen katkı oranları için önemli derecede bir farklılık göstermemektedir.90 günlük değerler gözönüne alınırsa,katkı ilavesiyle gözlenen basınç mukavemeti azalması %20 kadardır.Sülfat dayanımı deneylerinde,destile suda bekletilen harçların 147 günde ulaştıkları basınç mukavemetleri de aynı sonucu doğrulamaktadır.Basınç mukavemetlerinin zamanla değişiminin gösterildiği Şekil 3.9 ve 3.11'de,tüm harçlarda basınç mukavemeti gelişmelerinin,eğilme mukavemetlerinde olduğu gibi,birbirine paralel olarak ilerledikleri görülmektedir.

Katkı ilavesiyle ortaya çıkan mukavemetlerdeki azalmanın sürüklenmiş olan havadan kaynaklandığı düşünülebilir.Çünkü beton veya harca %1'lik hava sürüklenmesi mukavemette %5'lik azalmaya neden olmaktadır (Paragraf 1.3.10.1). Yapılan çalışmada,taze harç özellikleri deneyleri aracılığıyla katkı ilavesinin,harcın içerdiği hava miktarında artışa neden olduğu gözlenmiştir (Paragraf 4.1.1).

4.1.4. KATKI MADDESİNİN SU EMME VE GÖZENEKLİLİK ÜZERİNE ETKİSİ

Çizelge 3.9 ve 3.10'da verilmiş olan deney sonuçları ve bu sonuçlara göre çizilen grafikler(Şekil 3.12 ve 3.13),katkı ilavesi ile harçların su emme özelliği ve gözenekliliklerinin azaldığını göstermektedir. Bu durum,gerek laboratuvar atmosferinde gerekse suda kürlenmiş harçlar için geçerlidir.Suda kürlenmiş harçlarda,hidratasyonun daha iyi gelişmiş olması nedeniyle,su emme ve gözeneklilik daha az olmaktadır.

Alınan sonuçlara göre,incelenen katkı oranlarından en etkilisi %1,0 olmaktadır.Suda kürlenmiş harçlarda,katkısız harcın su emme oranı %7,9 iken,bu değer katkılı harçlarda giderek azalmakta ve %1,0 katkılı harç için %6,9 olmaktadır.%1,5 katkılı harç için su emme oranının %7,2

ye yükselmesi,katkı ilavesiyle ortaya çıkan etkinin %1,0 oranından sonra azalmaya başladığını gösteriyor olabilir.Gözeneklilik için de benzeri bir durum söz konusudur.Katkı ilavesiyle boşluk oranı giderek azalmakta ve katkısız harç için %16,5 iken %1,0 katkılı harçta %13,6'ya düşmekte,ancak %1,5 katkılı harçta bu oran yeniden yükselerek %14,1 olmaktadır.

Sonuç olarak,%1,0 kadar katkı ilavesiyle harcın yapısındaki boşlukların bir kısmının tıkanmasının,dolayısıyla da su emme özelliğinin azaltılmasının sağlandığı söylenebilir.

4.1.5. KATKI MADDESİNİN KILCALLIK ÜZERİNE ETKİSİ

İncelenen harçların difüzyon katsayısı değerlerinin verildiği Çizelge 3.13 ve 3.14 incelenecek olursa,katkı ilavesiyle harcın difüzyon katsayısının,dolayısıyla da kılcal yolla su emmesinin önemli derecede azaldığı görülür.En iyi sonuçlar %1,0 ve %1,5 katkı ilaveleri için elde edilmekte olup,bundan sonraki ilavenin pek etkisinin olmayacağı düşünülebilir.

Alınan sonuçlara göre,laboratuvar atmosferinde kürlenmiş katkısız harcın difüzyon katsayısı 294×10^{-5} iken %1,5 katkılı harç için bu değer 12×10^{-5} olmaktadır.Suda kürlenmiş katkısız harcın difüzyon katsayısı 54×10^{-5} iken %1,5 katkılı harcınki 8×10^{-5} olmaktadır.

Çizelgeler ve difüzyon katsayısının katkı oranına bağlı olarak değişimi grafiği (Şekil 3.14) incelenecek olursa,laboratuvar atmosferi yerine suda kürlenmenin difüzyon katsayılarının daha da düşük olmasını sağladığı görülür.

Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş harçların difüzyon katsayılarını 100 kabul edersek,suda kürlenmiş harçların difüzyon katsayıları şöyle olmaktadır:

Katkı oranı (%)	$\frac{D'_{su}}{D'_{lab.}} \times 100$
0,0	18,4
0,3	23,4
0,6	29,5
1,0	52,4
1,5	66,7

Görüldüğü gibi,suda kürlleme ile difüzyon katsayıları daha da azalmaktadır.Çünkü suda hidratasyon devam etmektedir.Literatüre göre, hidratasyon ilerlemesiyle oluşan hidrate ürünler başlangıçta su dolu olan boşluklara birikecektir.Bunun sonucu olarak hidratasyon ilerledikçe boşluklar azalacaktır(Paragraf 1.3.7.1).Hidratlaşmamış bir çimento karışımında hacmen %61,5 olan kılcallık suyu,ilerlemiş hidratasyon devrelerinde %49 ve 14'e düşmektedir(Paragraf 1.3.7.2 ve Çizelge 1.10).

Yukarıda verilen rakamları inceleyecek olursak,katkı ilavesinin hidratasyonu geciktirdiği sonucuna varabiliriz.Çünkü,katkısız bir harç için laboratuvar atmosferi yerine suda kürlleme,difüzyon katsayısının %81,6 daha düşük olmasına neden olurken,%1,5 katkılı harç için laboratuvar atmosferi yerine suda kürlleme,difüzyon katsayısının ancak %33,3 kadar daha düşük olmasını sağlamaktadır.Bu durum,katkılı harçlarda kılcal geçirimliliğin düşük olması nedeniyle hidratasyon için gerekli su temininin kısıtlı olmasından kaynaklanabilir.Hidratasyonun ilerleyen devrelerinde,hidratlaşmış ürünlerin de katkısıyla,katkılı harçların difüzyon katsayılarının daha da azalacağı beklenebilir.

Toplam boşluğa göre kılcal boşluk yüzdelerinin verildiği Çizelge 3.15 ve 3.16'daki değerler,katkı ilavesiyle kılcal boşlukların miktarında azalma olduğunu açıkça göstermektedir.Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş katkısız harçta,toplam boşluğa göre kılcal boşluk yüzdesi

%97,4 , %1,5 katkılı harçta ise %56,4'tür.Suda kürlenmiş katkısız harçta %86,6 olan kılcal boşluk yüzdesi, %1,5 katkılı harçta %41,1 olmaktadır.Kürleme koşullarının etkisi için yukarıda söylenenler burada da tekrarlanabilir.Ayrıca Şekil 3.15 incelenirse,katkı ilavesinin boşlukları tıkayıcı etkisi daha iyi görülür.Laboratuvar atmosferinde kürlenmiş örneklerde,kılcal boşlukların doldurulmasında hidratlaşmış ürünlerin etkisinin az olmasını gözönünde bulundurarak bu örneklerle ilgili grafik incelenirse,%0,3 ve 0,6 katkı ilavelerinde kılcal boşluk yüzdelerindeki azalmanın pek önemli olmadığı,buna karşılık %1,0 ve 1,5 oranları için önem kazandığı görülür.Bu durum,katkı ilavesiyle kılcal boşlukların tıkanabildiğini açık bir şekilde göstermektedir.

Sonuç olarak,katkı ilavesiyle,harcın kılcal boşluklarının önemli derecede azaltıldığı,harca su temininin kısıtlı olması yüzünden hidrasyonun geciktirildiği ve daha uzun süreli kürlemelerde kılcal boşlukların daha da azalmasının beklendiği söylenebilir.

4.1.6. KATKI MADDESİNİN BOY DEĞİŞMELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Deney sonuçları(Çizelge 3.17 ve Şekil 3.16) katkı ilavesinin harçların kuruma büzülmeleri üzerine çok az ve artırıcı yönde etkidiğini göstermektedir.Çünkü,katkısız harç için 90 günde ortaya çıkan %0,06 lık büzülmeye,%1,5 katkılı harç için %0,08 olmaktadır.Daha önce de belirtildiği gibi (Paragraf 1.3.10.2) kütle hidrofüjleri rötreyi artırmaktadırlar.Çalışmada kullanılan katkı maddesinin de kütle hidrofüjü olarak davrandığı düşünülürse,bu durum normaldir.Öte yandan Lea(3), su/çimento oranı 0,5 olan 1:3 lük harçların %50 nem ve 21°C sıcaklıkta ki ortamda 6 ay bekletme ile ulaştıkları kuruma büzülmeleri değerini %0,12 olarak vermektedir.Ayrıca Lea'nın verdiği 1:3 lük ve 4x4x16 cm³ boyutundaki harçların kuruma büzülmeleri grafiğinde 90 gün için ulaşılan değer %0,08 civarında olmaktadır.Bu değer %1,5 katkılı harç için bulunan değerle aynıdır.Bu nedenlerle,katkı maddesinin kuruma büzülmeleri üzerindeki etkisinin pek önemli olmadığı söylenebilir.

Suda bekletilen harçların boy değişim oranlarına gelince, katkısız ve katkılı tüm harçlarda incelenen sürede ortaya çıkan boy değişiklikleri önemsizdir ve birbirlerine göre pek farklı olmamaktadır. Örneğin 90 gün sonunda gerek katkısız ve gerekse katkılı harçların boyca büyümeleri ancak %0,01 olmaktadır (Çizelge 3.18). Bu durum, Şekil 3.17'de de açıkça görülmektedir. Suda bekletme deneyleri sonucunda 90 günde ortaya çıkan %0,01 lik boyca değişim oranı Lea'nın (3) yoğun bir beton için verdiği grafik değerleriyle tamamen uyumludur. Lea'nın verdiği grafikte de bu değer %0,01 olmaktadır. Öyleyse, katkı ilavesinin, suda bekletme ile ortaya çıkabilecek boy değişimlerinde 90 güne kadar olan devrelerde bir etkisi olmadığı söylenebilir.

4.1.7. KATKI MADDESİNİN SÜLFAT DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİ

Daha önce de belirtildiği gibi (Bölüm 2), katkı maddesinin sülfat dayanımı üzerine etkisini incelemek amacıyla üç tip deney yapılmıştır. Bunlar:

- a) Sülfat etkisiyle mukavemetlerde ortaya çıkan değişiklikler,
- b) Sülfat etkisiyle oluşan boy ve ağırlık değişimleri,
- c) Sülfat etkisiyle oluşan mineralojik yapıdaki değişiklikler.

Bu deneylerden alınan sonuçları tek tek irdeleyelim:

- a) Sülfat etkisiyle mukavemetlerde ortaya çıkan değişiklikler:

Bu amaçla yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre çizilen grafiklerin hepsinde (Şekil 3.18 , 3.19 , 3.20 , 3.21 , ve 3.22) ortak olan görüntü, sülfat etkisinde bırakılan harçların mukavemetlerinin özellikle ilk 6 haftalık sürede destile suda bekletilenlerinkinden daha yüksek olmasıdır. Bu durum, oluşan kristallerin boşlukları doldurarak yapıyı daha yoğun hale getirmesinden dolayı olabilir. Nitekim Neville (8), 0,15 M Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen 1:3 harç prizmalarında ilk zamanlarda görülen mukavemet artışını aynı şekilde açıklamaktadır. Ayrıca sülfat etki mekanizmaları hakkındaki bulgu ve açıklamalar (Paragraf 1.3.9.1) da aynı yorumu desteklemektedir.

Katkısız harcın eğilme mukavemeti değişim grafiği (Şekil 3.18) incelenirse, 6.haftadan sonra, sülfat çözeltisinde bekletilen harçların mukavemet kaybetmeye başladıkları ve 17.haftada destile sudakilerle aynı mukavemet değerine düştükleri görülür. Katkılı harçlarda durum biraz daha farklı olmaktadır. Öncelikle, Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen harçların mukavemetleri ile destile suda bekletilen harçlarınkiler arasındaki fark, katkısızdaki kadar büyük değildir. Ayrıca, 6.haftadan sonra mukavemetlerde bir azalma olmamakta ve mukavemet eğrileri birbirine paralel kalmaktadır.

Sülfat çözeltisinde bekletilen katkısız ve katkılı harçların eğilme mukavemetlerindeki değişimleri karşılaştırsak (Şekil 3.23), daha önce de belirtildiği gibi tüm harçların ilk 6 hafta mukavemet kazanmayı sürdürdükleri, ondan sonra katkısız harcın mukavemeti süratle düşerken, katkılı olanların mukavemetlerinin incelenen süre içinde sabit kaldığı görülür. Buna göre, katkı ilavesinin sülfat etkisini en azından yavaşlattığı söylenebilir.

Destile suda ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların basınç mukavemetleri değişim grafikleri (Şekil 3.24 , 3.25 , 3.26 , 3.27 ve 3.28) , eğilme mukavemetleri grafiklerinden biraz daha farklıdır. İlk 6 hafta içinde katkısız ve katkılı tüm harçlar için, destile suda ve sülfat çözeltisindeki basınç mukavemetleri arasında önemli bir farklılık olmamakta; daha sonraki haftalarda sülfat çözeltisinde bekletmeyle ilgili eğriler, destile suyla ilgili eğrilerin altına düşmektedir.

17 haftalık bekletme süresini gözönüne alırsak, destile suda bekletilen katkısız harcın basınç mukavemetinde, bu ortama konulmadan önceki mukavemetine göre %32 lik bir artış olmaktadır (Çizelge 3.21). Oysa, sülfat çözeltisinde bekletilme sonucunda bu artış %22 olmaktadır (Çizelge 3.22). %1,0 katkılı harcın basınç mukavemetlerindeki artışlar ise suda bekletme durumunda %38, sülfat çözeltisinde bekletme durumunda %33'tür. Bu değerlerin karşılaştırılması, eğilme mukavemetleri için varılan sonucu destekler görünmektedir. Ayrıca, sülfat çözeltisinde

bekletilen katkısız ve katkılı harçların basınç mukavemetlerindeki değişmelerin karşılaştırılması (Şekil 3.29) da bu sonuçla uyumludur. Kısaca,incelenen deney süresi içinde,katkı maddesi ilavesinin sülfat etkisini önlemede önemli ölçüde bir etkisi olmasa bile,olayı yavaşlattığı söylenebilir.

b) Sülfat etkisiyle oluşan boy ve ağırlık değişimleri :

Boy değişimleri deneylerinden elde edilen sonuçlar(Çizelge 3.23 ve 3.24) gerek destile suda ve gerekse sülfat çözeltisinde 11 haftalık bekletme süresi için,boyca uzama yerine,kısalma olduğunu göstermektedir.Bu durum, bünyesel rötire (Paragraf 1.3.8) ve kararlı olmayan C-S-H jelinin kararlı hale geçmesi (Paragraf 1.3.6) ile açıklanabilir.Bu durumda,bu süre içinde harçların hidratasyonlarını sürdürdüklerini söyleyebiliriz.Ayrıca,destile suda bekletilen harçların ağırlık değişimleri ile ilgili deney sonuçları (Çizelge 3.25 ve Şekil 3.35) da harçların hidratasyonunun sürdüğünü göstermektedir.Çünkü tüm harçlar için ağırlık artışı söz konusudur.Literatüre göre,hidratasyonda tüm sistem bir hacim azalması göstermekte ise de,mevcut katı madde hacmi artmaktadır(Paragraf 1.3.8).Bu da hidratasyonun ağırlık artışına neden olması anlamına gelir.

Destile suda bekletilen harçların ağırlık artışları katkı oranına bağlı olarak,giderek fazlalaşmaktadır.Yani,yukarıdaki açıklamaya göre,katkılı harçların gecikmiş olan hidratasyonu sürmektedir.

Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların boy değişim oranları değerlerine göre (Çizelge 3.24),harçlar 11 haftalık bekletme süresinden sonra şişmeye başlamaktadırlar.17 hafta sonunda katkısız harç %0,2 lik bir uzama gösterirken,katkılı harçların tümü ancak eski boylarına gelmektedirler.Destile suda ve sülfat çözeltisinde bekletme ile oluşan boy değişimlerini karşılaştıralım:

Katkısız harcın sülfat çözeltisindeki boy değişim oranları destile suya göre ilk haftadan başlayarak daima yüksek olmakta ve 17 haftada aradaki fark %0,03'e çıkmaktadır(Şekil 3.30).

% 0,3 katkılı harcın sülfat çözeltisindeki boy değişim oranları ilk haftadan başlayarak destile suya göre yüksek olmakta, ancak aradaki fark açılmamakta ve 17.haftada aynı ve % 0,1 olmaktadır(Şekil 3.31).

% 0,6 katkılı harcın her iki ortamdaki boy değişim oranları 14. haftaya kadar aynı kalmakta, daha sonra değişmekte ve 17.haftada sülfat çözeltisinde bekletme ile boy değişim oranı, destile suya göre % 0,01 daha fazla olmaktadır(Şekil 3.32).

% 1,0 katkılı harcın ilk üç haftadaki boy değişim oranları her iki ortam için aynı olmakta, bundan sonra sülfat çözeltisindeki boy değişim oranları destile suya göre % 0,01 azalmakta ve bu durum 11. haftaya kadar sürmektedir. 11.haftadan sonra her iki ortam için boy değişim oranları aynı olmaktadır(Şekil 3.33).

% 1,5 katkılı harcın ilk üç haftada sülfat çözeltisindeki boy değişim oranları destile suya göre % 0,01 oranında düşük, daha sonraki haftalarda aynı olmaktadır(Şekil 3.34).

Bütün bu karşılaştırmalardan elde edilen izlenimlere göre, katkı ilavesiyle sülfat etkisinin en azından yavaşlatıldığı sonucu tekrarlanabilir. Ayrıca, sülfat çözeltisinde bekletme ile ağırlık değişimleri sonuçları (Çizelge 3.26 ve Şekil 3.36) da bu yorumu desteklemektedir. Çünkü, katkısız harçta hemen ortaya çıkan ağırlık kaybı, katkılı harçlarda uzun süre olmamakta ve katkı oranına bağlı olarak, bu oran arttıkça daha geç ortaya çıkmaktadır(%0,3 katkılı harçta 5.haftadan,%0,6 katkılı harçta 7.haftadan,%1,0 ve 1,5 katkılı harçta 11.haftadan sonra). 11.haftadan sonra tüm harçlarda görülen ağırlık azalmaları, katkısız harç için süratli bir şekilde olmakta, katkılılarda ise daha yavaş ilerlemektedir. Bununla birlikte, 17.haftadaki ağırlık kayıpları pek farklı olmamaktadır(Katkısız harçlar için ağırlık kaybı %0,7 , katkılıların tümünde %0,6).

c) Sülfat etkisiyle oluşan mineralojik yapıdaki değişiklikler

X-Işınları Difraksiyonu verilerinin tartışılması ve sonuçlar:

Çizelge 3.27'de verilen X-Işınları Difraksiyonu değerlendirmeleri literatürle (Paragraf 1.3.4.5) uyumlu sonuçlar göstermektedir. Bu doğrultuda, katkı maddesi olarak kullanılan faktisin yeni bir bileşen oluşumuna veya söz konusu bileşenlerden birinin oluşmamasına yönelik bir etkisi saptanamamıştır. Sonuç olarak, katkı maddesi faktisin çimento bileşenleri oluşumuna bir etkisi olmadığı kanaatine varılmıştır. Katkisız ve katkılı örneklerle ait X-Işınları Difraksiyon diyagramları karşılaştırıldığında bu durum belirgin olarak görülmektedir. Diğer taraftan, değişik ortamlarda (destile su ve sülfat çözeltisi) bekletilen örneklerden elde edilen X-Işınları Difraksiyonu diyagramlarında da bir farklılık saptanamamıştır.

Ancak, bu yöntemle ulaşılan sonuçlar, özellikle mevcut bileşenlerin kalitatif değerlendirilmesinde eksiksiz sonuçlar vermekle birlikte, kantitatif sonuçlar verememektedir. Kantitatif sonuçların sağlıklı olarak verilebilmesi için, standart olarak hazırlanmış örneklerle karşılaştırılmalı olarak çalışılmalıdır. Bu nedenle, çalışmamızda elde edilen sonuçların bileşen miktarları açısından anlamlandırılması doğru olmayacaktır.

Sonuç olarak, sülfat etkisinin değerlendirilmesi açısından katkı maddesi aracılığıyla etringit oluşumunun engellenemediği söylenebilir. Fakat, söz konusu fazın miktarındaki değişme hakkında bir yorum yapılamamaktadır.

DTA eğrilerinin tartışılması ve sonuçlar :

DTA incelemeleri amacıyla çekilmiş olan DTA termogramları (Şekil 3.37, 3.38, 3.39, 3.40 ve 3.41) farklı araştırmacıların verdiği çimento pastası termogramlarının (Paragraf 1.3.5 ve Şekil 1.3) çoğu ile uyumludur ve 100 - 200°C arasında bir endoterm görülmektedir. Ancak, sülfat etkisinin incelenmesi açısından önemli olan etringit ve jipsin yanısıra

C-S-H jeli ve serbest suya karşılık gelen endotermilerin tümünün aynı bölgelerde (100-200°C aralığında) bulunması ve incelenen örneklerin tümünde, bu bölgede sadece bir endotermin yer alması sülfat etkisinin değerlendirilmesi açısından bir yorum yapılmasını sağlayamamaktadır. Bu durum DTA incelemeleri aracılığıyla yapılan çalışmalarda genel olarak ortaya çıkan bir problem olduğundan, mineralojik yapıdaki değişikliklerin incelenmesi X-Işınları Difraksiyonu yöntemi gibi diğer yöntemlerle birlikte yapılmaktadır.

4.2. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.2.1. GENEL SONUÇLAR

Buraya kadar yapılan incelemelerin ışığı altında katkı maddesi olarak kullanılan faktisin harçların incelenen özellikleri üzerindeki en belirgin etkilerini şöyle özetleyebiliriz:

1. Kıvamı artırmakta, birim ağırlığı azaltmakta ve hava sürüklenmesine neden olmaktadır.
2. Prizi çok az da olsa geciktirmektedir.
3. Mekanik mukavemetlerde %20 dolayında azalmaya neden olmaktadır.
4. Su emme ve gözenekliliğini azaltmaktadır.
5. Kılcal yolla su emmeyi önemli derecede azaltmaktadır.
6. Hidratasyonu geciktirmektedir.
7. Kuruma büzülmesi(rötre) çok az da olsa artmaktadır. Suda bekletme ile boy değişimi üzerine etkisi olmamaktadır.
8. Sülfatlı suların etkisini geciktirmektedir.
9. Hidratasyon öncesi ve sonrasında mineralojik yapıda bir değişikliğe neden olmamaktadır.

Bütün bu sonuçlar, faktisin beton katkı maddesi, özellikle kütle hidrofüjü olarak kullanılabileceğini ve kullanımının betonun durabilitesini iyileştireceğini ortaya koymaktadır.

4.2.2. ÖNERİLER

- Katkı ilavesiyle mekanik mukavemetlerde ortaya çıkan azalmaya hava sürüklenmesinin neden olduğu düşünülürse, faktis ile birlikte bir hava kovucu katkı maddesi kullanılarak benzer çalışmalar yapılabilir.

- Katkı maddesinin sülfat dayanımı üzerine etkisini daha iyi görebilmek amacıyla, daha küçük boyutlu, harç yerine çimento pastası örnekleri kullanılarak ve daha uzun süreli deneyler yapılabilir.

- Katkı maddesinin çalışmada yer verilmemiş olan diğer özellikler, örneğin donma-çözünme dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesinde yarar vardır.

- Katkı maddesi olarak kullanılan faktis iyi bir insülatördür. Bu nedenle beton ve harçlarda bu özelliği sağlayıp sağlayamayacağı araştırılabilir.

- Spesifik gravitesi düşük olduğundan su geçirimsizliği düşük hafif beton üretiminde kullanılabilirliği incelenebilir.

- Faktisin bezir yağındaki çözünme özelliği gözönünde tutularak, beton yüzey kaplamalarında kullanılmakta olan bezir yağının faktisle birlikte karışım halinde aynı amaçla kullanılmasının bazı avantajlar sağlayabileceği düşünülerek bununla ilgili araştırmalar yapılabilir.

(12) CHATTERJI, S. and JOSEPH, J.V., "J. Am. Ceram. Soc.", Vol. 45, p. 135, 1952.

(13) CUFFLAND, L.S., KENTON, R.L. and CROSBY, C., "Proc. Am. Intern. Symp. Chem. Cement", Washington, p. 475, 1960.

(14) TAYLOR, H.F.W., "The Chemistry of Cement", Academic Press, London, 1954.

(15) TANAKUSHI, H., TASEYUKU, S., MICHIMOTO, H. and TAGAKI, S., "Proc. Am. Intern. Symp. Chem. Cement", Washington, p. 495, 1960.

(16) DUBRE, R.J., "Proc. Am. Intern. Symp. Chem. Cement", Vol. 1, Washington, p. 354, 1960.

(17) CHATTERJI, S. and JOSEPH, J.V., "J. Am. Ceram. Soc.", Vol. 45, p. 135, 1952.

KAYNAKLAR

- (1) LUDWIG, U. and SCHWIETE, H.E., "Zement-Kalk-Gips", Vol:20, p.555, 1967
- (2) Report of ACI Committee 515, "ACI Journal Proc.", Vol:63, p.1305
Dec. 1966
- (3) LEA, F.M., "The Chemistry of Cement and Concrete", Arnold Publ.,
London, 1970
- (4) AKMAN, M.S., "Yapı Malzemeleri", İnşaat Fak., İST., 1987
- (5) VIVIAN, H.E., "Proc. 4th Intern. Symp. Chem. Cements", Vol:2, Washington,
p.909, 1960
- (6) MEHTA, P.K., RILEM Symp., "Tech. of Conc. When Pozzolans, Slags and
Chem. Admixs. are used", Monterrey, N.L., Mexico, p.325, 1985
- (7) TSE, "Portland Cimentoları", TS 19, Nisan 1978
- (8) NEVILLE, A.M., "Properties of Concrete", Pitman Publ., London, 1973
- (9) FELDMAN, R.F. and RAMACHANDRAN, V.S., "J. Am. Ceram. Soc.", Vol:49,
p.268, 1966
- (10) GUPTA, P., CHATTARJI, S. and JEFFERY, J.W., "Cement Tec.", March-April
p.3, 1970
- (11) FELDMAN, R.F., RAMACHANDRAN, V.S. and SERADA, P.J., "J. Am. Ceram. Soc.",
Vo. 48, p.25, 1965
- (12) CHATTERJI, S. and JEFFERY, J.W., "J. Am. Ceram. Soc.", Vol:45, p.536,
1962.
- (13) COPELAND, L.E., KANTRO, D.L. and VERBECK, G., "Proc. 4th Intern. Symp.
Chem. Cements", Washington, p.429, 1960
- (14) TAYLOR, H.F.W., "The Chemistry of Cements", Academic Pres., London, 1964
- (15) YAMAGUSHI, H., TAKEMOTO, K., UCHIKAWA, H. and TAGAKI, S., "Proc. 4th Intern.
Symp. Chem. Cements", Washington, p.495, 1960
- (16) GREENE, K.T., "Proc. 4th Intern Symp. Chem. Cements", Vol:1, Washington,
p.359, 1960
- (17) CHATTERJI, S. and JEFFERY, J.W., "J. Am. Ceram. Soc.", Vol:46, p.187, 1963

- (18) CHATTERJI, S. and JEFFERY, J.W., "J. Am. Ceram. Soc.", Vol:46, p.263, June 1963
- (19) ROBERTS, M.H., "J. Appl. Chem.", Vol:7, p.543, 1957
- (20) ROBERTS, M.H., "Proc. 4th Intern. Symp. Chem. Cements", Washington, p.1033, 1960
- (21) VAN AARDT, J.H.P., "Proc. 4th Intern. Symp. Chem. Cements", Washington, p.835, 1960
- (22) RAMACHANDRAN, V.S., "Application of Differential Thermal Analysis in Cement Chemistry", Chemical Publ. Co., New York, 1969
- (23) KALOUSEK, G.L., "Mat. Res. and Stand.", Vol:5, p.292, 1965
- (24) POWERS, T.C., "Proc. 4th Intern. Symp. Chem. Cements", Washington, p.577, 1960
- (25) POSTACIOĞLU, B., "Beton", Teknik Kitaplar Yayınevi, İST., 1986
- (26) POWERS, T.C., "J. Res. Dev. Labs. Portland Cem. Ass.", Vol:4, p.40, 1962
- (27) HUNT, C.M. and TOMES, L.A., "J. Res. Natn. Bur. Stand.", Vol:66A, p.173, 1962
- (28) THORVALDSON, T., "Proc. 3rd Intern. Symp. Chem. Cements", London, p.436 1952
- (29) MEHTA, P.K., PIRTZ, D. and POLIVKA, M., "Cement Conc. Res.", Vol:9, p.439, 1979
- (30) LAFUMA, H., "Rev. Mat. Const.", No:243, p.441, 1929
- (31) CHATTERJI, S. and JEFFERY, J.W., "Mag. Conc. Res.", Vol:15, p.83, 1963
- (32) SELIGMANN, P. and GREENING, N.R., "Highway Res. Rec.", No:62, p.80, 1964
- (33) ROBERTS, M.H., "Mag. Conc. Res.", Vol:16, p.236, 1964
- (34) CHATTERJI, S. and JEFFERY, J.W., "Mag. Conc. Res.", Vol:16, p.239, 1964
- (35) HELLER, L. and BEN-YAIR, M., "J. Appl. Chem.", Vol:16, p.223, 1966
- (36) CHATTARJI, S. and JEFFERY, J.W., "J. Am. Ceram. Soc.", Vol:46, p.268, 1963
- (37) HELLER, L. and BEN-YAIR, M., "J. Appl. Chem.", Vol:14, p.20, 1964
- (38) MEHTA P.K., "Cement and Conc. Res", Vol:13, p.401, 1983
- (39) SAGRERA, J.L., "Cement and Conc. Res.", Vol:2, p.253, 1972

- (40) EUSTACHE, J. and MAGNAN, R., "J. Am. Ceram. Soc.", Vol:55, p.237, 1972
- (41) KALOUSEK, G.L., PORTER, L.C. and BENTON, E.J., "Cement and Conc. Res." Vol:2, p.79, 1972
- (42) TASHIRO, C., "Cement and Conc. Res.", Vol:6, p.727, 1976
- (43) BOGUE, R.H., "The Chemistry of Portland Cement" Reinhold Publ. Co., New York, 1955
- (44) MEHTA, P.K. and GJORV, O.E., "J. Testing and Evaluation", Vol:2, p.510, 1974
- (45) MEHTA, P.K., "J. Am. Conc. Inst.", Vol:72, p.573, 1975
- (46) BROWN, P.W., "Cement and Conc. Res.", Vol:11, p.719 1981
- (47) PRICE, W.H., "Concrete Construction", p.159, April 1976
- (48) Report of ICA Committee 212, "J. Am. Conc. Inst.", Vol:60, p.1481, 1963
- (49) RILEM Committee 11A, "Concrete Admixtures final report" RILEM, No:48 p.451, 1975
- (50) ASTM Standart C 494-71, "Spec. for Chemical Admixtures for Concrete"
- (51) WADDELL, J.J. "Concrete Construction Handbook" McGraw-Hill, New York, 1968
- (52) ORCHARD, D.F., "Concrete Technolojy", Vol:1, J. Wiley and Sons Inc., New York, p.99, 1962
- (53) CHANDRA, S. and AAVIK, J., "Cement and Conc. Res." Vol:13, p.423, 1983
- (54) RILEM symp., "Synthetic Resins in Building Construction", Paris, 1967
- (55) ACI Spec. Publ., SP-40, "Polymers in Concrete", 1973
- (56) ACI Spec. Publ. SP-69, "Polymers in Concrete", 1981
- (57) WAGNER, H.B., "Cement Tech." p.105, February 1973
- (58) STELGER, R.W., "Concrete Const." p.411, July 1978
- (59) KORLA, J., ZARJC, A., RILEM Symp., "Tech. of Conc. When Pozzolans, Slags and Chem. Admixs. are used", Monterrey, N.L. Mexico, p.557, 1985
- (60) "Encyclopedia of Polymer Sci. and Tech.", Vol:6, p.489, 1967
- (61) POSNANSKY, K.W., "Method of Preparing Solution of Vulcanised oils", U.S., 2,523,446, Sept. 26, 1956.

- (62) DZIEZA,R.and DEUGOLECKIE,J., "Currying of Sulfur-tanned leather with factice", Inst.Przemyslu Skorzanego, Warzaw, Prezegland Skorzany, Vol:13, p.253, 1958
- (63) ROBERTS, F.S., "White Factice in Latex Mixes", Trans.Inst.Rubber Ind., Vol:19, p.97, 1943
- (64) HARRISON, J.B., "Factice, its use and function in rubber technology", Trans.Inst.Rubber Ind., Vol:28, p.117, 1952
- (65) REUTGERSWERKE und TECIVERWENTUNG A.G., "Hardenable Compositions Containing Polysulfide Polymers" Brit 971,768, Oct.7, 1964
- (66) ARRAMBIDE ,J.et DURIEZ,M. "Liants Routiers et Enrobés", Dunod et editions du moniteur des travaux publ., p.446, 1959
- (67) TALALAY, N., "Artificial Aqueous Dispersions of Rubbers and Rubber Like Substances", U.S. 2,458,222, Jan.4.1949
- (68) TSE, "Çimentoların Fiziksel Muayene Metodları", TS 24, Ocak 1978
- (69) TSE, "Beton Kimyasal Katkı Maddeleri", TS 3452 Şubat 1984
- (70) TSE, "Betona Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri" TS 3456, Şubat 1984
- (71) YUAN, R.L., COOK, J.E. and WU, D.K., RILEM Symp., "Tech.of Conc. when Pozzolans, Slags and Chem.Admixs. are used" Monterrey N.L. Mexico. p.529, 1985
- (72) MIKAIL, R.S., SHATER, M. and EL-AKKAD, T.M., "Cem. and Conc. Res.", Vol:13, p.207, 1983
- (73) TSE, "Kagir Duvar Harçları", TS 2848, Ekim 1977
- (74) TSE, "Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi ile Hesaplanması", TS 2941, Ocak 1978
- (75) TSE, "Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu", TS 3624, Temmuz 1981
- (76) UYAN, M. "Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı", Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fak. 1975



ÖZGEÇMİŞ

1951'de Sakarya İlinde doğdu.İlk ve Orta öğrenimini Adapazarı'nda tamamladı.1969-70 Öğretim Yılında İ.Ü.Kimya Fakültesi Kimyagerlik Bölümünde öğrenimine başlayarak,1975 yılında tamamladı.Aynı yıl,İ.Ü.Kimya Fakültesi Yüksek Kimya Mühendisliğine kayıt yaptırarak 1978 yılında öğrenimini tamamladı.1979 yılında Yıldız Üniversitesi (İDMM GALATASARAY YÜKSEK OKULU) Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı.Halen bu göreve devam etmektedir.

Evli ve bir çocuk sahibi olup,ingilizce bilmektedir.

